柱上変圧器を介して配電線から需要家引き込み口に 侵入する雷サージ過電圧の計算

正員 野田 琢 (電中研)   正員 坂江摩己 (電中研)
正員 横山 茂 (電中研)

Simulation of Lightning-Surge Overvoltages Propagating from Distribution Line
to Consumer Entrance via Pole-mounted Transformer

Taku Noda, Member, Maki Sakae, Member, and Shigeru Yokoyama, Member (CRIEPI)

Recently, it has become more necessary to consult lightning overvoltages at the consumer side. One cause of the consumer-side overvoltages is due to transferred lightning surges from a distribution line via a pole-mounted distribution transformer. This paper presents a simulation methodology of the transferred lightning surges. Transient calculations were performed by the EMTP and compared with laboratory-test results.

キーワード：雷サージ，配電線，需要家引き込み口，変圧器，EMTP

1 緒言

最近では，需要家側に発生する雷過電圧を問題にすることが多い⁽¹⁾。需要家側雷過電圧の一因としては配電線から柱上変圧器を介して侵入する移行サージがある(図1)が，その計算手法についての検討は少ない。本稿では，柱上変圧器については筆者らが提案したモデル⁽²⁾で模擬し，配電線や需要家引き込み線については一定定数分布定数線路モデルで模擬することで，EMTPを用いた計算結果が実測結果と良く一致することを示す。

2 屋内実験の概要

図2に屋内実験図を示す。この実験は，電力中央研究所の高圧実験ホール内で行われたため，スペースに制限があり，柱上変圧器の片側にのみ配電線を設置した。配電線は架空地線なしの3相1回線とし，それぞれの相導体にはビ

図1 柱上変圧器を介して侵入する移行サージ

Fig. 1 Transferred surges via pole-mounted transformer

ニール被覆付きの ACSR 25 を用いた。配電線の長さは 17.6m で，その詳細な寸法は図2に記した通りである。変圧器端において，配電線の b 相を変圧器 1 次側 + 端子に，c 相を 1 次側 - 端子に接続し，a 相は開放端とした。柱上変

図2 屋内実験図 / Fig.2 Laboratory-test Setup

圧器の容量は 10 kVA で、2 次側 0 端子は外装端子に接続し、さらに、垂直に張られた 5 m の DV 線(接地線)により接地した。需要家引き込み線には 11 m の DV 線 3 本を用い、高さ 5 m の柱上変圧器から大地面まで大地に対して傾斜させて張った。これらの DV 線は、直径 2.6 mm でビニール被覆を有する。配電線の始端には、図 3 に示す 3 相サージインピーダンス整合回路付きのパルス発生器(PG)を接続して、急峻波サージを印加した。なお、整合回路の抵抗値は、整合回路のインピーダンス行列が配電線のサージインピーダンス行列に等しくなるように選んだ。これにより、始端での進行波の反射を無視することができる。以上の条件で、配電線の b 相に急峻波を印加したときの印加電圧波形と需要家引き込み口に発生する過電圧波形を測定した。

3 EMTP による計算

〈3.1〉 柱上変圧器モデル 柱上変圧器のモデルには、筆者らが提案しているモデル⁽²⁾を用いた。このモデルでは、変圧器の基本等価回路に、巻線-外装間・1 次側-2 次側巻線間容量、巻線・鉄心の表皮効果、巻線インダクタンスと巻線ターン間容量の多重共振を表現する回路要素を付加しており、商用周波数から数 MHz にわたる周波数特性を精度良く模擬できる。なお、今回の実験では、文献(2)中のモデル化で用いた変圧器と同一の変圧器を用いたので、モデル定数については文献(2)を参照されたい。

〈3.2〉 配電線、引き込み線、接地線のモデル化 配電線のモデル化には EMTP の一定定数分布定数線路モデルを用いた。線路定数は EMTP の LINE CONSTANTS を用いて 100 kHz における値を計算して用いた。実験を行った高圧実験ホール内は大地面が銅板で覆われているので、線路の周波数依存性を無視でき、一定定数モデルを用いることができる。しかし、実際の配電線をモデル化する場合には、J. Marti モデル等の周波数依存性を考慮できる線路モデルを用いる必要があるものと考えられる。需要家引き込み線についても、同様に一定定数モデルを用いた。ただし、引き込み線は大地に対して傾斜しているため、線路の高さを平均高(=2.5 m)で代表して、大地に対して水平な導体と仮定して線路定数を計算した。接地線については、その長さが短いため、次式の値を有するインダクタンス素子でモデル化した。

$$L = \mu_0 l / (2\pi) \{ \ln(2l/r) - 1 \} \quad (1)$$

図3 3相整合回路付きのパルス発生器(PG)

Fig. 3 PG with three phase impedance matching resistors

この式は、半径 r で長さ l の円筒状の導体が自由空間中に置かれた場合のインダクタンスを与える式である。

〈3.3〉 パルス発生器のモデル化 非常に急峻な現象を精度良く模擬するには、印加回路の内部を正確に模擬する必要がある。本計算では図 4 に示すように PG の内部回路を模擬した。なお、過渡現象計算は、充電用コンデンサにあらかじめ 15.6 V を初期値として与えておき、水銀リレーを模擬した理想スイッチを閉じることにより開始させた。計算には DCG EMTP V 3.1 を用いた。

4 測定結果と計算結果の比較および結言

図 5 に測定結果と計算結果を示す。多少の差異はあるものの良く一致しており、本論文で示した手法により、柱上変圧器を介して配電線から需要家引き込み口に侵入する雷サージ過電圧の計算が可能であることが示された。今後は、大地に対して傾斜している需要家引き込み線の厳密な取り扱いについて検討し、さらに計算精度を向上させたい。

(平成 12 年 05 月 17 日受付)

文献

- (1) 「雷と高度情報化社会」, 電気設備学会, 1999.
- (2) 野田, 中本, 横山, 「過渡現象解析のための配電用柱上変圧器モデル」, 電学論 B, 平成 12 年 8 月掲載予定.
- (3) CIGRE - WG 33.02, CIGRE Technical Brochure # 39, 1990.

図4 PGの内部回路 / Fig. 4 Internal circuit of PG

図5 測定および計算結果

Fig. 5 Measured and calculated results