

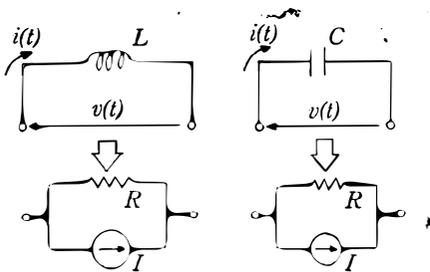
新しい電力系統の過渡現象解析法(EMTP法)

総合技術研究所

<要旨> 米国エネルギー省ボンネビル電力局(BPA)で開発されている電力系統過渡現象の解析プログラム EMTP (Electro Magnetic Transients Program) は、従来のアナログの解析手法と比較して、特別な設備が不要であり、キメの細かい解析が可能である、などの特徴がある。また、他の過渡現象解析プログラムと比較して汎用性と精度の点で優れている。そのため当所も昭和57年4月に情報システム部の協力を得て、このプログラム(EMTPモード31)を導入し、現在試行使用している。今後、雷サージ解析、開閉サージ解析、系統開閉過渡過電圧解析など、広範な適用が考えられるので、その概要を紹介する。

1. EMTPの計算手法

EMTPは、一般的には電力系統に発生する各種の過渡現象の計算を目的としている。その計算手法の特徴は、すべての回路素子を電流源と抵抗による等価回路に置き換え、節点解析法を用いて解を求めることである。各種素子の等価回路を第1図に示す。

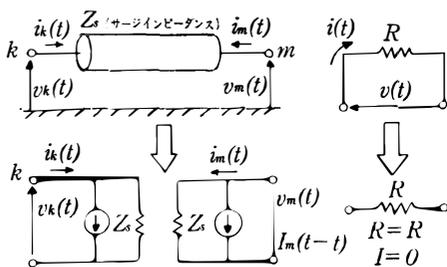


$$R = 2L / \Delta t \quad R = \Delta t / 2C$$

$$I = i(t - \Delta t) + v(t - \Delta t) / R \quad I = -i(t - \Delta t) - v(t - \Delta t) / R$$

(a)リアクトル (b)コンデンサ

(Δt : 計算ステップ時間)



$$I_k(t - \tau) = -i_m(t - \tau) - v_m(t - \tau) / Z_s$$

$$I_m(t - \tau) = -i_k(t - \tau) - v_k(t - \tau) / Z_s$$

(c) 無損失分布定数線路 (d) 抵抗

第1図 抵抗回路への等価変換

ここで、第1図の各種素子のうち、リアクトルを例にとって、等価回路への変換について説明する。

第1図(a)において

L : インダクタンスの大きさ

$v(t)$: ある時刻 t におけるインダクタンス両端の電位差

$i(t)$: ある時刻 t にインダクタンスの端子へ流入する電流

とすると、 L 、 $v(t)$ 、 $i(t)$ は次の関係式であらわされる。

$$v(t) = L \cdot di(t) / dt \quad \dots\dots(1)$$

これを变形して

$$di(t) / dt = 1/L \cdot v(t) \quad \dots\dots(2)$$

この式を過去の時点 ($t - \Delta t$) から時刻 t まで積分すれば、次式のようになる。ただし Δt は微小時間 (EMTP計算では計算ステップ時間) である。

$$i(t) - i(t - \Delta t) = 1/L \cdot \int_{t - \Delta t}^t v(t) \cdot dt \quad \dots\dots(3)$$

式(3)の積分を第2図のように台形近似する。すなわち、斜線の部分を、 $v(t - \Delta t)$ を上底、 $v(t)$ を下底、 Δt を高さとする台形とみなすと、その面積は、

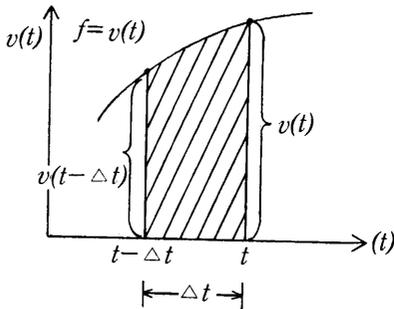
$$1/2 \cdot \{v(t - \Delta t) + v(t)\} \cdot \Delta t \quad \dots\dots(4)$$

であらわされるため、式(3)右辺の積分は次の式であらわされる。

$$\int_{t - \Delta t}^t v(t) \cdot dt = \Delta t / 2 \cdot \{v(t) + v(t - \Delta t)\} \dots\dots(5)$$

式(3)右辺へ式(5)を代入して変形すると、次の式が得られる。

$$i_{(t)} = 4t/2L \cdot v_{(t)} + \{i_{(t-\Delta t)} + 4t/2L \cdot v_{(t-\Delta t)}\} \dots\dots(6)$$



第2図 積分の台形近似

式(6)において、 $i_{(t)}$ 、 $v_{(t)}$ は任意の時刻における値であり、これが知りたい値である。また $i_{(t-\Delta t)}$ 、 $v_{(t-\Delta t)}$ は過去の時点における値（既知）である。式(6)において、

$$R = 2L/4t \quad \dots\dots(7)$$

$$I = i_{(t-\Delta t)} + 4t/2L \cdot v_{(t-\Delta t)} \quad \dots\dots(8)$$

とすると、式(6)は次のようになる。

$$i_{(t)} = 1/R \cdot v_{(t)} + I \quad \dots\dots(9)$$

となって、これを回路であらわすと、第1図(a)の等価回路のようになる。以上のような等価回路の変換は、プログラム内で処理されるため、ユーザは変換前の素子のデータをルールに従って入力すればよく、リアクトル以外の回路素子においても同様に変換される。上で述べたように、どのような素子（線路）の端子の任意の時刻における電圧、電流も、過去の時点における電圧・電流であらわされる。各種素子により接続された各ノードについてノード方程式を立て、計算ステップ毎に解いていけば、任意の電力系統の過渡現象が、サージの反射率、透過率の概念なしに計算できる。それは、ちょうど、電光ニュースにおいて個々の電球は単に点滅をくり返しているにもかかわらず、全体を見ると、光の文字が移動して見えるのと同じである。EMTPにおけるこのような計算方法は、Dommel法という。EMTPはこの方法を使っているため、回路素子の種類・接続の方法・規模・系統構成・精度・計算速度などについて適応性に優れ、避雷器のような非線形抵抗も扱えるなど、プログラムとして実用性に優れている。

2. EMTPの適用範囲

次のような過渡現象解析に適用できる。

- (1)雷サージ解析、(2)開閉サージ解析、(3)開閉過渡過電圧解析、(4)機器単体の過渡現象解析、(5)制御回路の模擬解析、(6)交直連系系統解析、(7)軸ねじれ振動（SSR）、自己励磁現象解析
- また、次に示す素子の組み合わせからなる一般の電気回路をはじめ、等価的に電気回路で表現されるものであればすべて計算対象となる。

- (1)集中定数素子、(2)集中定数多相 π 形回路、(3)多相分布定数線路、(4)非線形抵抗、(5)非線形リアクトル、(6)時変抵抗、(7)スイッチ素子、(8)整流素子、(9)各種変圧器、(10)各種電源、(11)各種回転機、(12)制御回路。

3. EMTP使用の特徴・効果

- (1)EMTP解析は、デジタルシミュレーションであるため、従来から行なわれているアナログシミュレーションのように、特別な設備を使用する必要がなく、任意の電力系統の解析が可能である。
- (2)解析条件を様々に変化させたキメの細かな解析を迅速かつ高精度に行なうことができ、電力機器類の絶縁協調や系統運用の合理化をはかるうえで役立つ。

なお、EMTPによる計算業務を外部に依頼しないで社内で行えば、当社電力設備で発生する雷害のような、サージに起因する故障の原因究明の所要時間短縮と経費の節減をはかることができる。

(電気第一研究室)