

過渡現象解析プログラムEMTPの適用

Application of Electromagnetic Transients Program EMTP

内容梗概

電力系統の過渡現象を解析するプログラム EMTP が世界的に普及してきている。当社では、主に電力系統設備機器の最適設置を決定するため、最近のバージョンのプログラムを使って、電力系統の過渡現象の各種シミュレーションを積極的に実施している。

広瀬 英雄* Hideo Hirose

1. まえがき

一般に物理現象は、線形、非線形の方程式（通常は2階偏微分方程式）で表現できる。現在の形のデジタルコンピュータが利用できる以前は、それらの現象の把握は（実験を除けば）単純な机上のモデルについてだけ方程式の解を数式的に求めていた。1900年代中ごろからのエレクトロニクスの急速な発達は、von Neumann 型の安価で高性能・大容量のデジタルコンピュータを入手することを可能にし、したがって物理現象の把握もデジタルコンピュータを利用した数値解析的なシミュレーション技術により、実規模のモデルにまで拡張されるようになってきた。

電力系統の過渡現象シミュレーションについても例外ではなく、伝送線路モデルの波動方程式（2階線形偏微分方程式）や R, L, C の線形、非線形素子のモデルの方程式をある時刻についての線形代数方程式に変換し、これを各時刻について繰り返し計算することで、系統の現象を把握する方法が確立されてきた。Bergeron 法を基礎とし、米国 BPA (Bonneville Power Administration) で製作された電力系統汎用過渡現象解析プログラム EMTP はその一つであり、現在ではこの種のプログラムとしては全世界的な規模で利用されてきているものである。

当社でもこの状況に応じて、自社で開発した電力系統解析プログラムの利用^{1), 2), 3)}と同時に EMTP を積極的に活用し、主に電力系統設備機器の最適設置を決定するための基礎資料を得ている。

EMTP の基本的なプログラム思想は次のとおりである。系統のネットワークを各種機能を持った branch element (第1表参照) と node で構成されるものとしており、ユーザーが branch element の機能と branch の両端の node を数枚のカードイメージで規定し、それら

第1表 branch element

要素	モデル
送電線	対称線路, 非対称線路 周波数依存効果を考慮した線路 (分布定数)
負荷	線形 R, L, C 非線形 R, L, C 時変 R
変圧器	単相, 3相 (ヒステリシスを含む)
避雷器	SiC 形, ZnO 形 (非線形 R)
電源	定電圧源, 定電流源, 雷波形電源, ユーザー指定電源, 同期発電機
回転機	同期機, 誘導機, 直流機
スイッチ	フラッシュオーバースイッチ, 時間制御ス イッチ, モンテカルロスイッチ
半導体 制御系 (TACS)	ダイオード, サイリスタ 積分器, 加算機 ブロックダイアグラムによる制御系

のカードを EMTP の指示する順序でシーケンシャルに並べてコンピュータに入力することで、EMTP は系統のネットワークポロジを認識する。同時に、各時刻ごとに系統の節点方程式を組み立て、その時刻の node 電圧、branch 電流を計算し、これを繰り返すことで過渡解を求める。このときの節点方程式のマトリックス要素としては、基本的にはコンダクタンス (1/R)、ベクトル要素としては定電流であるため、方程式は実数空間で解ける。この他に、EMTP には EMTP 本体の入力データを作成するための補助機能（例えば、架空送電線の線路定数計算）や、EMTP 本体を制御する TACS (Transients Analysis Control System) が付いている。

2. EMTP の理論的背景

一般的に回路網計算の解法としては、ネットワークの

* 研究所

ノード電圧を未知数として解くノード方程式法と、回路を流れる電流を未知数とするループ方程式法とがある。手計算で解く場合には、未知数の少ないループ方程式法の方がすぐれているが、コンピュータを使って解く場合、ネットワークのトポロジーが簡単に認識できるノード方程式法の方が圧倒的に有利である。ところが、コンピュータで解くノード方程式法では、最終的にはガウスの消去法を利用した線型方程式の解法に帰着されるので、電源は定常電流源、インピーダンスは定インピーダンスのみであるという大きな制約を持つ。

ところで、一般的に電力システムのネットワークは、R, L, C素子、分布定数系、スイッチ素子、非線形素子等が複雑に組み合わされた回路網であり、この回路をある時刻で等価的に集中抵抗と定電流源だけの回路網に置き換えることができれば、一般の電力システムの回路網の過渡現象を性能の良いコンピュータを使ってシステムティックに、実数空間で解くことができる。

このアルゴリズムの基本的な部分を実現したのが、British Columbia 大学の H. W. Dommel であり、アルゴリズムの理論的な背景になっているのは、水理系の波動方程式の解法（特にウォーターハンマー）に利用されている Bergeron 法である⁴⁾。

2.1 ネットワークモデリングの基礎

過渡計算には周波数領域 (frequency domain) での解法と、時間領域 (time domain) での解法とがあるが、EMTP では時間領域解法を（主に）用いる。したがって、関連あるすべての変数は時刻 $t - \Delta t$ で既知であるものと仮定し、この知識を単位時間ステップ Δt だけ進めて、新しい時刻 t での解を得ようとする。

2.1.1 線形集中要素モデリング

インダクターのモデリングは時間ステップ Δt の台形積分法を使って、次の差分方程式を得る。

$$i(t) = i(t - \Delta t) + \frac{\Delta t \{V(t) - V(t - \Delta t)\}}{2L} \dots\dots(1)$$

時刻 $t - \Delta t$ での変数の値は既知であるから、(1)式は次のように書きかえることができる。

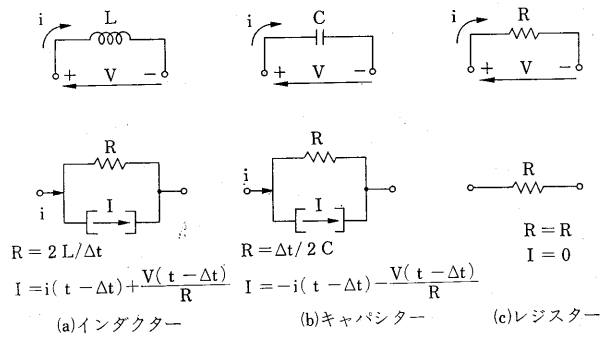
$$i(t) = V(t)/R + I \dots\dots(2)$$

ここで、

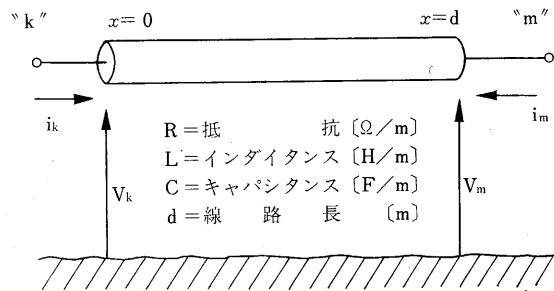
$$R = 2L/\Delta t, I = i(t - \Delta t) + V(t - \Delta t)/R \dots\dots(3)$$

抵抗 R は、時間に独立な変数であり、 I は時間と共に変化する既知の電流源を示している。キャパシターの場合も同様にして導かれ、L, C, R の等価回路は第1図のようになる。

第1図の等価回路は、線型の R, C, L 要素の常微分方程式は台形積分法によって定抵抗と既知の（時間とともに変化する）電流源へと変換されることを示している。これは非結合線形 R, L, C であったが、結合された線形 R, L, C についてもスカラー量をベクトル量に



第1図 線形 L, C, R の等価回路



第2図 単相伝送線路モデル “k” — “m”

置きかえるだけで、全く同様の結論が導びかれる。

2.1.2 分布定数系モデリング⁵⁾

単相、無損失の伝送線路を使って、分布定数系モデリングの基本的な原理を説明する。第2図のような伝送線路では次のような偏微分方程式が成立する。

$$-\frac{\partial v(x, t)}{\partial x} = L \frac{\partial i(x, t)}{\partial t} \dots\dots(4)$$

$$-\frac{\partial i(x, t)}{\partial t} = C \frac{\partial v(x, t)}{\partial t} \dots\dots(5)$$

D'Alembert は(4), (5)式の一般解を次のように与えた。

$$i(x, t) = f_1(x - st) - f_2(x + st) \dots\dots(6)$$

$$v(x, t) = Z_0 \cdot f_1(x - st) + Z_0 \cdot f_2(x + st) \dots\dots(7)$$

ここに、

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} : \text{特性インピーダンス} \dots\dots(8)$$

$$s = 1/\sqrt{LC} : \text{波動伝搬速度} \dots\dots(9)$$

で f_1 は前進波、 f_2 は後進波とよばれる。

(6), (7)式より

$$v(x, t) + Z_0 \cdot i(x, t) = 2 \cdot Z_0 \cdot f(x - st) \dots\dots(10)$$

となり、(10)式は $x - st$ が一定ならば、 $v + Z_0 \cdot i$ が一定であることを示している。この量を前進波についての D'Alembert の invariant とよぶ。したがって、ノード “k” と “m” の間の波動伝搬時間を τ とするとき、

$$V_m(t - \tau) + Z_0 \cdot i_m(t - \tau) = V_k(t) + Z_0 \cdot (-i_k(t)) \dots\dots(11)$$

が成立し、(11)式を変形すれば、

$$i_k(t) = V_k(t)/Z_0 + I_k \dots\dots(12)$$

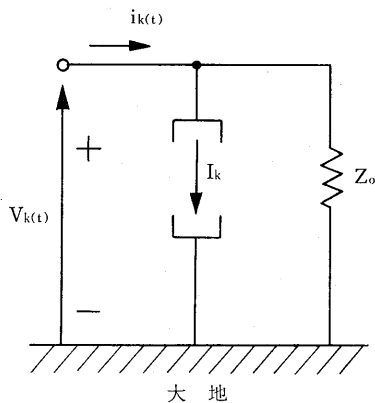
を得る。ここで、

$$\left. \begin{aligned} I_k &= -i_m(t-\tau) - V_m(t-\tau)/Z_0 \\ \tau &= d/s \text{ (線路の伝搬時間)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(13)$$

である。

(12), (13) 式より、ノード “k” で の伝送線路の等価回路は、第3図のようになり、集中線形素子の場合と同様、系のモデリングは定抵抗と定電流源のみで表現されることを示している。第3図から容易にわかるように、特性インピーダンス Z_0 はノード “k” とノード “m” の間にあるのではなく、ノード “k” と大地との間にあり、このことは、系統のネットワークがいくつかのサブネットワークにトポロジカルに分解されることを示しており、線形方程式を解く上で非常に意味のあることである。

また I_k については、 $((\tau/\Delta t)$ の整数部 + 1) 個の past history data が必要になる。



第3図 単相伝送線路の等価回路 “k”

2.1.3 多相線路の分布定数モデリング

多相線路の波動方程式はつぎのようにあらわすことができる。

$$-\frac{\partial v(x,t)}{\partial x} = [L] \frac{\partial i(x,t)}{\partial t} \dots\dots\dots(14)$$

$$-\frac{\partial i(x,t)}{\partial x} = [C] \frac{\partial v(x,t)}{\partial t} \dots\dots\dots(15)$$

(14), (15) を書き直せばつぎの式を得る。

$$\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} = [L][C] \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \dots\dots\dots(16)$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = [C][L] \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} \dots\dots\dots(17)$$

$[L]$, $[C]$ は非対角要素が非零であるから、(16), (17) を解くのは容易ではない。そこで、電圧、電流ベクトル v , i を(16), (17) 式の非対角要素が零になるように変換し、単相線路の解法に帰着させて解を得る。変換する前のベクトル空間を phase space, 変換された後のベクトル空間を modal space とよぶ。変換行列 $[T_v]$, $[T_i]$ を、

$$\{v_{phase}\} = [T_v]\{v_{mode}\} \dots\dots\dots(18)$$

$$\{i_{phase}\} = [T_i]\{i_{mode}\} \dots\dots\dots(19)$$

(119)

と定義すれば、(16), (18) は

$$\left\{ \frac{\partial^2 v_{mode}}{\partial x^2} \right\} = [T_v]^{-1}[L][C][T_v] \left\{ \frac{\partial^2 v_{mode}}{\partial t^2} \right\} \dots\dots\dots(20)$$

$$\left\{ \frac{\partial^2 i_{mode}}{\partial x^2} \right\} = [T_i]^{-1}[C][L][T_i] \left\{ \frac{\partial^2 i_{mode}}{\partial t^2} \right\} \dots\dots\dots(21)$$

となる。 $[T_v]^{-1}[L][C][T_v]$, $[T_i]^{-1}[C][L][T_i]$ が対角行列であるから、 $[T_v]$, $[T_i]$ をきめることは、 $[L][C]$, $[C][L]$ の固有ベクトルを見つけすることに帰着される。

2.2 ノードアドミッタンス方程式

2.1.1, 2.1.2 からわかるように系統の過渡現象解を求めることは、基本的には抵抗と定電流源だけから成るノードアドミッタンス方程式(22)を各タイムステップ毎に解くことにほかならない。

$$[Y]\{v\} = \{i\} \dots\dots\dots(22)$$

ここで、 $[Y]$ はノードアドミッタンスマトリックス、 $\{v\}$ はノード電圧ベクトル、 $\{i\}$ は注入される電流ベクトルである。実際のネットワークでは一般にアドミッタンスマトリックスは Sparse であり、高速演算処理アルゴリズムを使うことができるので、各タイムステップでの演算時間の短縮がはかられている。

2.3 スイッチング操作

スイッチはその開閉の状態によって、ネットワークのトポロジーが変化するので、ノードアドミッタンス行列が、スイッチの開閉動作に応じて変化する。この操作をスムーズに実行するために、スイッチに接続されているノードだけをまとめて、マトリックスの下部に置くようにノードの順番付けの変更を行う。

2.4 非線形素子

非線形素子の特性を局所的に線形として扱うことができるまで、タイムステップ Δt を小さくすれば、非線形素子も、各ステップでは線形とみなされるので、テブナンの定理を使って、ノードアドミッタンス方程式を解くことができる。ただし、特性が変更するときノードアドミッタンスマトリックスが変わるので、計算量は多くなる。

2.5 線路の周波数依存効果

カーソンの式⁶⁾によれば、線路の大地を帰路とするインダクタンスは周波数により変化する。また、線路の抵抗も表皮効果により影響を受ける。したがって、電力系統の過渡現象シミュレーションにおいて、線路定数(特性インピーダンス、伝搬速度、減衰率)が大きく変わる周波数成分を持つ場合(例えば、商用周波数領域から高周波領域へ急に移る故障計算、開閉サージ計算等)、線路定数を固定周波数で求めたもので、過渡現象を行うと実測値と計算値が異なることが報告されており⁷⁾、すべての周波数領域にわたって計算する必要がある。

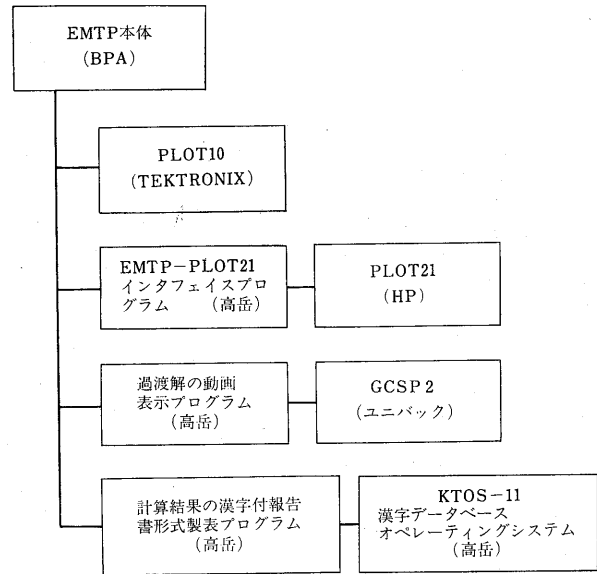
周波数依存効果を考慮した計算は、周波数領域で計算する場合フーリエ変換法が使用されるが、EMTPの場合、基本的に時間領域で計算が行われるので、周波数依存効果も時間領域で計算する必要がある。この計算は進み計算であるが、計算法は難しい。現在各種の近似計算法が提案されているが^{(7),(8)}、これらは解法としては確立されているものの、安定した解を得るには、細心の注意が必要である。

3. EMTP の走行環境

BPA での EMTP 開発ホストコンピュータは当初、CDC 製であったが、1979年からは DEC 社のスーパーミニコン VAX11/780 に変わっている。EMTP の機能追加修正に伴うバージョンアップが急速に進められる中で、VAX 以外のマシン（例えば IBM コンパチブルマシン）に EMTP を移植することは、ある程度の困難と期間を要することが予想される。そこで、今日では BPA をはじめとする EMTP ユーザー各機関の協力で作られた Translator Editor プログラムを使って、UTPF（仮想マシンに対する EMTP プログラム）の EMTP ソースプログラムを各マシンに容易に移植する方式がとられている。しかしながら、相変わらず移植にともなうトラブルは絶えないようである。

現在当社では、最新のバージョンをすぐに利用でき、EMTP のプリ・ポストプロセッサの開発が容易に実行できる VAX11/780 を、EMTP のターゲットマシンとして利用している。第4図に EMTP 走行環境のハードウェアシステム構成を示す。デジタルプロッタは HP 製であるが、BPA では EMTP に HP プロッタ用ソフトウェアを用意していないので、当社では、EMTP のバージョンアップに独立な仕様で、HP プロッタ用ソフトウェアを開発した。第5図に当社で EMTP 走行に利用しているソフトウェア構成を示す。

最近 BPA では、Apollo 社のエンジニアリング用ワークステーション形コンピュータ domain を EMTP 開発マシンとして利用し始めた。このコンピュータは小形で安価でありながら、VAX 11/780 が扱えるソフトウェアと同等のものが扱え、性能的にも VAX の約 1/4 と見



第5図 ソフトウェア構成図

劣りがしない。

また、domain の Video Terminal は高解像度の bit map display を使用しており、EMTP で使用する電力系統モデルのネットワークシステムを、画面上で対話形で構築でき、計算結果のグラフィック表示も同一画面上で同時に行なえるという特徴をもつので、domain を使うことで、EMTP 上のマンマシンインタフェース機能をあげることができる。

この方面の開発もすでになされており、米国 Electrocon 社是对話形でネットワークを構成するソフトウェアパッケージを開発した。

そこで、当社でも、EMTP プリポストプロセスを安価で容易に実現できる機能を持つ domain を EMTP のターゲットマシンに加えていくつもりである。

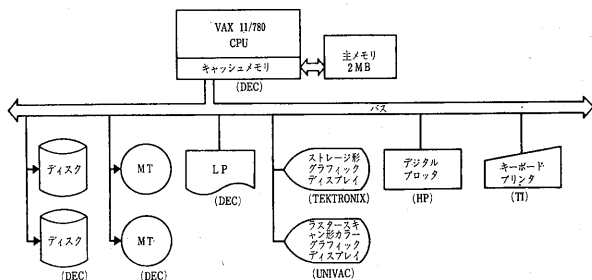
なお、当社では過渡現象計算結果の把握を深めるための EMTP ポストプロセッサとして、プロッタによる3次元グラフ表示プログラム、カラーグラフィックディスプレイを使った動画処理プログラムを開発している。

4. 計算例

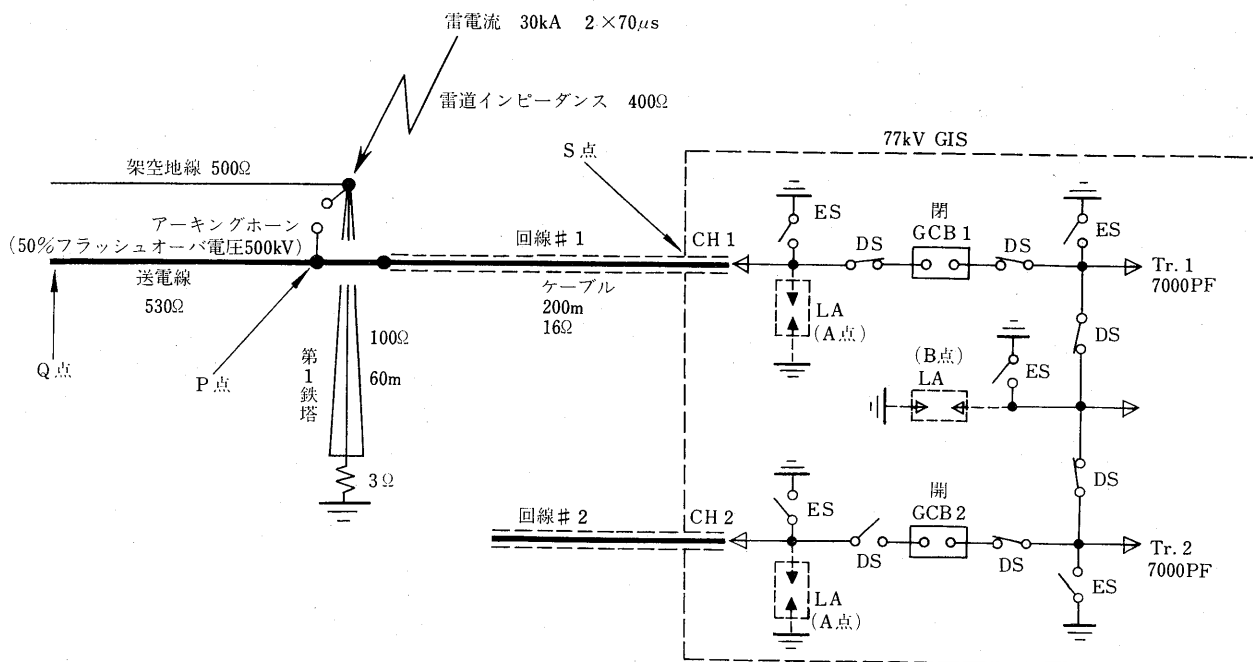
4.1 雷サージシミュレーション

EMTP の典型的利用例として、77kV GIS の雷サージシミュレーションを行った。これは、避雷器の設置位置による GIS 保護の効果を見ために実施したものである。シミュレーションとしては、第2表に示す4ケースの場合を想定した。

GIS 内の断路器、しゃ断器、接地装置、スパーサ、トランスは集中数 C で、母線は分布定数で、避雷器は非線形抵抗で模擬した。系統のモデルとしては、第6図に示



第4図 ハードウェア構成図



第6図 77kV GIS 雷サージ計算モデル回路図

第2表 GIS 雷サージ計算ケース

計算ケース	避雷器設置位置	雷進入回線
1	受電端 (第6図A点)	# 1
2	受電端 (第6図A点)	# 2
3	Tr. 1 と Tr. 2 の間 (第6図B点)	# 1
4	Tr. 1 と Tr. 2 の間 (第6図B点)	# 2

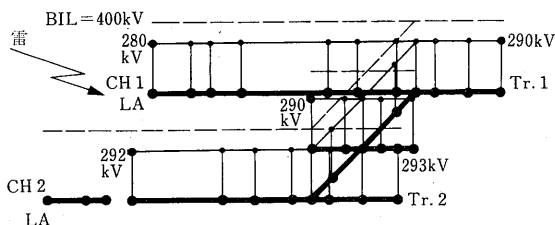
すとおり、架空地線に入った雷電流 (30kA, $2 \times 70\mu s$) がアーキングホーン (50%フラッシュオーバー電圧は500kV) の逆フラッシュオーバーにより鉄塔から送電線へ進入し、ケーブルを通過して GIS へ到達することを想定した。GIS は常用、予備の2回線受電であり、第6図の場合、#1の回線で受電しているため、GCB 1 は閉じ、GCB 2 は開いている。

各ケースで計算した GIS 内の過電圧最大電位分布図を第7図に示す。第7図によれば、ケース1から3までは、避雷器が有効に働いているので、GIS 内の過電圧最大電位分布はすべて BIL (400kV) 以内におさまっているが、ケース4の場合は、ケーブルヘッドに BIL を超す異常電圧 (920kV) が発生していることがわかる。

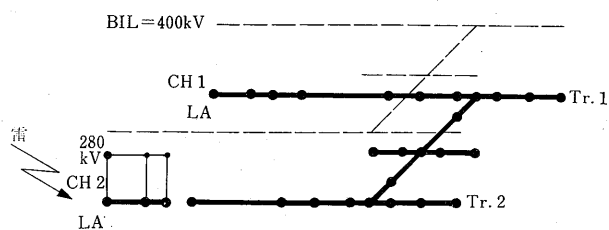
第8図にケース4の場合の、雷撃点電圧、ケーブルヘッドの電圧の経時変化のグラフを示す。第8図での電圧上昇は、しゃ断器端と、ケーブル-送電線接続点との間の反射の繰り返しによるものである。第9図は、ケース1の場合の雷撃点電圧、ケーブルヘッドの電圧、トランス1の電圧の経時変化のグラフである。

過渡現象計算の場合、各点の経時変化だけを見ていて

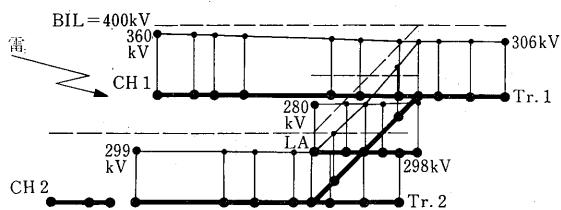
ケース1：避雷器は受電端に設置、雷進入は#1



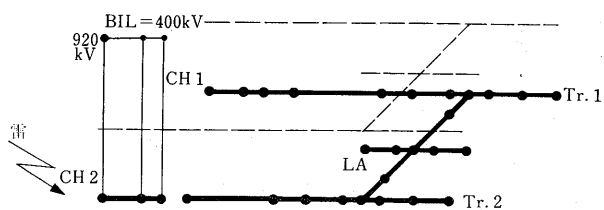
ケース2：避雷器は受電端に設置、雷進入は#2



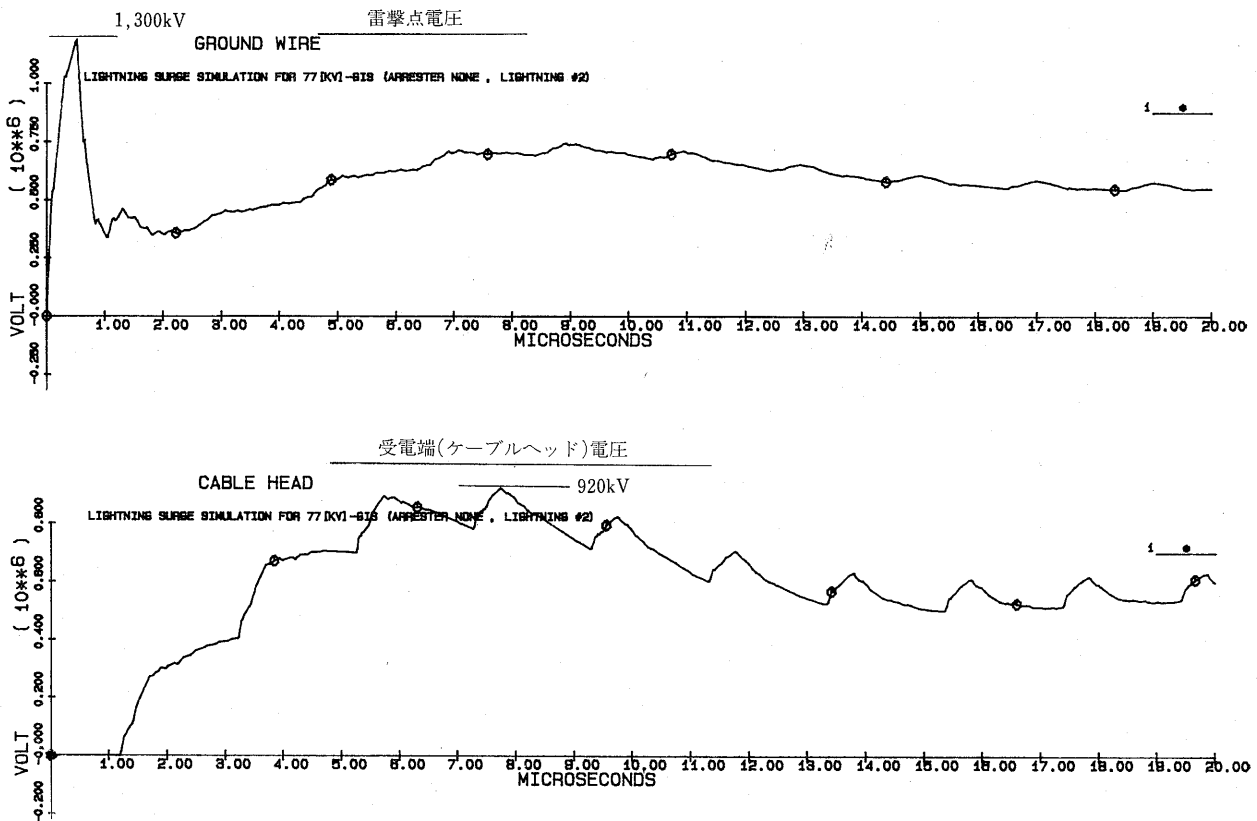
ケース3：避雷器はTr.1とTr.2の間に設置、雷進入は#1



ケース4：避雷器はTr.1とTr.2の間に設置、雷進入は#2



第7図 GIS 内過電圧最大電位分布



第8図 ケース4の場合の GIS 内各部の電圧経時変化

も、系統全体の波動の反射、透過を直観的に把握することが困難である。当社ではカラーグラフィックディスプレイ装置を利用して、GIS内の電位分布の経時変化を動画で表現することを試みた結果、第10図に示すように直観的にGIS内電位分布の動きが見れるようになった。第10図は、ケース3の場合のシミュレーションであり、避雷器設置部での電位変化が少ないのがよくわかる。

また、系統が直線的に表現できる場合、時間パラメータと位置パラメータに対する電圧の変化は、3次元グラフ表示を使って表現することができる⁹⁾。第11図にケース4の場合で、ケーブル長が1,600mになったとき、(ケーブルとGISを同時に保護する意図で)避雷器をケーブル-送電線接続点に置いた場合の、電圧波動の伝搬の3次元グラフ表示法を示す。第11図によれば、GIS受電端での波動の反射が一目で把握でき、また避雷器で制限された電圧の約2倍の電圧(500kV)がケーブルにかかっていることがわかる。

4.2 デジタルリレーのシミュレーション

66kV/6.6kV系統デジタルリレーの性能検証のため、66kV/6.6kV電力系統とデジタルリレーをデジタルコンピュータ内で模擬し、模擬電力系統内での現象(例えば、地絡事故、変圧器事故等)に対するデジタルリレーの応答(Trip)の確認を行う。電力系統内の各現象とデジタルリレー内の(アクティブ)アナログフィルターは、

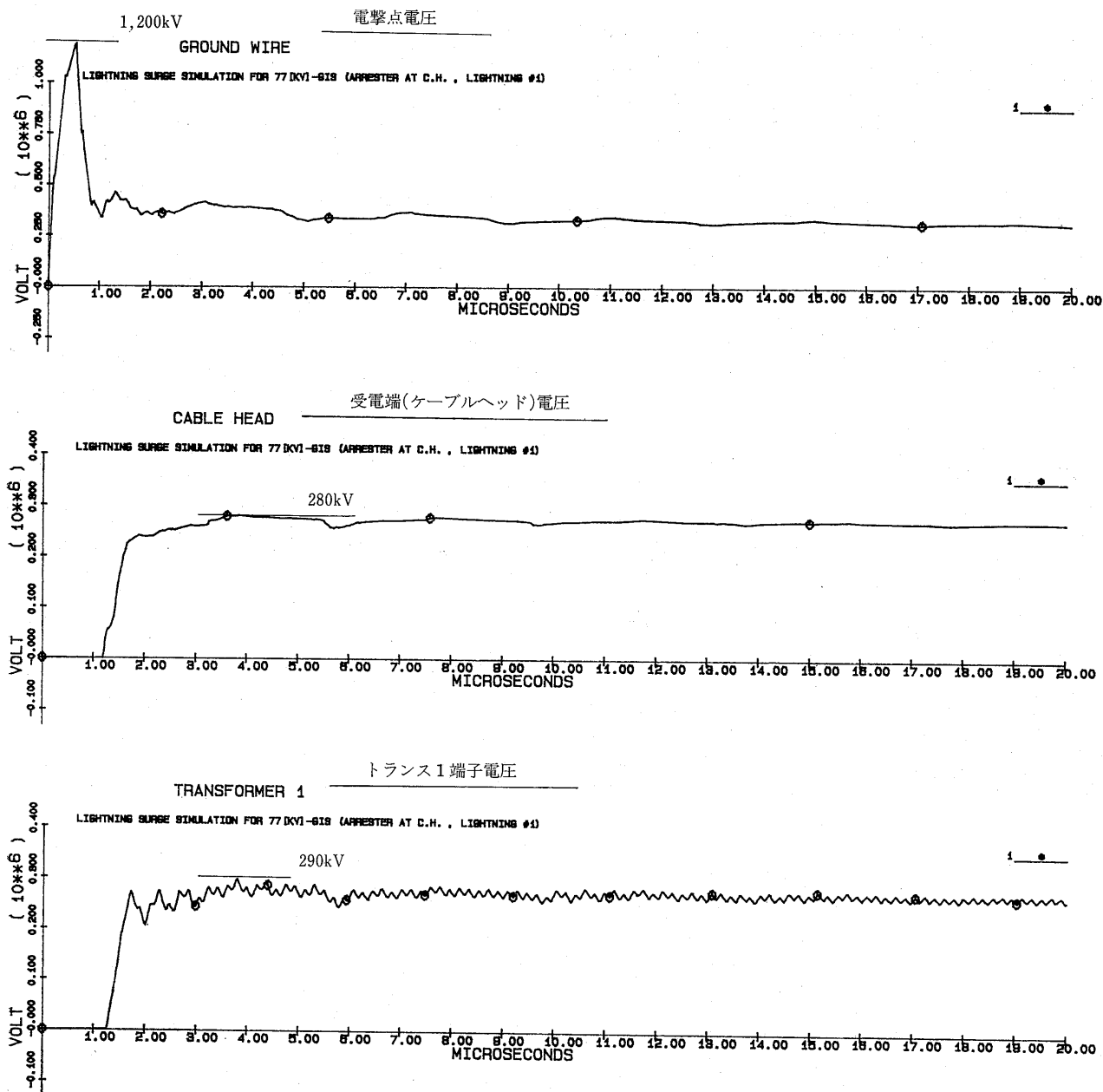
EMTPで模擬し、デジタルリレー内デジタル処理は、リレーと同一のアルゴリズムをFORTRANを使って模擬している。

ここでは、代表的にケーブル1線地絡事故が起きた場合、地絡方向リレーが事故を検出し、リレーが動作するまでの様子を例示する。第12図に電力系統図を示す。地絡事故は2種のケーブルの接続点のR相で起ったと仮定した。また、事故のタイミングは、地絡電流が最も大きいときを選び、故障点接地抵抗は 1Ω としている。第13図にデジタルリレーの構成図を示す。第13図で、アナログフィルターはEMTPのTACS(Transients Analysis Control System)を使い、アクティブフィルターをシミュレートしている。アクティブフィルターを伝達関数で表現し、この制御系をtime domainで実行できるのがTACSの強みである。また、第14図にフィルター各部(シミュレーション出力点(1),(3),(4),(6),(9))での電圧、電流波形を示す。第14図によると、地絡方向リレーは事故後27ms後にトリップしていることがわかる。

4.3 過渡回復電圧の計算

電力系統に事故が起こるとしゃ断器により事故電流がしゃ断される。このときにしゃ断器の両電極間に発生する過渡回復電圧(TRV)は系統によって異なる様相を呈するため、実系統に合ったTRVを知る必要がある。

EMTPでTRVを求めるには、事故点に電源を想定



第9図 ケース1の場合の GIS 内各部の電圧経時変化

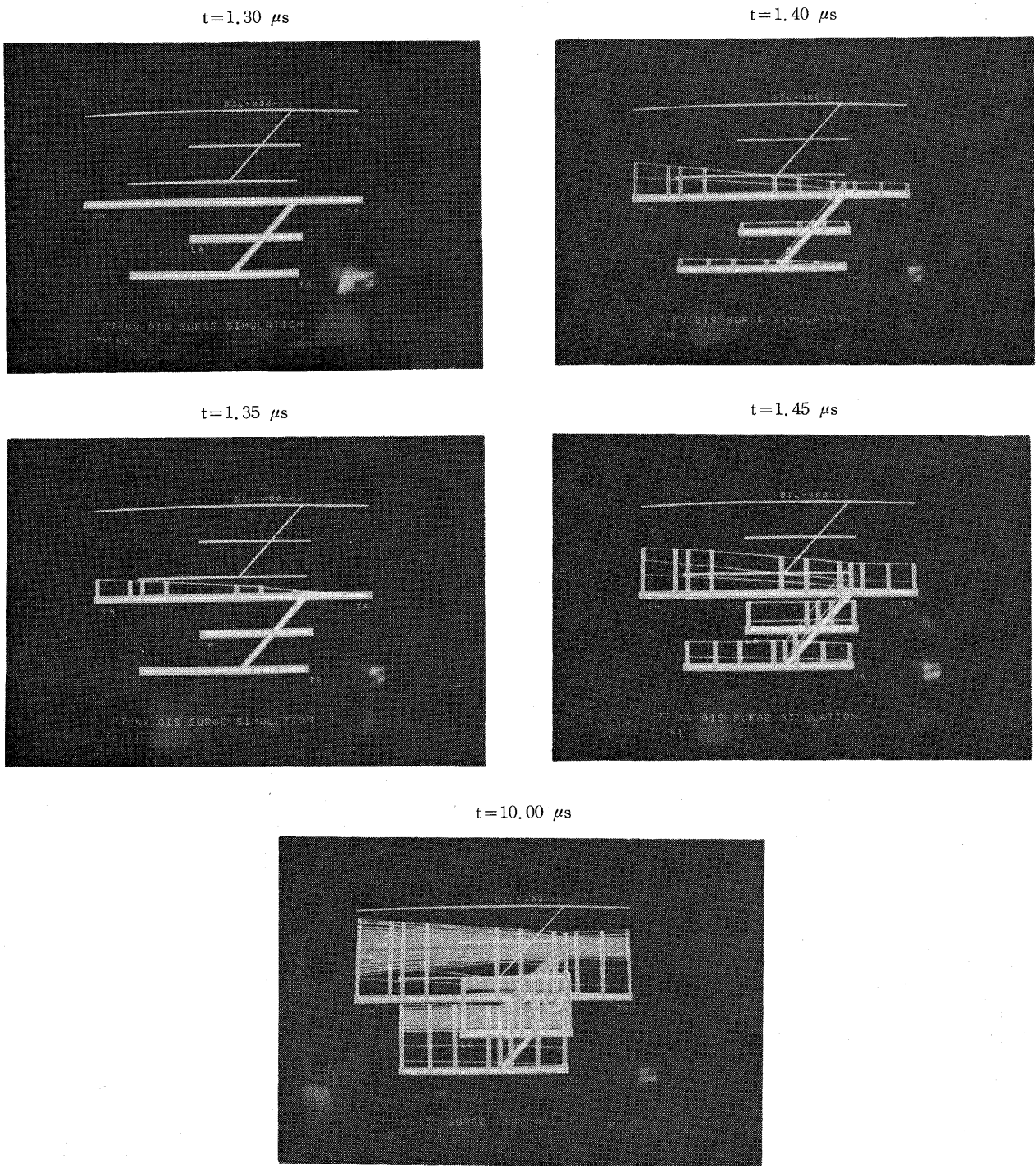
して、事故時にしゃ断器をオフにする電流注入法を用いる。第15図に 500kV 系統のA変電所の事故を想定したときの系統図を示す。また第16図に注入電流(事故継続時間は 16.5ms), しゃ断器電極電圧, 過渡回復電圧を示す。第16図より過渡回復電圧の上昇率は 1.2kV/ μ s であることがわかる。

4.4 誘導電動機の始動シミュレーション¹⁰⁾

EMTP の内には回転機系のモデルとして, U. M. (Universal Machine) 要素が含まれている。回転機系は回転機の回転数に応じ、インピーダンス, トルクも変化するような, 電気系と機械系が互に関係しあう制御系

である。EMTP では, 機械系の定数(慣性モーメント, ダンピングファクター, 負荷等)を電気系の定数(コンデンサー, 抵抗, 電流源)に置き換え, 回転機のスピードに応じた制御を TACS 内で行い, 回転機のモデルをシミュレートしている。

ここでは3相誘導電動機始動時の電流, トルク, 角速度をシミュレートしている。第17図にモデル等価回路図を, 第18図に電動機始動時(0~500ms)のR相の電流, 発生トルク, 角速度のグラフを示す。また, 第19図に, 角速度をパラメータとしたときのトルクの変化のグラフを示す。

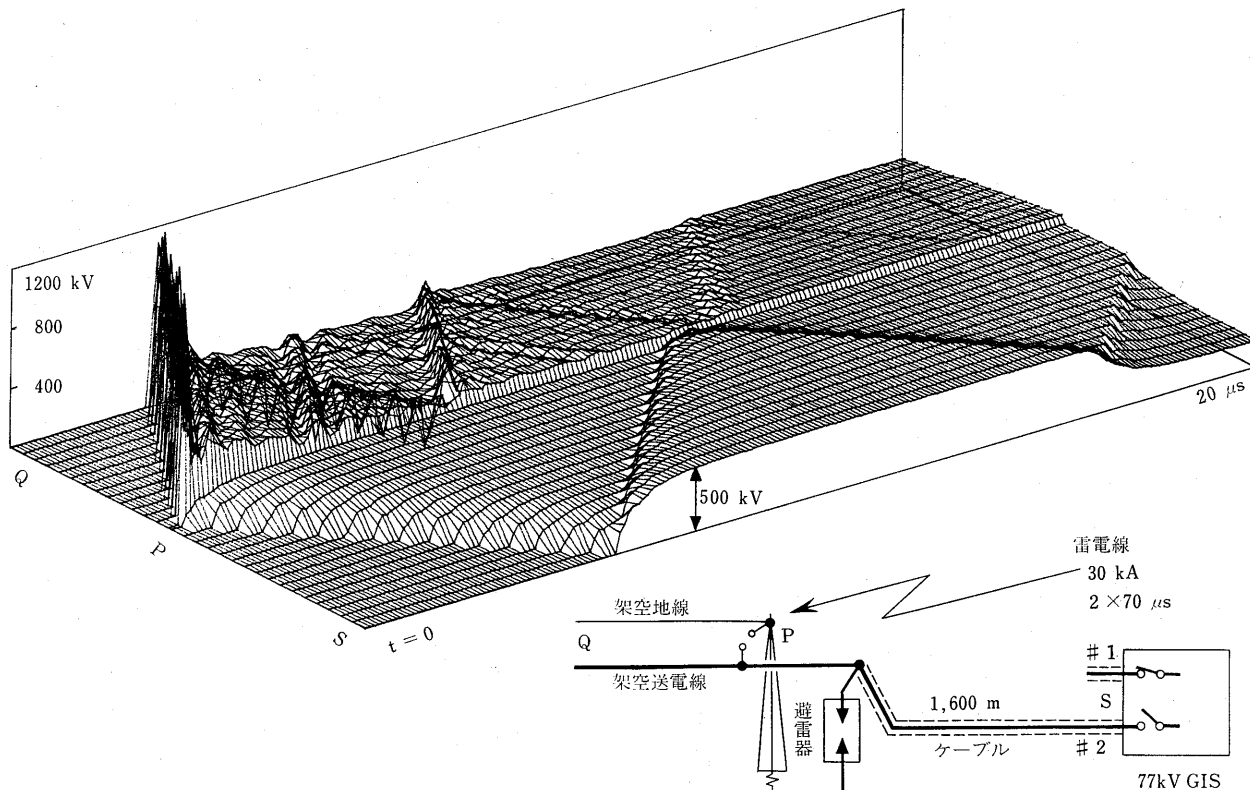


第10図 GIS 内電位分布の経時変化の動画表現

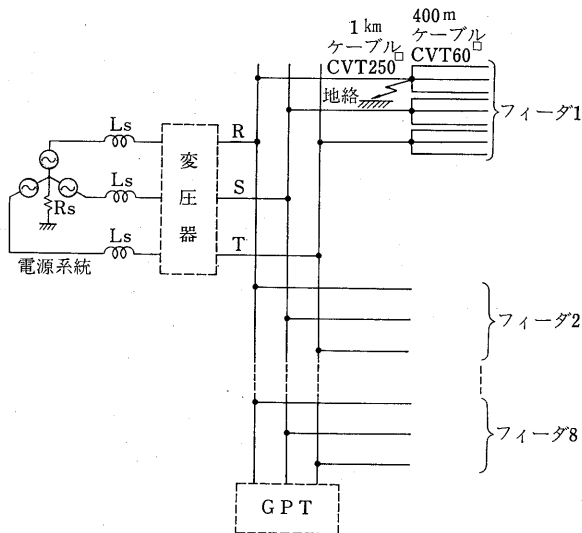
4.5 その他の利用例

EMTP は、サージ計算を行うことを当初の目的としていたが、過渡現象計算を時間領域で解け、しかもスイッチ素子、非線形素子を含むことができ、更に電気系統 (EMTP) と制御系統 (TACS) が各タイムステップで相互にインタフェイスがとれるため、汎用性が高い。したがって、EMTP 計算機能としては、①直流送電時の事故シミュレーション、②交直変換シミュレーション、

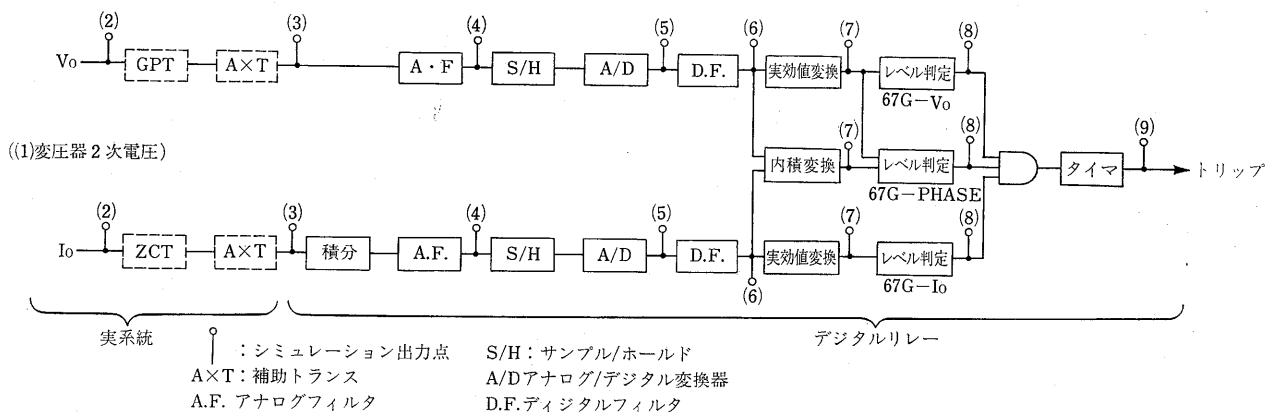
③発電機、誘導機、同期機などの回転機系を含むシミュレーション、④サイリスタを含む系統の高調波分析、⑤あるいは変わったところでは、モンテカルロスイッチを使って、系統応答の統計的データを得ること、⑥TACSのみを使っての制御系をブロックダイアグラムで表現した場合のシミュレーション等があげられ、その汎用性の高さが示される。



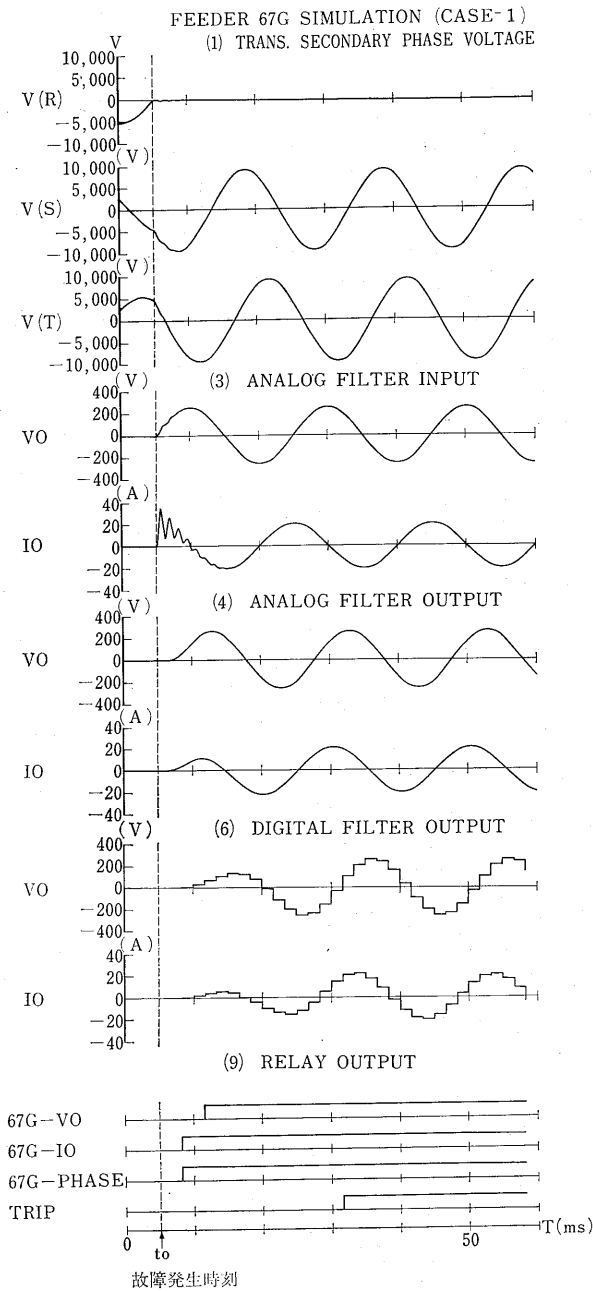
第11図 77kV 系統の雷サージ波形伝搬の3次元グラフ表示



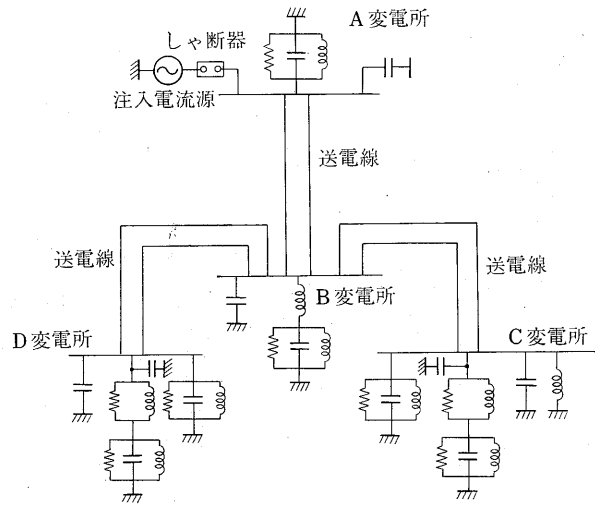
第12図 電力系統図



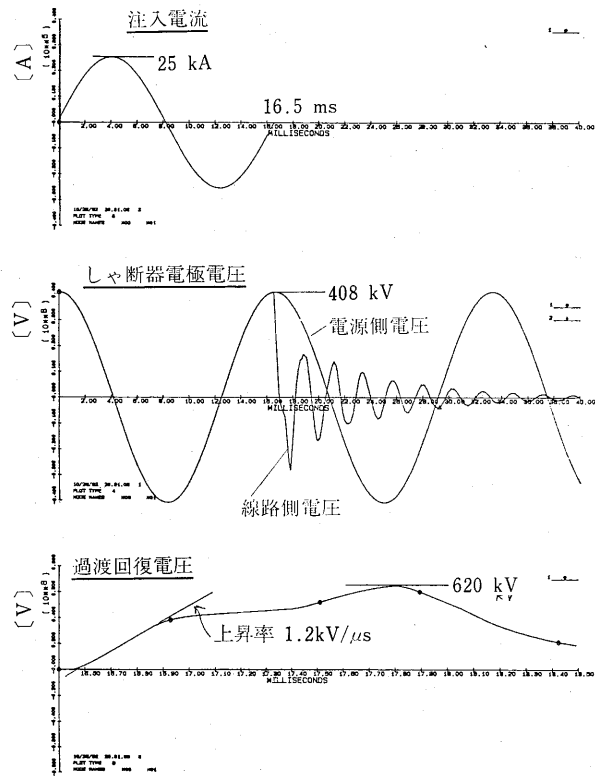
第13図 デジタルリレー構成図



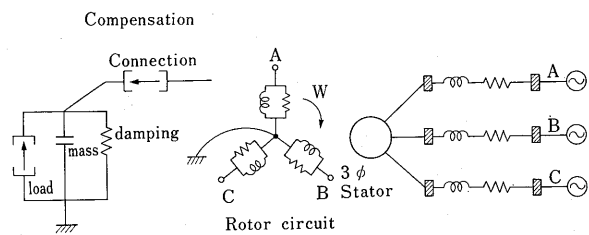
第14図 フィルター内各部分での電圧・電流波形



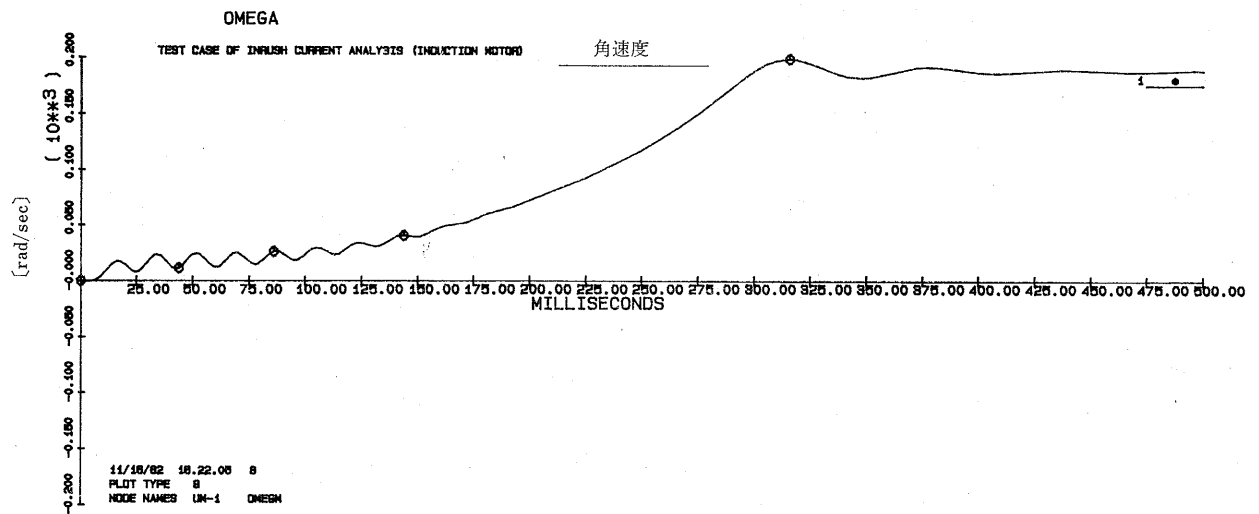
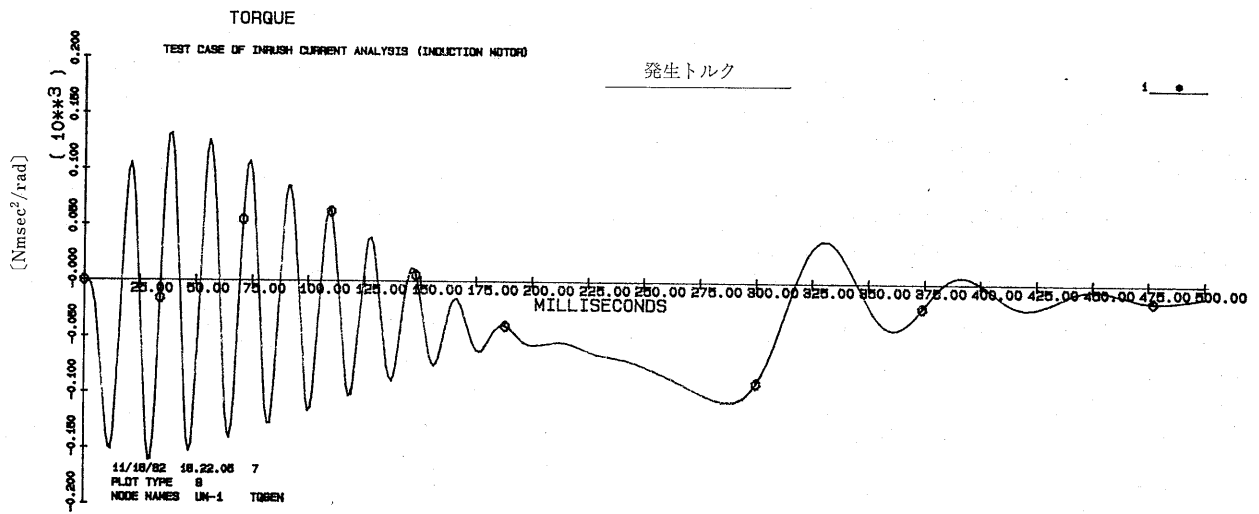
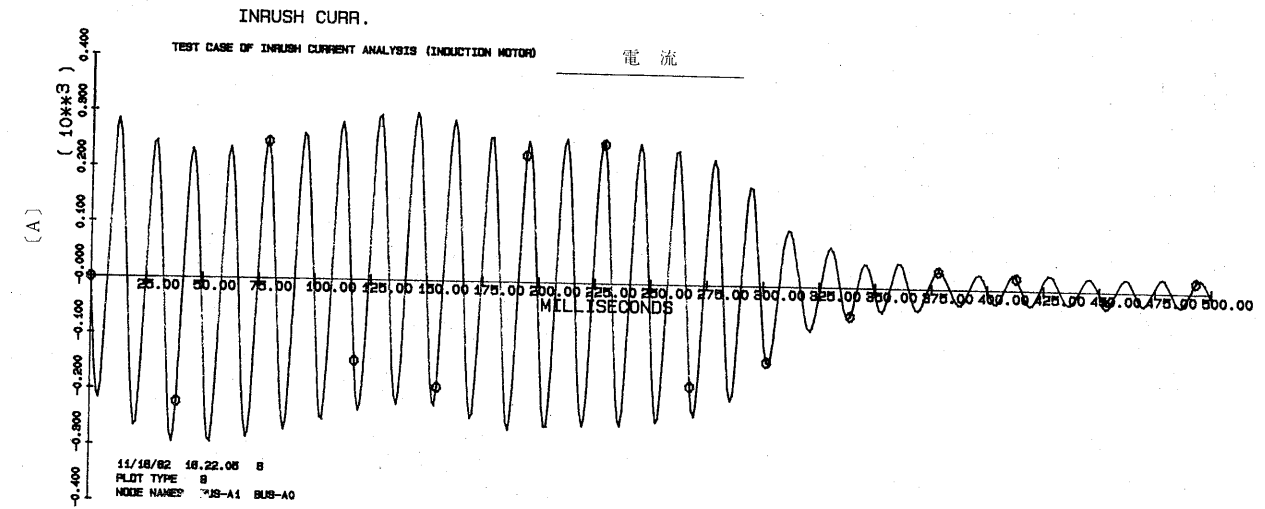
第15図 500kV 電力系統図



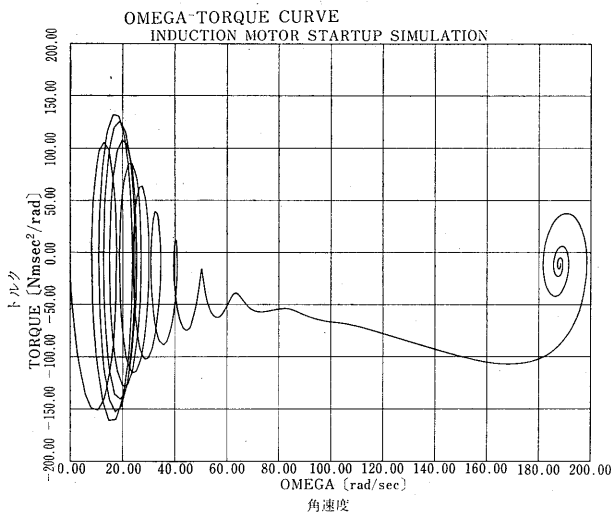
第16図 過渡回復電圧の計算結果



第17図 3相誘導電動機モデル等価回路



第18図 電動機始動時のシミュレーション (電流, トルク, 角速度)



第19図 電動機の(角速度—トルク)始動特性

5. あとがき

EMTP の機能は本文で述べたように、時間領域で過渡計算ができるため、現在の形のデジタルコンピュータで利用できる電力系統過渡現象解析プログラムとしては卓抜している。しかしながら、公的研究機関で開発されたものだけに、マニュアルの整備、マンマシン機能(特に入力データの作成の容易性、データのチェック機能、解析結果の視覚化)の部分に大きな関心がはらわれていない。また、プログラム開発者が研究者当人であり、小人数であるため、BUG 発生は絶えない。したがって、EMTP を使いこなすのに大きな労力と知識を必要とし、EMTP ユーザーとしては各社、各機関内に限られた人しかいなかった。

今後は、EMTPの開発形態もBPA単独ではなくなり、アメリカ、カナダほかの協同開発となるため、マニュアル、マンマシン機能の充実、プログラムの信頼性が、有限要素法プログラム(例えば、NASTRAN、ANSYS、

SUPERB)のそれらと同等になるように期待される。

なお、当社における EMTP の普及は日本 EMTP 委員会(委員長は同志社大学の雨谷助教授)に負うところが大きく、雨谷委員長と、委員会の各委員に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 石川, 枝, 財満, 広瀬: 「500kV 変電所における誘導電圧・電流の計算」 高岳レビュー vol. 28, No. 93, p. 52 (昭和56年3月)
- 2) 塩入, 伊藤, 佐藤: 「パンタグラフ形断路器固定接触子装置の分流現象解析」 高岳レビュー vol. 27, No. 91, p. 45 (昭和55年7月)
- 3) 浅野: 「断路器によるループ電流開閉の実態と対策」 高岳レビュー vol. 28, No. 94, p. 41 (昭和56年6月)
- 4) 関根: 「電力系統解析理論」(電気書院) pp. 21 (昭和50年)
- 5) Hermann W. Dommel: "Digital Computer Solution of Electromagnetic Transients in Single-and Multiphase Networks", IEEE. PAS, vol. pas-88, No. 4, April. 1969, p. 388
- 6) J. R. Carson: "Wave propagation in overhead wires with ground Return", Bell System Technical Journal, vol. 5, pp. 539, 1926
- 7) W. S. Meyer, H. W. Dommel: "Numerical Modeling of Frequency-Dependent Transmission-Line Parameters in an Eletromagnetic Transients Program", IEEE PAS vol. PAS-95, pp. 1545, Sept/Oct 1976
- 8) J. R. Marti: "Accurate Modelling of Frequency-dependent Transmission Lines in Eletromagnetic Transient Simulations", IEEE PAS, vol. PAS-101, No. 1, Jan. 1982
- 9) 広瀬, 埴田, 岩田: 電気学会東海支部連合大会 No. 82 (昭和57年11月)
- 10) W. S. Meyer: EMTP Rule Book, pp. 36g-4 (1980)