

塩害碍子による配電線路事故の早期診断

An early Diagnosis of Line Faults Caused by Pin Type Insulators Covered with Impurities consist of Dirt and Salt.

滝 沢 馨 (Kaoru Takigawa)

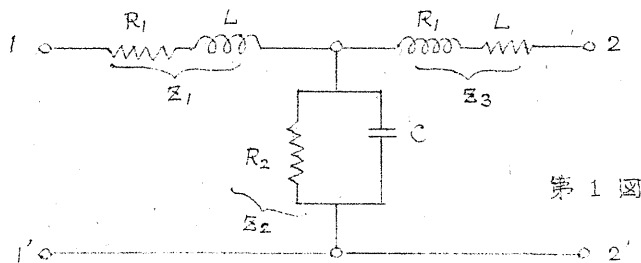
ABSTRACT— At present it is hard to diagnose early line faults caused by pin type insulators covered with impurities consisting of dirt and salt. If we could establish some methods to do this before terrible faults occur, we shall be able to avoid interrupting of current supply lasting several hours. My suggestion for it is that, applying impulse to the circuit and catch the surge caused by an insulator surface discharge, Comparing the wave forms between two cases of discharge and no discharge, we can tell the condition showing that the insulators are going to break down soon.

1. 緒言. 海岸線の長い日本では、碍子の塩害がしばしば問題となる。僻漁村に電灯を供給する配電線路の巨長が 10 Km 以上もあつて、その経過地の大部分が真在する漁家に電灯をつけながら波打際に近い村道を通るのは稀らしいことではない。かかる配電線路碍子には、強い風に運ばれた海のしぶき、道路の塵埃などが附着し、やがて水分が蒸発すれば、表面の汚損された塩害碍子ができ上るのである。配電々庄の程度では、空気の乾燥した晴天時、この碍子でも絶縁耐力を保持できるけれど、一旦濃霧が発生したり空気中の湿度が増して、これがしばらく続くようになれば、適度の湿度を吸った碍子の表面が導電層を形成し、微少な漏洩電流から始めて遂には絶縁破壊へと進展する。かくて送電は不能となり長時間を費して線路工手が巡回査検の結果は堅木の腕木がピンの附根のあたりから黒く焦げ、電柱も切込みの所に漏洩電流の黒い痕跡をもった塩害碍子の事故と判明するのである。ところでこの種事故の対策としては、せいぜいメガーによる回路の絶縁抵抗の測定位のものであつて、根本的なものは未だ確立されていない。しかもこの方面については調査も研究も充分でなく、むしろ顧み

られていないのではないかと感はれるのである。一般に配電線路は送電線路に較べて重要でないから、配電線路の故障対策について関心の強いことも一応は肯定される。しかし配電線路特に僻山村にある三相又は単相一回線の場合では、保守も充分でないのが普通でこの一回線だけが電力供給の動脈であるのに事故が発生して、その都度長時間の停電を余儀なくされては、この対策の確立こそ焦眉の急と云はなければならぬ。茲に筆者は比較的幅の大きい矩形衝激波を用いた塩害故障の早期診断を提案したい。予め塩害の程度を知るには汚損の最も甚だしい端子を取上げて、それに附着した塩分を定量するやうな化学的方法も考へられるが現場には不向きである。それよりも取扱いが簡便で手早く状態を調べられる物理的方法が望ましい。筆者提案の方法によれば以下に述べる通り原理も装置も比較的簡単であるから現場にも向くのではないかと考へられる。

2. 早期診断の原理。配電線路の送電端に波形の簡単な矩形衝激波を加へてこれを受電端又は送電端で観測すればその波形は回路定数から定まつた。一般には原矩形と異つた形をとるのである。しかし回路定数が変化しない限りこの波形は一定である。今塩害のために端子の絶縁が低下して極微弱でも火花放電が起るならばこれは回路定数の突然な変化を意味するのであるから直ちに波形の変化となつて観測真に現はれる。従つて回路の絶縁が充分で塩害のない時の波形と塩害放電を生じた場合の波形とを比較すれば直ちに塩害端子による回路故障の早期診断がつく筈である。この場合波形観測に必要な程度の短時間衝激波では、回路を大事故に導く恐れもないから試験用には極めて好都合と云へよう。

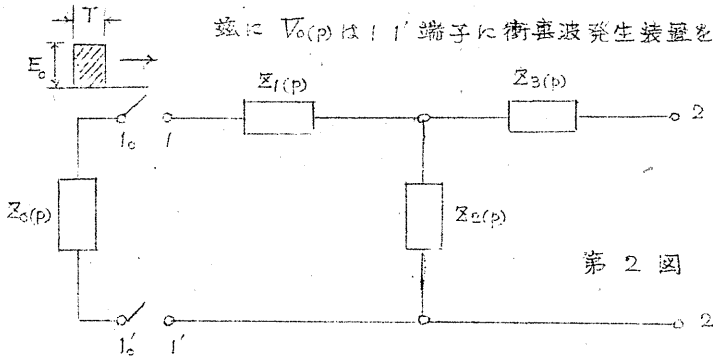
3. 観測真に現れる電圧波形の理論的算定。送配電線路はT又は π 回路として等価的に表はすことができる。これを用いて行つた実験の結果はそのまゝ実際の送配電線路にあてはまるものではないが近似線は実験には便利である。そこで今考へている配電線路をT回路で表はせば才1回の通りとなる。この回路の1'1'端に矩形衝激波を加へたとき送電端で観測される電



第1図

圧の p 函数を求めると重畳の理によって

$$V(p) = \Sigma(p) \frac{V_0(p)}{Z_0(p) + \Sigma(p)} \quad \text{--- (1)}$$



第 2 図

茲に $V_0(p)$ は 1' 端子に衝撃波発生装置を連結する以前

にその装置の端子に現はれる電圧で、矩形衝撃波の p 函数

$Z_0(p)$ は 1, 1' から見た衝撃波発生装置のインピーダンス函数

$\Sigma(p)$ は 1, 1' 点から見た配電線回路のインピーダンス函数

もし $Z_0(p)$ が抵抗で表はれるやうな簡単な装置を用ゐるならば

$$Z_0(p) = R_0$$

$$\Sigma(p) = Z_1(p) + Z_2(p) = (pL + R_1) + \frac{R_2}{1 + pCR_2} = \frac{p^2LCR_2 + p(L + CR_1R_2) + (R_1 + R_2)}{1 + pCR_2} \quad \text{--- (2)}$$

$$\Sigma(p) + Z_0(p) = \frac{p^2LCR_2 + p(L + CR_1R_2 + CR_0R_2) + (R_1 + R_2 + R_0)}{1 + pCR_2}$$

(2) を (1) に代入すれば

$$V(p) = V_0(p) \frac{p^2LCR_2 + p(L + CR_1R_2) + (R_1 + R_2)}{1 + pCR_2} \times \frac{1 + pCR_2}{p^2LCR_2 + p(L + CR_1R_2 + CR_0R_2) + (R_1 + R_2 + R_0)}$$

$$= V_0(p) \frac{p^2LCR_2 + p(L + CR_1R_2) + (R_1 + R_2)}{p^2LCR_2 + p(L + CR_1R_2 + CR_0R_2) + (R_1 + R_2 + R_0)} \quad \text{--- (3)}$$

この電圧の p 函数を時間の函数に変換すれば、ヘビサイドの展開定理により

$$V_1(t) = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_0} E_0 + \frac{\{\alpha_1^2 LCR_2 + \alpha_1(L + CR_1R_2) + (R_1 + R_2)\}}{\alpha_1 \{2\alpha_1 LCR_2 + (L + CR_1R_2 + CR_0R_2)\}} E^{\alpha_1 t} E_0$$

$$+ \frac{\{\alpha_2^2 LCR_2 + \alpha_2(L + CR_1R_2) + (R_1 + R_2)\}}{\alpha_2 \{2\alpha_2 LCR_2 + (L + CR_1R_2 + CR_0R_2)\}} E^{\alpha_2 t} E_0 - \left[\frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_0} E_0 \right.$$

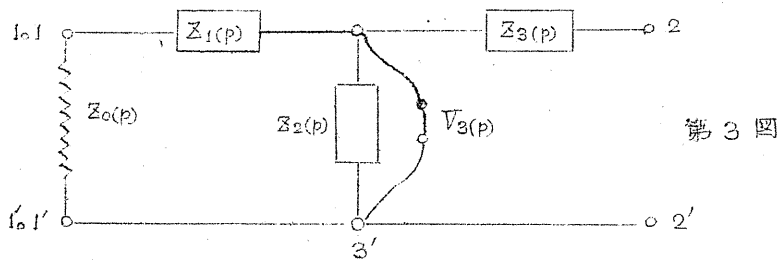
$$+ \frac{\{\alpha_1^2 LCR_2 + \alpha_1(L + CR_1R_2) + (R_1 + R_2)\}}{\alpha_1 \{2\alpha_1 LCR_2 + (L + CR_1R_2 + CR_0R_2)\}} E^{\alpha_1(t-T)} E_0$$

$$+ \left. \frac{\{\alpha_2^2 LCR_2 + \alpha_2(L + CR_1R_2) + (R_1 + R_2)\}}{\alpha_2 \{2\alpha_2 LCR_2 + (L + CR_1R_2 + CR_0R_2)\}} E^{\alpha_2(t-T)} E_0 \right] \quad \text{--- (4)}$$

但し $0 < t < T$ に於いては [] を省略すればよろしく, $T < t$ に於いては (4) 式そのまゝ用いてよろしい。なお $\alpha_1 \alpha_2$ は $p^2 L C R_2 + p(L + C R_1 R_2 + C R_0 R_2) + (R_1 + R_2 + R_0) = 0$ の二根であつて

$$\alpha_1, \alpha_2 = \frac{-(L + C R_1 R_2 + C R_0 R_2) \pm \sqrt{(L + C R_1 R_2 + C R_0 R_2)^2 - 4 L C R_2 (R_1 + R_2 + R_0)}}{2 L C R_2}$$

矩形波を加へてから T' 秒後に ($0 < T' < T$) 塩害碍子が突然放電を起したものとす。これは R_2 なる抵抗の両端子が急に短絡されたことにおなじであるから、そのために $10, 10'$ 間に現はれる電圧は次のようにして算出される。



まづ 塩害碍子が放電を起す直前の $3, 3'$ 間電圧は

$$V_2(p) = \frac{V_0(p)}{Z_0(p) + Z(p)} Z_2(p) \quad \dots \dots \dots (5)$$

ところで $Z_0(p) = R_0$

$$Z_0(p) + Z(p) = \frac{p^2 L C R_2 + p(L + C R_1 R_2 + C R_0 R_2) + (R_1 + R_2 + R_0)}{1 + p C R_2}$$

$$Z_2(p) = \frac{R_2}{1 + p C R_2} \quad \text{これを(5)式に代入して}$$

$$V_3(p) = \frac{R_2 E_0}{p^2 L C R_2 + p(L + C R_1 R_2 + C R_0 R_2) + (R_1 + R_2 + R_0)}$$

時間の函数に変換すれば

$$V_3(t) = \frac{R_2 E_0}{R_1 + R_2 + R_0} + \frac{R_2 E_0 E^{\alpha_1 t}}{\alpha_1 \{ 2 \alpha_1 L C R_2 + (L + C R_1 R_2 + C R_0 R_2) \}} + \frac{R_2 E_0 E^{\alpha_2 t}}{\alpha_2 \{ 2 \alpha_2 L C R_2 + (L + C R_1 R_2 + C R_0 R_2) \}} \quad \dots \dots \dots (6)$$

上式を簡単に表はすために

$$\left. \begin{aligned} \frac{R_2}{R_1 + R_2 + R_0} &= R, & \frac{R_2}{\alpha_1 \{ 2 \alpha_1 L C R_2 + (L + C R_1 R_2 + C R_0 R_2) \}} &= K_1 \\ & & \frac{R_2}{\alpha_2 \{ 2 \alpha_2 L C R_2 + (L + C R_1 R_2 + C R_0 R_2) \}} &= K_2 \end{aligned} \right\} \text{とおけば}$$

$$V_3(t) = R E_0 + K_1 E_0 E^{\alpha_1 t} + K_2 E_0 E^{\alpha_2 t}$$

この電圧が突然短絡されたまらば $10, 10'$ 間に現はれる電圧は

$$V_{1(p)}' = \frac{V_3(t)}{Z_{1(p)} + Z_{2(p)}} R_0 = \frac{RE_0 + K_1 E_0 \varepsilon^{\alpha_1 t} + K_2 E_0 \varepsilon^{\alpha_2 t}}{(pL + R_1 + R_0)} \cdot R_0$$

これを時間の函数に変換すれば

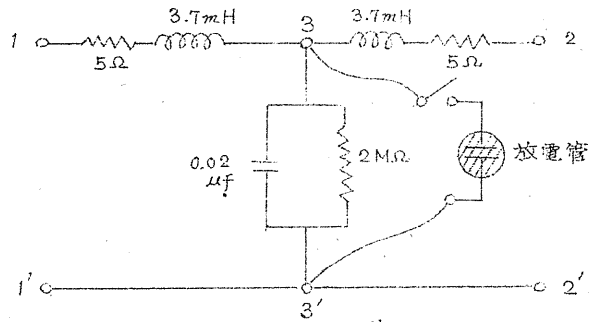
$$V_1'(t) = \frac{R_0 E_0}{L} \left[R \frac{1}{\alpha_3} \left\{ 1 - \varepsilon^{-\alpha_3(t-T')} \right\} + K_1 \varepsilon^{\alpha_1 t} \frac{1}{(\alpha_1 + \alpha_3)} \left\{ 1 - \varepsilon^{-(\alpha_1 + \alpha_3)(t-T')} \right\} + K_2 \varepsilon^{\alpha_2 t} \frac{1}{(\alpha_2 + \alpha_3)} \left\{ 1 - \varepsilon^{-(\alpha_2 + \alpha_3)(t-T')} \right\} \right] \quad (7)$$

但し $\alpha_3 = \frac{R_0 + R_1}{L}$ 従つて塩害導子放電前の波形に比較するべき放電後の電圧波形は $1_0 \sim 1_0'$ 間に $0 < t < T$ に於いて次の一般式で表はされる。

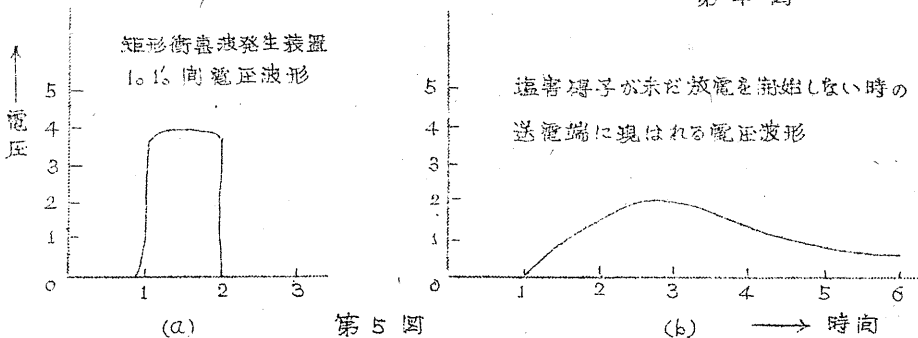
$$V_2(t) = \frac{R_1 + R_2}{R_1 + R_2 + R_0} E_0 + \frac{\left\{ \alpha_1^2 LCR_2 + \alpha_1(L + CR_1R_2) + (R_1 + R_2) \right\}}{\alpha_1 \left\{ 2\alpha_1 LCR_2 + (L + CR_1R_2 + CR_0R_2) \right\}} \varepsilon^{\alpha_1 t} E_0 + \frac{\left\{ \alpha_2^2 LCR_2 + \alpha_2(L + CR_1R_2) + (R_1 + R_2) \right\}}{\alpha_2 \left\{ 2\alpha_2 LCR_2 + (L + CR_1R_2 + CR_0R_2) \right\}} \varepsilon^{\alpha_2 t} E_0 + \frac{R_0 E_0}{L} \left[R \frac{1}{\alpha_3} \left\{ 1 - \varepsilon^{-\alpha_3(t-T')} \right\} + K_1 \varepsilon^{\alpha_1 t} \frac{1}{(\alpha_1 + \alpha_3)} \left\{ 1 - \varepsilon^{-(\alpha_1 + \alpha_3)(t-T')} \right\} + K_2 \varepsilon^{\alpha_2 t} \frac{1}{(\alpha_2 + \alpha_3)} \left\{ 1 - \varepsilon^{-(\alpha_2 + \alpha_3)(t-T')} \right\} \right] \quad (8)$$

4. 実験結果。 実験室であり合せの L, R_1, C, R_2 を組合せて才4圖の如き線路定数の実験用配電線路を作り、これに放電管を用いて3'3'端で人工的放電を起さしめ、よつて1'1'間に発生する電圧波形をブラウン管上に描出せしめた。

この疑似線は塩害のために絶縁の低下した路長5km程度の実配電線路に匹敵する。才5圖に示す通り電圧波形は微小放電の有無を明確に指示している。



第4圖



第5圖

5. 結言. 本法はまだ実験の範囲を出ないもので、これが実用に供されるまでには或る若干の研究調査が必要であると思う。例えば塩害碍子の微弱放電は、一種の人工強制故障であるから衝撃波などはどの程度のものが適當であるかという点、複雑な配電線路では多数の変圧器、分岐線などを含むから波形が複雑ではないかと云う点その他若干の未解決事項もあるであるが、従来のメガーによる絶縁抵抗測定法、線路工手が巡回して「感と経験」によって故障を発見する原始的巡回法等に比較すれば、かなり科学的立場から塩害の判断ができるのではないかと思う。

附記 この研究に當って矩形波発生装置の設計製作は富永広一氏が担当し疑似配電線路の工作には齊藤利彦氏を煩はした。茲に附記して感謝の意を表したい。

