



配電系統における三相電圧不平衡に関する研究

配電系統における三相電圧不平衡の発生原因の1つになりうる対地静電容量の偏りの影響について、電力中央研究所の電力系統瞬時値解析プログラムXTAP (eXpandable Transient Analysis Program) で解析した結果を紹介する。

キーワード：三相電圧不平衡，対地静電容量，線間電圧

1. まえがき

配電系統の電力品質の一つに三相電圧不平衡がある。発生原因は単相負荷（あるいは、発電）の偏りの場合が多く、各相の電圧降下が不均等になって発生することが知られているが、線路インピーダンスの偏りが影響する場合もあり、中でもリアクタンスの偏りを考慮して開発した「電圧不平衡対策簡易評価支援ツール」を、過去のエネルギー総研レビュー (No.48) で紹介した。一方、本ツールでは静電容量の偏りが考慮されていないことから、本稿では、対地静電容量の偏りが配電系統の三相電圧不平衡に与える影響について簡易モデルを作成し、XTAPを用いて解析した。

2. 概要

配電系統は、一般的に非接地（高抵抗接地）系であり、各相の対地静電容量が偏ると、配電用変電所（配変）バンクに残留零相電圧（残留V0）が発生する。残留V0が大きくなると、地絡事故を検出する継電器の動作に弊害があるため、対地静電容量を三相バランスさせるよう管理している。

ここで、1線地絡事故が発生すると、対地電圧（ $6.6/\sqrt{3}$ kV）が三相大きく変化し、配変バンクの零相電圧（V0）が増大するが、このとき、線間電圧（6.6kV）には大きな影響を与えていないと言われている。

そこで本稿では本現象を再確認するため、継電器の動作に影響を与えない程度に対地静電容量に偏りを与えた場合の常時系統と、対地静電容量に流れる充電電流が偏った1線地絡事故時の系統の両方の場合において発生する線間電圧について解析する。ここで、線路の静電容量には、対地静電容量と線間静電容量があるが、後者の偏りは線間負荷の偏りと同様に扱うことができるため、検討から除外した。

3. 研究成果

3.1 電圧不平衡率

電圧不平衡とは、JIS C60050で「多相系統において、相電圧の実効値または隣り合う位相角差の全てが

等しいというわけではない状態」となっている。

電圧不平衡率は、三相電圧（ E_a, E_b, E_c ）を用いて、次式で表される。

$$\text{電圧不平衡率}(k) = \frac{\text{逆相電圧}(E_2)}{\text{正相電圧}(E_1)} \times 100[\%] \quad \dots (1)$$

$$E_1 = \frac{1}{3}(E_a + \alpha E_b + \alpha^2 E_c), \quad E_2 = \frac{1}{3}(E_a + \alpha^2 E_b + \alpha E_c)$$

ここで、 $\alpha = \frac{1}{2}(-1 + j\sqrt{3})$ 、 $\alpha^2 = \frac{1}{2}(-1 - j\sqrt{3})$ 。

(1)式は、式変形して線間電圧（ E_{ab}, E_{bc}, E_{ca} ）のみからも計算できる。

$$E_1 = \sqrt{\frac{1}{6}(E_{ab}^2 + E_{bc}^2 + E_{ca}^2) + \frac{2}{\sqrt{3}}E_s(E_s - E_{ab})(E_s - E_{bc})(E_s - E_{ca})}$$

$$E_2 = \sqrt{\frac{1}{6}(E_{ab}^2 + E_{bc}^2 + E_{ca}^2) - \frac{2}{\sqrt{3}}E_s(E_s - E_{ab})(E_s - E_{bc})(E_s - E_{ca})}$$

ただし、 $E_s = \frac{1}{2}(E_{ab} + E_{bc} + E_{ca})$

また、kの値が小さい場合に(1)式と値が近い等の理由でより簡易な(2)式が用いられる場合もある。

$$\frac{\text{不平衡電圧の最大値} - \text{不平衡電圧の平均値}}{\text{不平衡電圧の平均値}} \quad \dots (2)$$

3.2 解析モデル

配変バンクが三相三線式の2フィーダから構成される解析モデルを図1のように作成した（各フィーダの幹線巨長は10km）。

線路インピーダンス（ R, X ）は、電圧降下を発生させるために設定し、線種をAL-OC200°として求めた線路定数を用いた。対地静電容量の偏りのみを解析するため、リアクタンス（ X ）の偏りはなしとした。負荷は実線路に近づけるために、フィーダ1末端に三相平衡の定抵抗負荷（定格1,800kW、遅れ0.95）を設置した。一方、フィーダ2については無負荷線路とした。

配変バンク全体の対地静電容量は15μF（三相一括）とし、配変バンクに実際は8フィーダがあると仮定して按分した1フィーダ分（1/8）の対地静電容量をフィーダ1に、残り（7/8）をフィーダ2に振り分けた。なお、各フィーダは2区間に分割し対地静電容量を均等に分散させた。

非接地系統は、モデルを簡単化するためGPTでなく三相平衡電源の中性点と大地の間に10kΩの高抵抗を設置した。また、架空地線・単相線路は省略し、柱上変圧器等の対地静電容量はモデル化していない。

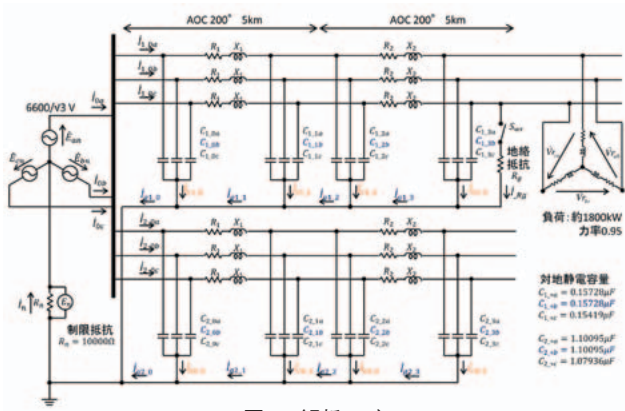


図1 解析モデル

3.3 解析結果

まず常時系統において、対地静電容量を偏らせて残留V0を発生させた。次に、フィード1の末端でC相を1線地絡（地絡抵抗 $R_g=6,000\Omega$ ）させた。最後に、極端な例として、完全地絡（ $R_g=0\Omega$ ）を発生させた。なお、電圧不平衡率 k の計算は（1）式を用いた。

<3.3.1> 常時系統（対地静電容量偏りあり）

対地静電容量は $15\mu F$ （三相一括）を、区間均等に $C_a : C_b : C_c = 1.02 : 1.02 : 1$ の比で割り当てた。発生した残留V0は1.2V（GPT1次側電圧25V）、電圧不平衡率 k は0.00%であった（図2）。常時系統では、線間電圧にほとんど影響を与えていない。

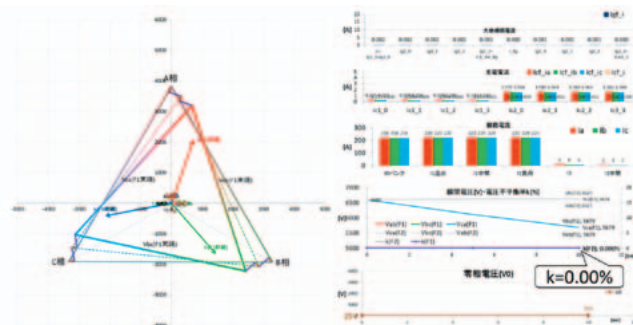


図2 常時系統

<3.3.2> 1線地絡事故時（ $R_g=6,000\Omega$ ）

<3.3.1>の条件で、1線地絡事故をC相に発生させた。発生したV0は5.3V（GPT1次側電圧106V）、電圧不平衡率 k は0.02%であった（図3）。全国的な電圧不平衡率の管理目標値を3%とすると十分に小さい値である。

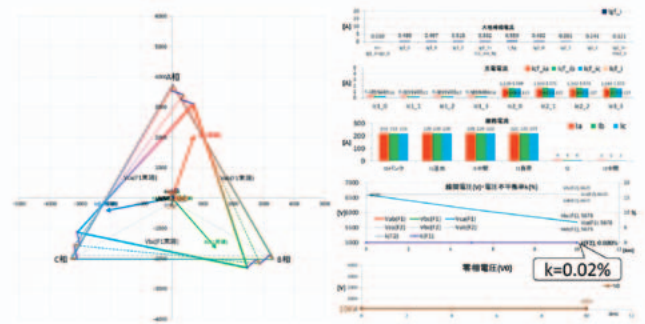


図3 1線地絡事故時（ $R_g=6,000\Omega$ ）

<3.3.3> 1線地絡事故時（ $R_g=0\Omega$ ）

発生したV0は166.4V（GPT1次側電圧3,338V）、電圧不平衡率 k は0.69%であった（図4）。線路電流I1に発生した逆相電流分により末端までの電圧降下が各相不均等になったためと考えられる。

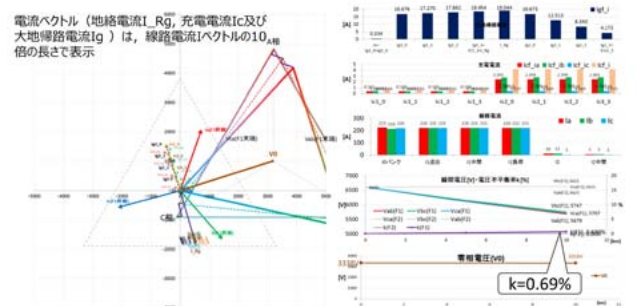


図4 1線地絡事故時（ $R_g=0\Omega$ ）

4. あとがき

本稿では、配電系統（非接地系統）に対し、対地静電容量の偏りが線間電圧に与える影響を、XTAPを用いて解析した。解析の結果、これまで知られているように、主として配変バンクのV0の増大として発生し、線間電圧に大きく影響が出ない結果となった。

しかし、対地静電容量の偏りが大きくなると残留V0が大きくなり、継電器の動作に弊害が発生するため、対地静電容量のバランスは保安上極めて重要である。従って配電系統の三相電圧不平衡は、従来どおり対地静電容量の面からも検討する必要があると考えられる。

中国電力(株)
エネルギー総合研究所
次世代グリッドグループ
八田 浩一

専門分野：配電系統，最適化
主な担当業務：蓄電池制御，
配電系統解析

