

配電線ヒーターのサージ波形の解析について

中 沢 力*

On the Analysis of Surge Wave Forms on Distribution Feeders

Tsutomu NAKAZAWA

ABSTRACT

Recently a new surge recording system was reported in the USA with a few results of its field experiments on real distribution feeders. The system consists of techniques of digitizing wave form at varying sampling rates, storing pre-occurrence and post-occurrence data in semiconductor memories triggered by current surge and/or cold-load-pickup events, and subsequently transferring the memory to a magnetic tape cassette. Surge wave forms may be reconstructed later with digital-to-analog converter. These techniques provide a new method to monitor distribution feeder voltage and current surges in greater detail than ever before, endowing utilities with chances to reduce investment and operating costs by improving the standards of system design. In regard to this newly developing technique a few problems and significant roles of the transfer functions and the convolution integrals are discussed.

1. ま え が き

最近エレクトロニクスの進歩はますます各分野において技術革新をおし進めている。計測技術の分野においても急速な発展をもたらすとともに、その経済的効果がエレクトロニクス技術の発展に比例して顕著にあらわれている。アメリカの一例をあげると新しいトランジエント記録計又はサージ記録計と称している、は現代の統計学的技術と組合わされて、アメリカの公共事業者の配電部門に計画的に大量に導入されてサージの詳細な研究をおし進めている。将来、故障時のサージ解明が巨大な配電網の改善に役立つことは明らかであろう。それと共に従来取残されていた多くの問題点を解明し、しいては

配電線設計の基準作成に発展するであろう。⁽¹⁾

2. サージ波形チャート

後述の参考文献⁽²⁾に記述されているように配電系統故障電流の大きさ、直流分オフセット、高い周波数成分——フィーダーの線路定数をパラメータとする——の発生、もう一つ重要な研究対象は所謂コールド・ロード・ピックアップ電流の統計的記録と線路定数の関係である。これらの調査がアメリカで計画的に実施されていることが誌されている。同雑誌に発表されているサージ波形のチャートが図1、図2に示されている。

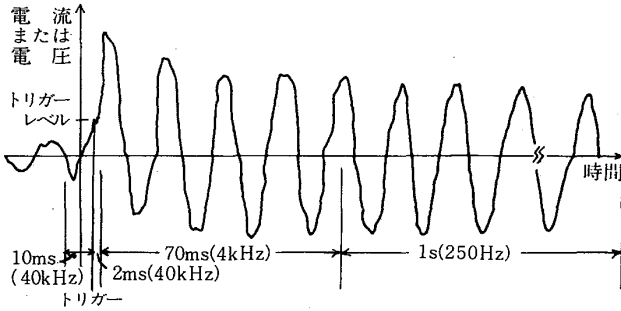


図1

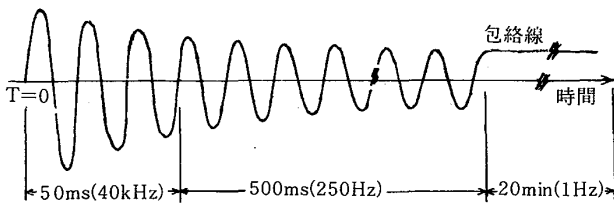


図2

図1は過渡時の初期とトリガーの働く以前を含めて、サンプリングのレートは40kHz、次いで4つの基本的な波動部分は4kHzのレートで解析したものである。

図のカッコ内はサンプリング・レートを周波数で示している。図2はコールド・ロード・ピックアップの記録グラフで同じくサンプリング・レートは40kHzから1kHzである。

サンプリング・レートは最初の試験結果が良い結果がえられない場合は、次の試験結果が良い結果がえられるように改善調整する、それ故に例えば図1の結果のように三つの異なるサンプリング・レートを採用している。

この研究はアメリカの公共事業者の50のヒーターを対象として行われ、電圧は4kVから34.5kVで最も普通の電圧は15kVである。ヒーターには架空線路と地中ケーブルが含まれている。人工故障、その他の大規模な実験を積重ねて、データを蒐集して解析を行う計画であると誌されている。後日結果の発表が期待される。

この実験結果のチャートが示されている。なお、一方わが国における配電網に関するこの種の研究については最近の文献⁽³⁾に詳細に記されている。これによってわが国の配電網の現状と問題点を知ることが出来る。

次に第3節に具体的な研究について述べる。

3. 解 析

3-1 波形の作成

時間関数 $f(t)$ という波形は、単位インパルス $\delta(t)$ の列で近似されるという考えから、 $\delta(t)$ の回路応答を $\delta r(t)$ と書くと、これはインパルス応答である。一般にこれは $h(t)$ なる記号で表示されている。 $f(t)$ という波形を入力とすると、これを単位インパルス $\delta(t)$ の列を作って $f(t)$ を近似することは容易である。積分法の基本技法に類似の方法によればよい。一方 $\delta(t)$ の回路網の応答については多くの公式表が準備され、また発表されているので、これを応用できる。

図3から1個のパルス Δx が零に近づけばインパルスと考えることが出来るから、図4のようにインパルス列で関数 $f(t)$ を横擬できる。図3で $t=x$ に1個のセグメントをとると、

$$f(t) = A\delta(t - x)$$

面積 A で $t = x - \Delta x / 2$

でスタートして

$$t' = x + \Delta x / 2$$

中央の点を x とすると

$$(x - \Delta x / 2) < t < (x + \Delta x / 2)$$

次に回路の応答はこれを $r(t)$ とすると

$$r(t) = Ar\delta(t - x)$$

であらわされる。

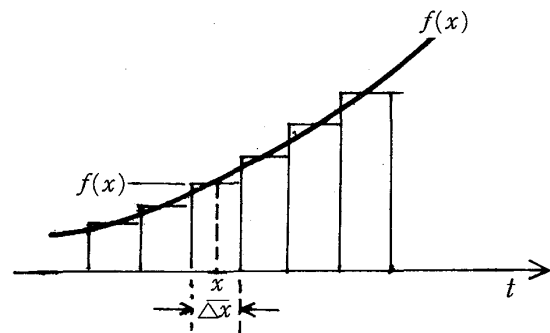


図3

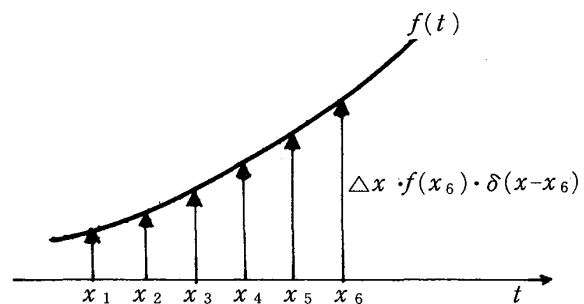


図4

γ_δ は δ 関数の応答である。

なお
$$\delta(t) = \frac{du(t)}{dt}$$

であって、 $u(t)$ は回路としては単位起電力を回路に投入した状態に相当する。

$$u(t) = 0 \quad t \leq 0$$

$$u(t) = 1 \quad t > 0$$

である。

$(t-x)$ は偏角で x の変化に従って時間軸上にパルス列が移動してゆくため、 $(t-x)$ は応答の時間経過を示している。

フーリエ変換、ラプラス変換で単位パルスの変換は $u(t)$ は 1 である。更に幅を無限に小さくした場合はインパルス $\delta(t)$ として取扱われる。

$\delta(t)$ の列によって波形を作成すると、

$$f(t) = [\dots f(x_1) \delta(t-x_1) + f(x_2) \delta(t-x_2) + \dots + f(x_n) \delta(t-x_n) + \dots] \Delta x$$

ただし $x_{n+1} - x_n = \Delta x$

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(x_k) \delta(t-x_k) \Delta x$$

ただし、 k は順次に整数の総てをとる、

$\Delta x \rightarrow 0$ の極限では

$$f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \delta(t-x) dx$$

である。

$f_1(t)$ と $f_2(t)$ の 2 つの関数の下記のような積分がコンボリューション積分であり、

$$\int_{-\infty}^{\infty} f_1(x) f_2(t-x) dx = f_1(t) * f_2(t)$$

普通の簡単な表現として、*印をつけて示している。

なお
$$\gamma(t) = f(t) * \gamma_\delta(t) = \gamma_\delta(t) * f(t)$$

$$\gamma(t) = \int_{-\infty}^{\infty} f'(x) \gamma_u(t-x) dx$$

$$= f'(x) * \gamma_u(t)$$

ただし、 $\gamma_u(t)$ はステップ応答である。

計算を実行するには時間 x の関数を $f_1(x)$ としてプロットする。時間 t を選んで $f_2(t-x)$ をプロットすると $f_2(t-x)$ は $f_2(t)$ の映像のようにみえる、このことは図 5 のように示される⁽⁴⁾。図 5(c) は $f_2(t-x)$ を x に対して $t=0$ という特

別な値についてプロットしたものである。それと共に $f_1(x)$ も点線のようにプロットしたものである。コンボリューション積分 $f(t)$ を求める式

$$f(t) = \int_0^t f_1(t) f_2(t-x) dx$$

で $t=0$ のときの値を求めるには関数 $f_1(x)$ と、 $f_1(0-x)$ を図 5(c) のように掛け合せて積曲線をうる。図 5(D) の曲線の下面積は $f(0)$ に等しい。 $f(t)$ をある値 t に対する $f(t)$ の値を求めるには、先ず $f_2(t-x)$ をプロットする、それは図 5(C) の実線のようにみえる。以下同様に $f(t)$ の作図を行なう。

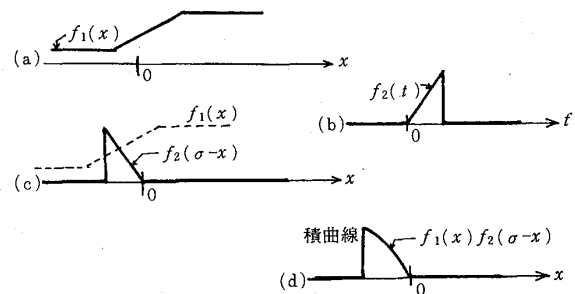


図 5

3-2 系の伝達関数 T(s)

$T(s) = r/f$ で表し、 r は応答関数又は出力関数であり、 f は強制関数又は入力関数である。関数が電圧の場合は電圧伝達関数であり、電流の場合は電流伝達関数である。

3-3 系のサージ波形

周期関数はフーリエ級数に展開される、一般に周期波は基本波成分、直流成分、高調波成分を重ねたもので表はされる。しかしサージ波形の初期は非周期関数として扱うのが適当であり、雷波形も多くは非周期形であり単一波形として扱われている。これらは周期 T は無限大としてフーリエ変換、或はラプラス変換によって周波数領域での操作が行われる。したがって無限数を有する周波数スペクトルに分解される。サージ波形については配電系統の抵抗 R 、インダクタンス L 、キャパタンス C の回路要素の構成が関係する。又は伝達関数が関係するとも云える。配電線ヒューズはその抵抗分の多いこと、キャパタンスの小さいこと、そして過渡時の解析において C と L が重要な因子であろう。

また配電システムのヒューズは互長の比較的短いことと負荷がヒューズに沿って分布されていることである。分布定数回路の考え方は配電線ヒューズにおいては不適當であり、集中定数回路の考え方が適當であろう。さらに系の伝達インピーダンス、或は伝達アドミタンス等を用いて解析してゆくことが適當であろう。何れにしても伝達関数を求めて比較する方法が便利であろう。配電系統では小型変圧器のリアクタンスの影響、特に軽負荷時のリアクタンスの動作に注目する必要がある。また鉄心のインダクタンス、故障時のアーク抵抗のような可変定数、負荷回転機の運動エネルギーの形として保有されている機械的エネルギーと電氣的エネルギーとの変換が起りうる。さらには変圧器の起動時のインダクタンスが鉄心を含む場合は鉄の磁気飽和のため電流の急激な増加が起りうる。

3-4 入力関数

すなわち電源を表わす関数は指数関数が便利である。

e^{st} を用い、例えば電圧を表わす場合は $v = V_0 e^{st}$ である。単位関数で考えると応答関数は $T(s)e^{st}$ である。 $T(s)$ は伝達関数である。交流の場合は $s = j\omega$ とおく。

この形はラプラス変換積分と同じものである。ラプラス積分はインパルス応答を伝達関数に係づけるものとして導かれる⁽⁴⁾。またラプラス変換表は波形を作成するのに便利である。

4. むすび

まえがき、およびサージ波形チャートは文献(1)に記載されている通りであって、これらは新しいレコーダーの急速な技術的進歩が把握した成果であろう、そのサージ波形は発生した配電系統の電氣的要素の特性を示すもので、一方系の入力には商用周波数の交流電源であって、一定周波数の電圧あるいは電流である。その表示は指数関数が便利である。任意波形 $f(t)$ はインパルス列で表示できる。インパルスの回路応答を $\delta r(t)$ と書くと $\delta r(t)$ は既に知られている回路では簡単な数式で表わされるから、出力がこれから求まる。逆に出力曲線が知られると、系のサージ波形に対する伝達関数が求まることとなり系の電氣的要素の構成が知られるであろう。

〔参考文献〕

- (1) Electrical World, June 1, 1980, Vol. 193, Number 11, PP. 53 ~ 54
- (2) Electrical World, June 1, 1980, Vol. 193, Number 11, PP. 53 ~ 54
- (3) 電気学会雑誌 昭和56年9月101巻
- (4) L. A. Manning : electrical circuit, (1966), PP. 384 ~ 396 および PP. 401 ~ 403