

動揺中の電圧・電流を用いた動的等価回路の作成法

日大生産工（院）○馬 寧、坂入 利保 日大生産工 佐藤 正弘

1. はじめ

電力系統に系統事故が加わったときの安定度を判定することは重要である。送電線へ落雷が発生すると、事故除去のための回線の開放さらには再閉路が行われ、発電機間の回転子の位相角が大きく変動する。この場合には、厳密な分析が必要である。故障発生とする電力系統が動揺中に、系統の等価回路を求めることができれば、簡単に安定度を判定することが可能と考えられる。本研究の目的は、じょう乱中の電圧・電流を用い、ある発電機からみた系統側を一線路と無限大母線で表現する方法を開発することである。本論では動的等価回路を求める方法について報告する。

線路開放について、簡単な図1の一線路モデルシステムを用いて説明する。

系統事故の発生した線路を開放した後、系統側を一線路Aと無限大母線S2で表す。発電機S1に接続する線路Aで $V \angle \theta$ 、 $I \angle \phi$ を測定する。無限大母線S2を基準として設定し、等価回路の抵抗R、リアクタンスXを求めることが本研究の目的である。

2. 等価回路の作成方法

図1に示すR、Xをベクトルに書き換えると、インピーダンスZと位相角 α は

$$R + jX = Z \angle \alpha \dots\dots\dots(1)$$

であり、有効電力P、無効電力Qは(2)、(3)式で求めることができる。

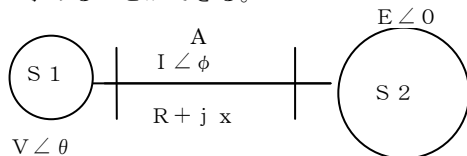


図1 一線路モデル系統

$$P = \frac{V^2 \cos \alpha}{Z} - \frac{EV \cos(\theta + \alpha)}{Z} \dots\dots\dots(2)$$

$$Q = \frac{V^2 \sin \alpha}{Z} - \frac{EV \sin(\theta + \alpha)}{Z} \dots\dots\dots(3)$$

そして、図1に示す発電機の位相角 θ は動揺中に時々刻々変動する値である。(2)、(3)式から、 $(\theta + \alpha)$ を消去するために、 $\cos(\theta + \alpha)^2 + \sin(\theta + \alpha)^2 = 1$ を用いると、

$$\left(\frac{V^2 \cos \alpha}{Z} - P\right)^2 + \left(\frac{V^2 \sin \alpha}{Z} - Q\right)^2 = \left(\frac{EV}{Z}\right)^2 \dots\dots(4)$$

が得られる。関数で表すと

$$G_I = \left(\frac{V_I^2 \cos \alpha}{Z} - P_I\right)^2 + \left(\frac{V_I^2 \sin \alpha}{Z} - Q_I\right)^2 - \left(\frac{EV_I}{Z}\right)^2 \dots\dots\dots(5)$$

未知数Zと α を求めるために、テイラー展開により、 $G(Z + \Delta Z, \alpha + \Delta \alpha) = G(Z, \alpha) + \frac{\partial G}{\partial Z} \Delta Z + \frac{\partial G}{\partial \alpha} \Delta \alpha + \frac{\partial^2 G}{\partial Z^2} \Delta Z^2 + \frac{\partial^2 G}{\partial \alpha^2} \Delta \alpha^2 \dots\dots\dots(6)$

とする。この式の左辺は0になり、また二階の偏微分の値は小さいので、省略すると、 $-G(Z, \alpha) = \frac{\partial G}{\partial Z} \Delta Z + \frac{\partial G}{\partial \alpha} \Delta \alpha \dots\dots\dots(7)$

が得られる。この公式を満足できるようなZ、 α をニュートンラプソン方法⁽¹⁾で求めることにより、等価回路のR、Xが求まる。

3. Z、 α の計算方法

ここで、発電機は $P=1.00Q=0.15354V=1.00$ であり、 $Z=0.3$ (p.u.)、 $\alpha=1.57$ (RAD)とする。今

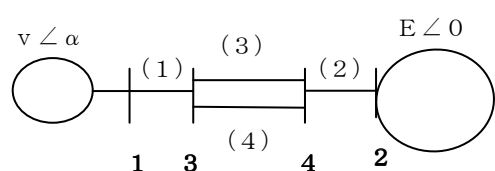


図2 モデル系統

A method forming an equivalent circuit using voltage and current measured during disturbance.

ning MA, and toshiyasu SAKAIRI and masahiro SATO

回は、図 2 のようなモデル系統を用い、線路 (4) に系統事故が発生すると、安定度計算⁽¹⁾の結果の二つの時点で測定した V、P、Q を用いて (5) 式を満足する Z と α を求める。ニュートンラプソン法を用いて (8) 式を繰り返し計算する。

$$\begin{bmatrix} -G1 \\ -G2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial G1}{\partial Z} & \frac{\partial G1}{\partial \alpha} \\ \frac{\partial G2}{\partial Z} & \frac{\partial G2}{\partial \alpha} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta Z \\ \Delta \alpha \end{bmatrix} \dots\dots\dots(8)$$

等価回路の作成方法を図 2 のモデルを用い、フローチャートに示して説明する。

4. 結果の分析

図 2 のモデルを用い、線路 (4) で系統事故が発生した後、安定度計算の結果から、0.35 秒と 0.45 秒の二つ時点の V、P、Q を用いる。結果を図 4、図 5 で表す。

図 4 は試行回数毎の G 1、G 2 の値である。

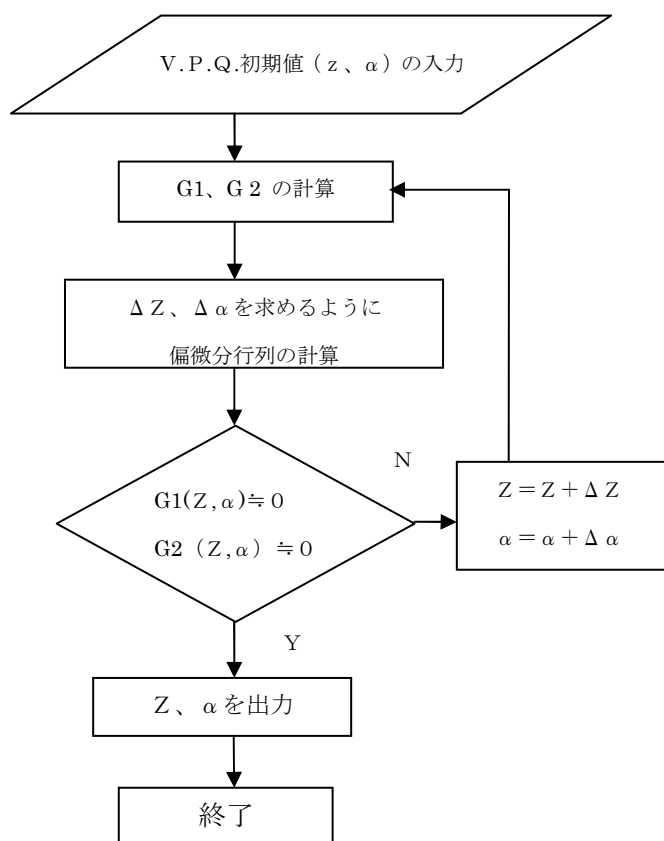


図 3 フローチャート

図から、G 1、G 2 が共に 0 へ近づいているのがわかる。13 回目に G 1、G 2 の値が一番 0 に近いので、このときの Z、α が答えとなる。

図 5 に Z、α の変化を示す。答えとなる 13 回目の Z、α の値は、Z = 0.48、α = 1.67 である。

5. まとめ

今回提案した動揺中の等価回路の作成方法を検討するために、一機無限大母線系をもちいて、インピーダンスを計算した。

この結果が適切かどうかを判定することが今後の課題である。

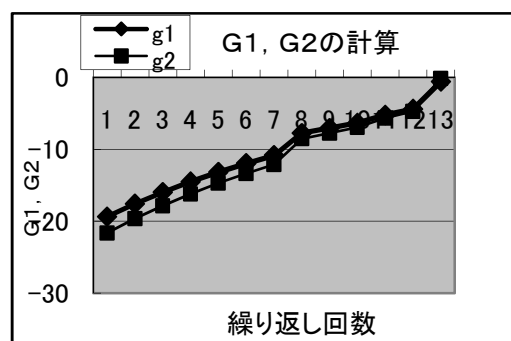


図 4 G 1、G 2 の計算

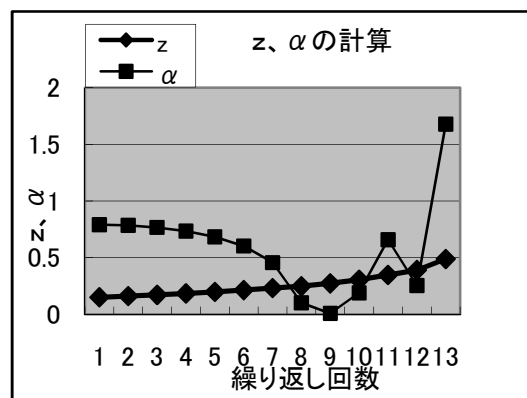


図 5 Z、α の計算

「参考文献」

- (1) 小向敏彦・色川彰一・加藤政一、「電力システム工学」第 3 章、pp35~pp44