

超高圧送電線の電圧分布に関する一考察

有 賀 浩*

A Consideration on the Voltage Distribution of Super-high Tension Transmission Lines

By Hiroshi Ariga
Taga Works, Hitachi, Ltd.,

Abstract

At the time of no load charging of long transmission lines, receiving end voltage may considerably rise than that of sending end by Ferranti-effect.

As a remedy for it, suitable shunt reactor will be inserted to the tertiary circuit of receiving end transformer, then, voltage-rise may be lowered somewhat.

Here, it is important to investigate the insulation and corona discharge due to voltage-rise.

It is, therefore, not always necessary to find precisely the voltage at every point along the line, but also it is more important to find the maximum voltage and its point on the line.

In this thesis, the author explains this problem shortly with some example.

[I] 緒 言

一般に単一送電系統に於て受電端に遅れ力率の負荷をかける場合には、送電端より受電端に向つて線路の電圧は次第に低くなるから絶縁を脅かされるおそれはない。しかし受電端を開放したまゝ、線路に充電電流を通ずる様な場合には、所謂フェランティ効果により受電端電圧は送電端電圧に比し著しく上昇することがある。

その防止策の一として受電端変圧器の三次側に適当な分路リアクトルを挿入する方法があり、これによりこの現象は或る程度緩和される。

なおこの様な場合に問題になるのは主として電圧上昇

に伴う絶縁並びにコロナ放電の點であり、従つて之等を調査するために線路途中の各地點に於ける電圧分布を詳細に知ることは必ずしも必要とせず、寧ろ線路途中に於ける最高電圧値並びにその發生地點を求めることの方が手取り速く、且つ之れを求め得れば與えられた送受兩端の電圧と共に自ら電圧分布の大體の傾向をも察知し得て手數も省ける譯であり、一舉兩得と考える。

以下その理論を簡単に述べ、併せて實例につき説明する。

[II] 理 論

一般に送電線の受電端より x km 距てた地點に於ける線路の電圧 E_x は次の(1)式で表わされる。

* 日立製作所多賀工場

$$\dot{E}_x = \dot{E}_R \cosh \theta x + \dot{I}_R \dot{Z}_0 \sinh \theta x \dots\dots(1)$$

但し

\dot{E}_R : 受電端電壓

\dot{I}_R : // 電流

$\theta = \sqrt{\dot{z} \dot{y}}$ = 傳播定數

$\dot{Z}_0 = \sqrt{\frac{\dot{z}}{\dot{y}}}$ = 波動インピーダンス

\dot{z} : 送電線のインピーダンス (km 當り)

\dot{y} : // アドミッタンス (//)

依つて \dot{E}_x を極大ならしめるためには

$$\frac{d\dot{E}_x}{dx} = \dot{E}_R \theta \sinh \theta x + \dot{I}_R \dot{Z}_0 \theta \cosh \theta x = 0$$

$$\therefore \dot{E}_R \sinh \theta x + \dot{I}_R \dot{Z}_0 \cosh \theta x = 0$$

$$\therefore \dot{E}_R \frac{\sinh \theta x}{\cosh \theta x} = -\dot{I}_R \dot{Z}_0$$

$$\therefore \tanh \theta x = -\frac{\dot{I}_R \dot{Z}_0}{\dot{E}_R} \dots\dots\dots(2)$$

然るに一般に

$$\begin{aligned} \tanh^{-1}(\alpha \pm j\beta) &= \frac{1}{2} \log_e \sqrt{\frac{(1+\alpha)^2 + \beta^2}{(1-\alpha)^2 + \beta^2}} \\ &+ j \frac{180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{\alpha+1}{\pm\beta}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{\alpha-1}{\pm\beta}\right)}{2} \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

依つて $\dot{E}_R, \dot{I}_R, \dot{Z}_0, \theta$ が求められれば (2), (3) 兩式により x 即ち最高電壓發生地點の受電端よりの距離が求められ、従つて (1) 式により最高電壓の値も求められる譯である。但し純數學的に云えば更に極大極小の別を判定すべきであるが、この場合にはその物理的意義より考へて、極小値の存在は考慮の餘地がないから以上の説明で差支えない。

[III] 實 例

以上の提案を更に具體的に説明するために以前計畫された日本發送電會社 220 kV 西日本幹線の設計資料を參考にして述べる。

(1) 前提條件

1. 送電線

伊丹 (送電端) 西谷 (受電端) 間一回線とし線路互長を 500 km とする。

2. 線路定數

$$\begin{cases} R = 0.089 \Omega/\text{km} \\ L = 13 \text{ mH}/\text{km} \\ C = 0.009 \mu\text{F}/\text{km} \end{cases}$$

とする。

従つて

$$\begin{cases} \dot{z} = 0.089 + j 0.49 \Omega/\text{km} \\ \dot{y} = j 3.39 \times 10^{-6} \sigma/\text{km} \end{cases} \text{ 於 } 60 \sim$$

$$\begin{cases} \theta = \sqrt{\dot{z} \dot{y}} = 0.000116 + j 0.0013 \\ \dot{Z}_0 = \sqrt{\frac{\dot{z}}{\dot{y}}} = 382 - j 34 \end{cases}$$

3. 變壓器インピーダンス

送電端變壓器 (三相 60,000 kVA × 2 臺) 一次二次間のインピーダンス = $j 72.5 \Omega$

變電端變壓器 (三相 60,000 kVA × 2 臺) 一次二次間のインピーダンス = $j 80 \Omega$

受電端變壓器三次のインピーダンス = $j 19.3 \Omega$

但し何れも 220 kV 側換算とす。なお送電端は一次側、電受端は二次側で夫々電壓を測定するものとする。

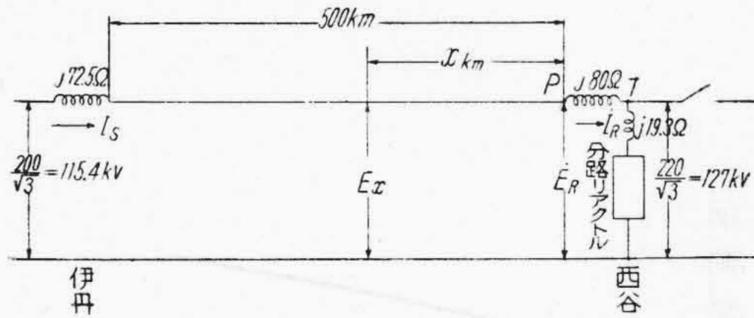
4. 變壓器及び分路リアクトルの抵抗分を無視する。

5. 送電端電壓を一次 (140 kV) 側負荷時電壓調整装置により 200 kV 一定に保つ。

以上の諸條件のもとに於て受電端無負荷のまま分路リアクトルの容量を變えることにより、種々な受電端電壓に應ずる線路途中の最高電壓並びに電壓分布を求めてみる。なお比較のために分路リアクトル無しの場合 (即ちフェラソティ効果を表わす) 並びに送受電端共 220 kV の場合についても求めてみる。

(2) 結 果

1. 送電端電壓 200 kV 受電端電壓 220 kV の場合。所要の分路リアクトルの容量を電力圓線圖 (茲には省略) より求めれば、この場合は 32,500 kVA となり、且つその端子電壓は $\frac{217.5}{\sqrt{3}} = 125.5 \text{ kV}$ となる。

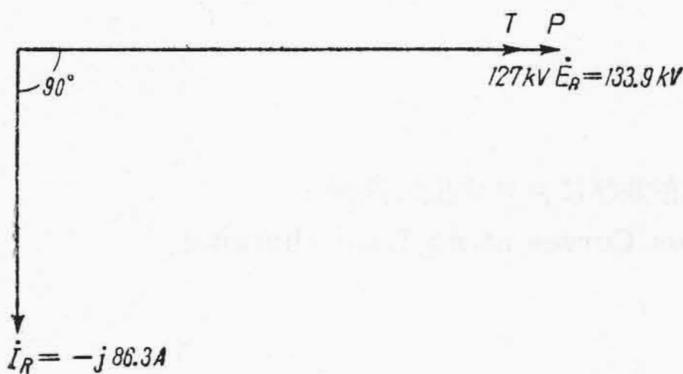


第1圖 無負荷充電時の場合
(送電端電圧 200 kV, 受電端電圧 220 kV)

Fig. 1 Condition of no Load Charging.
(Sending End 200 kV and Receiving End 220 kV)

扱 $|\dot{I}_R| = \frac{32,500}{\sqrt{3} \times 217.5} = 86.3 \text{ A}$

即ち $\dot{I}_R = -j 86.3 \text{ A}$



第2圖 第1圖に對する受電端ベクトル線圖
Fig. 2 Vector Diagram of Receiving End for Fig. 1.

PT 間即ち受電端變壓器一次二次中の電壓降下 = $80 \times 86.3 = 6.9 \text{ kV}$

故に P 點の電壓即ち

$$\dot{E}_R = 127 + 6.9 = 133.9 \text{ kV}$$

(線間値は 232 kV 第3圖中に示す)

(2) 式に之等の數値を代入すれば

$$\begin{aligned} \tanh (0.000116 + j 0.0013)x &= \frac{-j 86.3(382 - j 34)}{133,900} \\ &= 0.0219 + j 0.246 \end{aligned}$$

或は

$$\tanh^{-1}(0.0219 + j 0.246) = (0.000116 + j 0.0013)x$$

次に (3) 式に $\alpha = 0.0219, \beta = 0.246$ を代入すれば

$$\tanh^{-1}(0.0219 + j 0.246)$$

$$= \frac{1}{2} \log_e \sqrt{\frac{(1+0.0219)^2 + 0.246^2}{(1-0.0219)^2 + 0.246^2}}$$

$$+ j \frac{180^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{1.0219}{0.246}\right) + \tan^{-1}\left(\frac{-0.978}{0.246}\right)}{2}$$

$$= 0.0205 + j 0.237$$

$$\therefore 0.0205 + j 0.237 = (0.000116 + j 0.0013)x$$

之より $x = 182.5 \text{ km}$

(最高電壓發生地點の受電端よりの距離)

を得て、更にこの地點に於ける電壓 \dot{E}_x を求めれば (1) 式より

$$\dot{E}_x = 137.69 \text{ kV } |0^\circ 18' \text{ (線間値は 239 kV)}$$

依つて兩端電壓と共に大體の傾向は見當付いたが、參考迄に他の二三の地點につき電壓を求め一括すれば第1表の様になり、之れよりこの場合の電圧分布の狀況が判る。(第3圖中に示す)

第1表 電圧分布一覽表

x km	E_x kV 線間値	備 考
0	232	
182.5	239	最 大 値
300	236	
400	230	
500	219	圓線圖より求めた結果と一致す

同様にして分路リアクトルの容量を種々變えた場合の特性を求め第3圖に總括して示す。

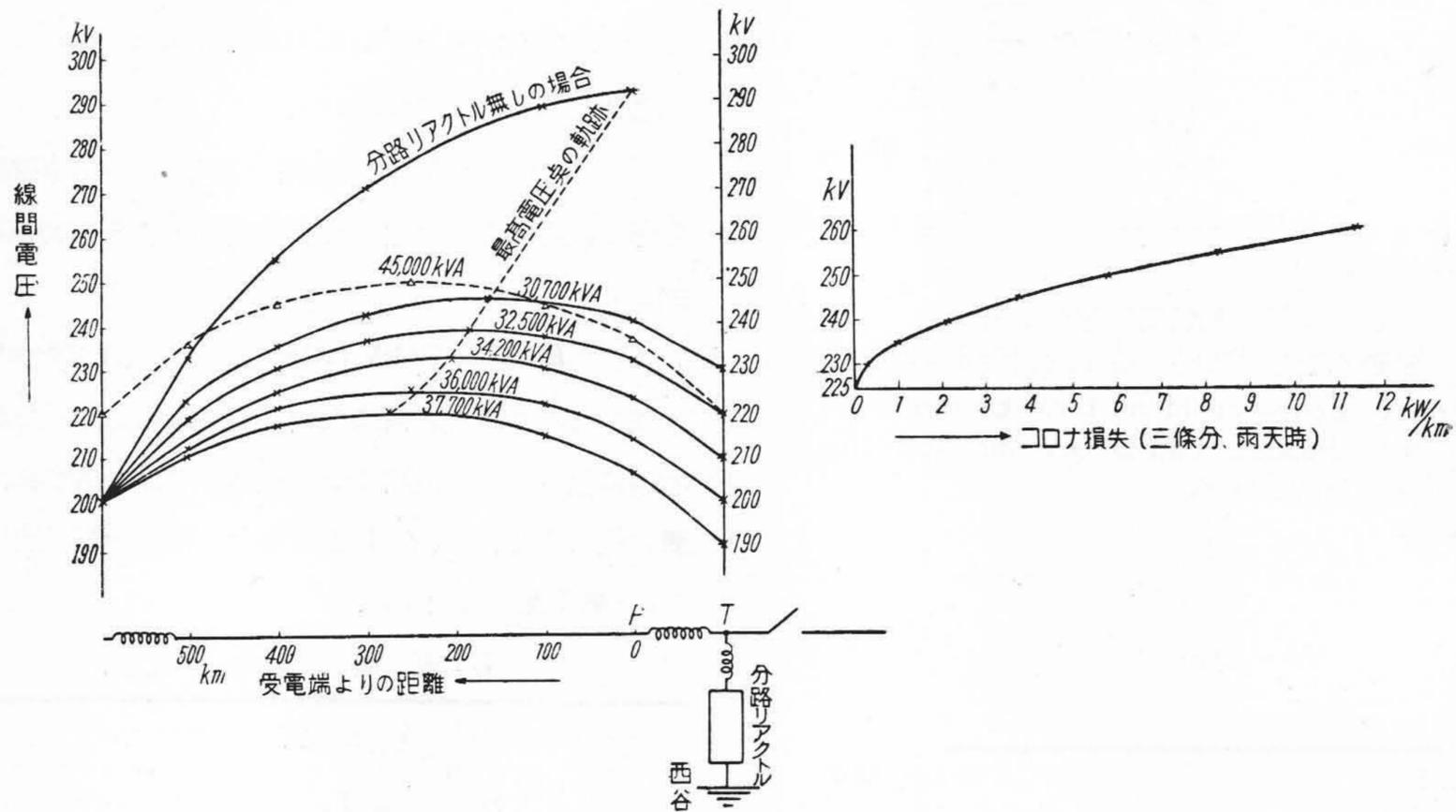
一方線路のコロナ損と電壓との關係を求めれば概ね第3圖右方の様になり、雨天時 225 kV 以上ではコロナを發生するから、この點より考えて分路リアクトルの容量は 36,000 kVA 以上必要なことが分る。

なお兩端電壓が相等しい場合には曲線は略々左右對稱になる。

更に最高電壓地點に於ける電流は何れも零であることを附記しておく。

[IV] 結 言

以上述べた通り本法による時は、從來往々にして見受けられる方法、即ち各地點の電壓を求め電圧分布曲線を畫き、その曲線上から最高電壓地點並びにその大さを見當付ける方法よりは一層理論的であり、従つて正確でもあり且つ簡單であると考えたので提案した次第である。



第 3 圖 無負荷充電時に於ける電壓分布並びにコロナ損失曲線
 Fig. 3 Voltage Distribution and Corona Loss Curves at no Load charging.

参 考 文 献

Nesbit: Electrical Characteristics of Transmission Circuits

(第 68 頁よりつづく)

発電所並列運転の過渡安定度及び負荷分擔

有 賀 浩

りは相当大きくとることが出来よう。即ち約 20% 負荷が増加しても先づ脱調の心配はなかりと大體の豫想をつけ、然る後に詳細な計算を行つた次第であり、結果は案に違わず安定運転の出来ることが分つた。

つまり本例の様に相当複雑な諸条件のもとに算定する

場合には豫め以上の様な簡略化した回路条件につき豫備計算を行つて大體の傾向を調べておくことは強ち無意味でもあるまいと考え茲に附録として蛇足を加えた次第である。