基幹系統における不平衡電流発生メカニズムの検討

正 員 山崎 雄二 (中部電力)

正 員 上田 玄 (中部電力)

正 員 野呂 康宏 (東 芝)

正 員 Suresh Chand Verma (中部電力)

正 員 小川 重明 (中部電力)

Study of Mechanism of Unbalance Current Flow in a Trunk Power System
Yuuji Yamazaki, Member, Suresh Chand Verma, Member (Chubu Electric Power Co., Inc.)
Fukashi Ueda, Member, Shigeaki Ogawa, Member (Chubu Electric Power Co., Inc.)
Yasuhiro Noro, Member (Toshiba Corporation)

By treating a power system as balanced, it becomes easy to do load flow calculation, transient stability calculation and nominal rating calculation of power system apparatus. So, most of conventional analysis and apparatus design have been done on the premise that the power system is balanced. Recent years, however, the long heavily loaded untransposed transmission lines and large unbalanced loads have led to an increase in the unbalanced components of a power system. Hence, the influence of negative sequence components on different power system apparatus caused by the unbalance is of concern to power utility.

The authors investigate a mechanism of unbalance current flow and voltage distribution in a trunk power system by converting unbalance components caused in a transmission line to zero sequence component and negative sequence component. This paper also shows a verification using a model power system.

キーワード：不平衡、非撚架送電線、三相潮流計算、EMTP

1. まえがき

電力系統は三相平衡として扱うことで、潮流計算や過渡安定度計算、機器定格の計算が容易に行えるため、従来の解析や機器設計は大半が三相平衡を前提としてきた。そのため、不平衡の実態把握と不平衡要因の解明があまりなされてこなかった状況にあった。しかしながら、近年の基幹系統の拡大と重潮流化、また、大きな不平衡負荷などにより、不平衡要因が拡大の傾向にあり、これらに起因する逆相分による機器への影響が懸念されるようになってきた。三相不平衡分の発生量把握と機器への影響の予測には、逆相分の主な発生源と考えられる送電線と負荷の扱いがポイントになる。特に、基幹系統の送電線については、変電所間の亘長も長く、潮流も大きいいため、不平衡が発生しやすいと考えられる。

これらの検討には三相不平衡潮流計算による解析が有効である。三相不平衡潮流計算の手法については、古くから検討例が有り、小規模系統での検討例⁽¹⁾や最近では大規模系統での検討例⁽²⁾も示されている。しかしながら、これらは不平衡電圧・電流の分布状況を示すにとどまり、そのよう

な分布がどのようなメカニズムで生じているかの言及がなされていない。一方、不平衡電流の理論的な導出例では⁽³⁾、送電線両端の電圧は平衡している事を前提とするなどの制約が大きく、実際の系統で発生する分布を説明するには不十分である。したがって、従来は、実用的な見地から不平衡が発生するメカニズムの研究は行われていないといえる。

筆者らは、これまでの検討⁽⁴⁾で、基幹系統の三相不平衡潮流計算にあたり、EMTPを用いることで、妥当な結果が得られること、そのための解析モデルを作成する上での留意点を示した。また、不平衡の要因としては、送電線の抵抗分や静電容量の影響は小さく、リアクタンスの不平衡の影響が大きいこと、さらに、2回線運用時には回線内の相互誘導分の影響が大きいことを示した。

これまでの検討をふまえ、本論文では、2回線送電線で発生する不平衡分を零相分や逆相分の対称成分に変換することによって、不平衡電圧や電流の分布が決定するメカニズムが明らかになったので、その概要を報告する。合わせて、モデル系統における不平衡電圧・電流の分布について検討例を報告する。

2. 対象システム

ここで報告する内容は、回路理論に基づくものであり、重ね合わせの理が成立する点に留意すれば、系統規模に依存しないが、現象を理解し易くするために図1および図2に示す簡単な系統モデルを想定する。図1は放射状系統の末端部を想定、図2はループ系統を想定したものである。送電線は500kV基幹系統で用いられているものであり、図3・表1に示す鉄塔構成と、表2に示す電線パラメータを有する。なお、図2における送電線C,Dの総長は送電線Bの1.4倍であるが、低インダクタンス設計のものを想定しており、電源側から負荷へは、両ルートではほぼ均等に潮流が流れる。送電線以外は全て三相平衡としている。負荷端の変圧器は図中に記載の容量ベースでZ12=5%、Z13=22%、Z23=15%で、1、2次はY結線で直接接地、3次はΔ結線である。

図1 対象系統（放射状系統）
Fig.1. Model System (Radial System)

図2 対象系統（ループ系統）
Fig.2. Model System (Loop System)

図3 2回線鉄塔構成
Fig. 3. Tower Configuration

表1 鉄塔パラメータ例

Table 1. Tower Parameter

項目	小項目	数値		
		送電線 A	送電線 B	送電線 C,D
鉄塔 寸法	A	13.0m	13.0m	10.5m
	B	12.8m	12.5m	13.5m
	C	12.8m	12.5m	13.5m
	D	40.9m	32.0m	55.5m
	E	26.8m	20.8m	27.0m
	F	18.8m	19.2m	20.4m
	G	26.8m	20.0m	21.2m
	H	20.4m	20.8m	22.0m

表2 電線パラメータ

Table 2. Power Line Parameter

送電線名	項目	数値
送電線 A	本線	TACSR/AC 410mm ² 4 導体、素導体間隔 40cm
	架空地線 (GW)	IACSR 120mm ² (2 条) 2 導体、素導体間隔 40cm
送電線 B	本線	ACSR 410mm ² 4 導体、素導体間隔 40cm
	架空地線 (GW)	IACSR 120mm ² (2 条) 1 導体
送電線 C,D	本線	TACSR/AC 810mm ² 6 導体、素導体間隔 80cm
	架空地線 (GW)	AC 260mm ² (3 条) 1 導体

3. EMTPによる解析

放射状系統については表3に示す3ケースについて検討した。CASE1は基幹系統で最も広く適用されている逆相配置、CASE2は1Lと2Lが対称でない配置、CASE3はCASE1と同じ配置で、実際の基幹系統で適用されるものではないが、比較のため負荷端の変圧器を非接地とした場合である。

なお、方法はEMTPの機能であるLINE CONSTANTS (付録1) によって送電線定数を算出し、定常計算ルーチン (付録2) で潮流分布を算出した。

表3 放射状系統の検討ケース

Table 3. Study Case for Radial System

ケース	送電線Aの 相配置	変圧器中性 点の接地	負荷
CASE1	a ○ ○ b c ○ ○ c b ○ ○ a	直接接地	1000MW (3相平衡)
CASE2	a ○ ○ b c ○ ○ a b ○ ○ c		
CASE3	CASE1と同じ	非接地	

EMTP計算結果より送電線両端母線電圧の零相分と逆相分を抜き出した結果を図4、図5に示す。いずれも電源側ではほとんど不平衡電圧を発生しないが、負荷側では大きな成分となっており、特にCASE3では零相分が顕著に大きい。また、負荷端における送電線電流の零相分と逆相分を表4に示す。CASE2では、大きな逆相電圧が発生していないのに関わらず、送電線には正相分（約577A）の7%強の大きな逆相電流が流れている。また、位相関係より、逆相電流は1Lと2Lの間を循環していることがわかる。

図4 EMTP計算結果（零相電圧）
Fig. 4. EMTP Calculation Result (V0)

図5 EMTP計算結果（逆相電圧）
Fig. 5. EMTP Calculation Result (V2)

表4 EMTP計算結果（送電線負荷端電流）

Table 4. EMTP Calculation Result (Line Current)

ケース		零相		逆相	
		絶対値	位相	絶対値	位相
CASE1	1L	7.0A	-9.5deg	2.0A	-39.6deg
	2L	8.3	-114.3	1.3	-95.5
CASE2	1L	28.0	-28.9	41.7	-156.1
	2L	19.3	162.9	42.2	23.7
CASE3	1L	6.1	31.7	1.4	-42.7
	2L	6.0	-148.2	1.7	-76.1

ループ系統では表5に示す1ケースを検討した。EMTP計算結果より、電圧分布の零相分と逆相分を抜き出した結果を図6に示す。いずれの成分もほとんど発生していない。次に、零相分と逆相分の電流分布を表6に示す。逆相分に関しては正相分の約5%の大きさでループ内を循環していることが、容易に読み取れる。零相分は逆相分ほど顕著でないが、やはりループを循環する成分が有り、これに1Lと2L内を循環する成分が重畳している。

表5 ループ系統の検討ケース（CASE4）

Table 5. Study Case for Loop System

送電線	送電線の相配置	変圧器中性点の接地	負荷
送電線B	a ○ ○ b c ○ ○ c b ○ ○ a	直接接地	2000MW (3相平衡)
送電線C	b ○ ○ c a ○ ○ a c ○ ○ b		
送電線D	c ○ ○ a b ○ ○ b a ○ ○ c

図6 EMTP計算結果（CASE4）
Fig. 6. EMTP Calculation Result (CASE4)

表6 EMTP計算結果（送電線電流）

Table 6. EMTP Calculation Result (Line Current)

送電線		零相		逆相	
		絶対値	位相	絶対値	位相
送電線B(送)	1L	13.5A	-14.6deg	24.7A	-108.9deg
	2L	11.7	-58.4	25.9	-119.0
送電線C(送)	1L	6.5	-134.2	29.4	71.3
	2L	14.2	130.1	22.6	65.8
送電線B(受)	1L	10.2	-36.8	23.4	-125.1
	2L	11.6	-86.4	25.8	-134.3
送電線D(受)	1L	12.4	129.7	21.8	48.6
	2L	4.6	10.8	28.0	49.4

4. 不平衡電流発生メカニズム

<4.1> 放射状系統の不均衡電流

上記不平衡電圧・電流の分布となるメカニズムを説明するため、これまでの検討⁽⁴⁾で不平衡の発生要因として明らかになっている送電線のインピーダンスマトリックスの内、リアクタンス分 Xと正相電流 Iを用いて、(1)式により当該送電線の誘起電圧 Eを算出し、この誘起電圧から零相分と逆相分を算出した。（付録3）

[E]=[X][I] …(1)

CASE1とCASE2それぞれの相配置に対する誘起電圧を図7、8に示す。図7より、CASE1では、零相電圧成分、逆相電圧成分は1Lと2Lで同相で、ほぼ同じ大きさで発生してい

ることがわかる。これを等価回路であらわすと、零相では図9に示すようになり、負荷端の変圧器中性点を通して零相電流が流れる。変圧器中性点を非接地とした場合（CASE3）や逆相分に関しては、等価回路の負荷端が開放と等価になり、電流は流れず、送電線で発生する不平衡誘起電圧が負荷端にそのまま現われる。図7中に先のEMTP解析で得られた不平衡成分のベクトルを180deg位相反転して示すが、ほぼ(1)式で算出した誘起電圧に対応する。

図8より、CASE2では、逆相分の誘起電圧が1Lと2Lでほぼ逆位相で発生している。これを等価回路であらわすと図10で示され、1Lと2Lの間を循環する向きに誘起電圧が発生していることがわかる。これは、負荷端の逆相電圧はほとんど発生しないにもかかわらず大きな逆相電流が循環するというEMTPの計算結果に対応する。

図7 CASE1の送電線の誘起電圧不平衡成分
Fig. 7. Components of Induced Voltage of CASE1

図8 CASE2の送電線の誘起電圧不平衡成分
Fig. 8. Components of Induced Voltage of CASE2

図9 CASE1の零相等価回路
Fig. 9. Equivalent Circuit for Zero Seq. of CASE1

図10 CASE2の逆相等価回路
Fig. 10. Equivalent Circuit for Negative Seq. of CASE2

次に、電流分布について定量的に考察する。図9に対応する零相成分の通過電流I01は近似的に(2)式で示される。

$$I_{01} = V_0 / (X_{s0} + X_0/2 + X_{t0}) / 2 \quad (2)$$

ここに、 V_0 は1Lと2Lの零相誘起電圧 V_{0-1L} と V_{0-2L} の平均、 X_{s0} は系統側の零相インピーダンス、 X_0 は送電線の零相第1回路インピーダンス、 X_{t0} は負荷端変圧器の零相インピーダンスである。

図7より、 $V_0 = 1282 \angle -160.0 \text{deg}$ 、 X_{s0} は図1のXに等しく、 25Ω 、 X_0 は(1)式に用いたインピーダンスマトリックスより 131.4Ω 、 X_{t0} は変圧器の $Z_{13} = 22\%$ より 54.3Ω を代入して $I_{01} = 4.8 \text{A}$ となる。 I_{01} の位相は図9の誘起電圧と零相電流の関係から、 V_0 の位相を180deg反転させて、さらにインピーダンス角90degを遅らせると、 -70deg となる。

零相誘起電圧には図7より、1Lと2Lで差分があるため、これによって生ずる零相循環電流成分を検討する。この成分は、図10と同じ経路で流れ、近似的に(3)式で示される。

$$I_{02} = V_{02} / X_{02} / 2 \quad (3)$$

ここに、 V_{02} は1Lと2Lの零相誘起電圧の差分、 X_{02} は送電線の零相第2回路インピーダンスである。

図7より、 $V_{02} = 532 \angle -70.0 \text{deg}$ 、 $X_{02} = 43.7 \Omega$ を代入して、 $I_{02} = 6.1 \text{A}$ 、位相は1L: 20deg 、2L: -160deg となる。この循環電流成分は表5のCASE3で示す結果にほぼ対応している。(CASE3は負荷端変圧器が非接地なので、零相の通過電流成分が無いケース)

以上より、送電線の通過電流成分と循環電流成分を合成すると、零相電流成分は1L: $7.8 \text{A} \angle -18.5 \text{deg}$ 、2L: $7.8 \text{A} \angle -121.5 \text{deg}$ となり、表5のCASE1で示すEMTP計算結果にほぼ対応する値が得られる。なお、差異が生ずるのは、誘起電圧の計算は送電線に正相電流のみが流れていると仮定して行っているのに対し、実際には零相分や逆相分も流れており、これによっても誘起電圧が発生しているためと推定する。また、位相に関しては、近似計算はリアクタンス分のみを考慮して、誘起電圧に対する電流の位相遅れを90degとしているが、零相分では抵抗分の比率も比較的大きく、位相遅れが90degからずれてくるためと、線路の充電容量によるものと推定する。

図10に対応する逆相成分の循環電流に関しては、近似的に以下のように計算される。

$$I_2 = V_2 / X_2 / 2 \quad (4)$$

ここに、 V_2 は1Lと2Lの逆相誘起電圧 $V_2\text{-}1L$ と $V_2\text{-}2L$ の差分、 X_2 は送電線の逆相インピーダンスである。

図8より、 $V_2=3104\angle-70.4\text{deg}$ 、 $X_2=X_1=33.9\Omega$ を代入すると、 $I_2=45.8A$ 、位相は1L： -160.4deg 、2L： 19.6deg となる。これは、表5のCASE2の結果とほぼ対応している。

なお、CASE2の相配置は、不平衡電流と言う観点からは大きな成分を発生させ、好ましくないものの、変電所母線の逆相電圧の発生量は非常に小さくなるため、負荷端に回転機などの逆相耐量の小さな機器が接続されることが予想される場合に、不平衡抑制対策の1手段となるものである。

4.2 ループ系統の不平衡電流

放射状系統と同様、CASE4において各送電線で発生する誘起電圧を(1)式により算出した。零相誘起電圧を図11に、逆相誘起電圧を図12に示す。

図11より、電源側から負荷側に向かう一方の経路である送電線Bで発生する零相誘起電圧と、もう一方の経路である送電線C+Dで発生する零相誘起電圧は、ほぼ逆方向に発生していることがわかる。従って、負荷端に発生する零相電圧は両者が打ち消し合うため小さくなり、EMTPで計算した結果である図6に対応する。

同様に図12より、逆相誘起電圧に関しても同じであり、EMTPの計算結果に対応する。さらに、等価回路であらわすと、図13で示され、ループを循環する向きに誘起電圧が

図 11 CASE4 の零相誘起電圧成分
Fig. 11 Zero Seq. Induced Voltage of CASE4

図 12 CASE4 の逆相誘起電圧成分
Fig. 12 Negative Seq. Induced Voltage of CASE4

図13 CASE4の逆相等価回路
Fig. 13. Equivalent Circuit for Negative Seq. of CASE4

発生しており、表6で示す循環電流を発生させる逆相電流分布の計算結果にも対応する。

電流分布について、さらに定量的に検討する。図13において、逆相電流は(5)式で示される。

$$I_{2\text{loop}} = V_{2\text{loop}} / (X_{2B} + X_{2C} + X_{2D}) \quad \cdots (5)$$

ここに、 $V_{2\text{loop}}$ は1Lと2Lの逆相誘起電圧 $V_2\text{-}1L$ と $V_2\text{-}2L$ の平均をループに沿って加算した値、 X_{2B} 、 X_{2C} 、 X_{2D} は送電線の逆相インピーダンスである。

図12より $V_{2\text{loop}}=1937\angle146.8\text{deg}$ 、送電線のインピーダンスより $X_{2B}=33.5\Omega$ 、 $X_{2C}=X_{2D}=17.8\Omega$ 、従って、 $I_{2\text{loop}}=28.0A$ 、位相は送電線Bにおいて $146.8-180-90=-123.2\text{deg}$ となり、ほぼ表6のEMTP計算結果に対応する。

零相電流についても、ループに沿う循環電流成分は同様に計算することができ、(6)式で示される。

$$I_{0\text{loop}} = V_{0\text{loop}} / (X_{0B} + X_{0C} + X_{0D}) \quad \cdots (6)$$

ここに、 $V_{0\text{loop}}$ は1Lと2Lの零相誘起電圧 $V_0\text{-}1L$ と $V_0\text{-}2L$ の平均をループに沿って加算した値、 X_{0B} 、 X_{0C} 、 X_{0D} は送電線の零相インピーダンスである。

図11より $V_{0\text{loop}}=2947\angle-150.9\text{deg}$ 、送電線の零相第1回路インピーダンスより $X_{0B}=140.0\Omega$ 、 $X_{0C}=X_{0D}=76.9\Omega$ 、従って、 $I_{0\text{loop}}=10.0A$ 、位相は送電線Bにおいて $-150.9+180-90=-60.9\text{deg}$ となる。一方、図11より零相誘起電圧は1Lと2Lで若干の位相差があり、これによって1Lと2L間の循環電流が発生する。この大きさは、(3)式で示される。送電線Bを例に循環電流成分を計算すると、 $V_{02}=410\angle-61.4\text{deg}$ 、 $X_{02}=49.9\Omega$ を代入して、 $I_{02}=4.1A$ 、位相は1L： 28.6deg 、2L： -151.4deg となる。

以上より、送電線Bの通過電流成分と循環電流成分を合成すると、零相電流成分は1L： $10.9A\angle-38.7\text{deg}$ 、2L： $10.8A\angle-83.3\text{deg}$ となり、表6の送電線Bで示すEMTP計算結果にほぼ対応する値が得られる。

なお、図2に示すループ系統であっても、送電線B、C、Dの相配置が全て等しい場合には、各送電線で発生する誘起電圧の位相は全て同じ方向になるため、CASE1に対応する結果となることは容易に類推できる。また、1回線運用時やえはし型等の1回線鉄塔についても、同様に分析する

ことができるが、ここでは説明を省略する。

実際の電力系統で発生する不平衡電圧・電流は以上述べた現象の重ね合わせと考えられる。

5. モデル系統における検討

500kV基幹系統モデルを例に、不平衡誘起電圧の発生状況を計算した例を図14に示す。図中、□枠で囲んだA～Iの記号は送電線の想定した相配置パターンを示し、異なる記号を付したものはabcの相配置または鉄塔構成が異なることを示す。なお、パターンD、G、Iはえぼし型1回線鉄塔2ルート構成である。これらの代表パターンを図15に示す。

具体的な計算方法は、図14に対応する詳細系統をEMTP上で構築し、定常計算ルーチンで各相の潮流分布を算出した。ただし、送電線は不平衡を考慮できるように、全て想定した鉄塔構成からEMTPのLINE CONSTANTSを利用してπ型多相相互結合モデルの回路定数を算出し、その他の電源、変圧器、負荷は全て三相平衡したデータを設定している。

EMTPの計算結果より母線電圧の不平衡分を算出した結果を図16に、送電線電流の不平衡分を算出した結果を図17に示す。図16より、ノードN1、N2、N7、N10、N15で電圧不平衡分が相対的に大きくなっていることがわかる。このうち、ノードN10、N15は比較的潮流の大きな送電線を介した放射状系統の末端部であり、CASE1に対応する不平衡誘起電圧が発生している。ノードN6、N12も放射状系統の末端部であるが、送電線B6、B12の潮流が小さいため、これらの点では相対的に大きな不平衡電圧は発生していない。また、図17より、電流の不平衡分が大きい箇所は、B1～B5およびB7であり、さらに、B1～B5について位相関係を調査すると、図18に示すように逆相分、零相分ともループに添って反時計回りで見るとほぼ一定の範囲に収まっていることがわかる。即ち、B1～B5では、これらで構成される大きなループを循環する電流成分が大きく、CASE4に対応することが判明した。4章で示した手法により、B1～B5の誘起電圧を計算すると、図19に示すように、逆相分はB2、B3、B5で大きく発生し、零相分はB2、B5で大きく発生している。これら誘起電圧の2回線分の平均をループに添って加算すると、図19に示すようなベクトルとなり、電圧と電流の位相関係は、誘起電圧を180deg反転させたものに対してほぼ90deg遅れの電流となっていることがわかる。また、加算した誘起電圧をループに添ったインピーダンスで除すと、逆相分では1回線当たり27A、零相分では1回線当たり11Aとなり、特にB1～B3では図17の電流分布とほぼ同じ大きさとなっている。一方、B7では位相関係より、1Lと2Lの間を循環する電流成分が大きいこと（CASE2に対応）が判明した。なお、ノードN1、N2、N7で電圧不平衡分が大きくなっているのは、図19からもわかるように、ループでの打ち消しが必ずしも理想的に行われていないため、

および、循環電流分以外の成分も重畳しているためと推定する。

以上より、ある程度規模の大きな基幹系統モデルで発生する不平衡電圧、電流の分布状況は、4章で示した不平衡発生メカニズムの組み合わせの現象として説明できることが確認できた。

図14 放射状とループの混在したモデル系統

Fig. 14. Model System
(Mixture of Radial and Loop System)

図15 相配置パターンの例

図16 EMTPによる不平衡電圧算出結果

Fig. 16 Unbalance Voltage Calculation Result

図17 EMTPによる不平衡電流算出結果

Fig. 17 Unbalance Current Calculation Result

図18 ループにおける不平衡電流分布

Fig. 18 Unbalance Current Component of the Loop

図19 ループにおける不平衡誘起電圧分布

Fig. 19 Unbalance Voltage Component of the Loop

6. 結論

本論文では、送電線で誘起される不平衡電圧を零相分や逆相分に分離し、いくつかの代表的な不平衡発生パターンに分けて分析することで、系統内で発生する不平衡電圧、電流の分布が決るメカニズムを明らかにした。さらに、ある程度規模の大きなモデル系統を用いてEMTPで三相不平衡潮流計算を行い、系統内で発生する不平衡電圧、電流の分布状況は上記メカニズムの組み合わせ現象として説明できることを確認した。

これらの成果は、送電線の新設／更新計画時や通常の系統運用時に、不平衡分の増大の有無を予測し、不平衡を抑制する対策として反映させることができるものと期待する。

今後は、実測データとの突き合わせにより、不平衡発生の各パターンの検証を重ねるとともに、さらに大規模の系統や併架回線数の多い下位系統についても検討を行いたい。また、負荷の不平衡が系統側に与える影響についても検討を行いたい。

(平成12年2月25日受付、平成12年10月30日再受付)

文献

- (1) K. A. Birt, El-Abiad : "Three Phase Load Flow Program", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS-95, No. 1 (1976)
- (2) 鈴木、石井、神尾、鈴木、伊庭：「大規模系統における不平衡潮流計算手法の開発」、電学論B、112巻10号、平4年
- (3) 新田目：「電力系統技術計算の基礎」、電気書院、昭55年
- (4) 香田、不破、野呂、佐藤、小城：「三相不平衡潮流計算のための送電線モデルと不平衡発生要因の検討」、98年電力技術・電力系統技術合同研究会、PE-98-62/PSE-98-52
- (5) EPRI : "ElectroMagnetic Transients Program (EMTP) Rule Book"

付録1 LINE CONSTANTS

EMTPの補助プログラムとして組み込まれている機能であり、架空送電線の導体の地上高や間隔、素導体の直径等の構造データと、導体の抵抗値、大地の抵抗率等のデータより送電線の電気定数を算出する。電気定数としては本論文で適用している π 型多相相互結合モデルの他、分布定数回路モデル、周波数依存特性モデル等が利用できる。

付録2 EMTPの定常計算ルーチン

瞬時解析の各ノード電圧、ブランチ電流の初期値を決めるため、回路方程式を節点解析法をベースとして解いている。すなわち、電流ベクトルを $[I]$ 、電圧ベクトルを $[V]$ 、回路のアドミタンス行列を $[Y]$ として、 $[I]=[Y][V]$ なる連立方程式を得る手法である。

付録3 (1)式の補足説明

2回線送電線のリアクタンスマトリックスを $[X]$ 、送電線に流れる電流ベクトルを $[I]$ とすると、この送電線で発生する誘起電圧 $[E]$ のベクトルは(1)式で示される。なお、<4.1>の検討では、電流は正相分のみと仮定している。

$$[E]=[X][I]$$

(1)

$$= \begin{pmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{13} & X_{14} & X_{15} & X_{16} \\ X_{21} & X_{22} & X_{23} & X_{24} & X_{25} & X_{26} \\ X_{31} & X_{32} & X_{33} & X_{34} & X_{35} & X_{36} \\ X_{41} & X_{42} & X_{43} & X_{44} & X_{45} & X_{46} \\ X_{51} & X_{52} & X_{53} & X_{54} & X_{55} & X_{56} \\ X_{61} & X_{62} & X_{63} & X_{64} & X_{65} & X_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \\ I_5 \\ I_6 \end{pmatrix}$$

次に、得られた電圧ベクトルに対し、各回線単位で、 $V_0 = (V_a + V_b + V_c)/3$ 、 $V_2 = (V_a + a^2 V_b + a V_c)/3$ として、誘起電圧の零相分と逆相分を算出した。ただし、 $a = 1/2(-1 + j\sqrt{3})$ 。

山崎 雄二 (正員) 1967年5月26日生まれ。1991年3月秋田大学鉱山学部電気工学科卒業。同年4月中部電力(株)入社。1998年8月から同社電力技術研究所勤務。主として、電力系統に関する研究に従事。

S.C.Verma (正員) 1959年5月29日生まれ。1986年インドRoorkee大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。インドにて電力会社勤務。1990年来日。1994年名古屋工業大学大学院工学研究科電気工学専攻博士課程修了。同年4月中部電力(株)入社。現在、同社電力技術研究所に所属。主として、電力系統の解析技術に関する研究に従事。

上田 玄 (正員) 1958年6月20日生まれ。1982年3月中部大学大学院博士前期課程修了。同年4月中部電力(株)入社。1990年8月に同社電力技術研究所に転属。1996年3月中部大学大学院博士後期課程満了。主として配電系統における電力品質に関する研究に従事。

小川 重明 (正員) 1946年3月21日生まれ。1964年3月四日市工業高等学校電気科卒業。同年4月中部電力(株)入社。主として、電力系統の給電指令制御、系統保護計画・運用、に従事。現在、同社電力技術研究所系統チームリーダー。

野呂 康宏 (正員) 1957年6月23日生まれ。1982年3月東北大学大学院電気工学科修士課程修了。同年(株)東芝入社。現在、同社電力・産業システム技術開発センターにおいて電力系統の解析および変換器応用システムの研究開発に従事。