

事故による電力系統分離進展現象に関する研究

日大生産工(院) ○関 博

日大生産工 佐藤 正弘

1 まえがき

電力系統は広い範囲に分布する発電所、変電所、送電線、需要家などから構成される大規模なシステムである。

2003年8月14日、デトロイト、ニューヨーク、カナダの一部を含む広範囲が停電し、5000万人が被災、6000億円の損失をもたらした。一つの送電線の開放が他の送電線に電力変動や電圧低下をもたらし、次々と送電線が開放された結果、電力系統がいくつかに分断され広域停電となった例である⁽¹⁾。

このような広域停電の防止を目的に、線路の開放を示す情報から、系統が分断されたか否かを判定する方法を開発することが研究の目的である。本稿では過負荷が次々と発生する現象を対象として系統分離を検出する方法を開発することを目的として、研究に必要な潮流計算プログラムを紹介する。

2 電力系統の過負荷と系統分断

500KVから275KVの電圧レベルが高い基幹系統は数100の発電機と変電所、数100の線路から構成され、複数のループとなる部分も含まれている。また、電力系統には総発電量と負荷の合計が時々刻々一致しないと発電機が停止する特性があり、広域停電となる場合もある。

もし、線路に過負荷と呼ばれる上限値以上の電流が流れると送電線は熱により溶けるため、過負荷した線路は自動的に開放される。開放された線路の電流は他の線路に分流して、さらに別の線路に過負荷が発生することがある。このように、次々と線路が開放されると系統が分断される場合がある。分断された系統の発電量が負荷より多い場合は発電機を解列し、逆に負荷が多い場合は負荷の一部を解列しなければならない。この処理を高い精度で高速に実施する必要がある。

3 潮流計算プログラム

電力系統の各発電所、変電所、送電線の電圧($V\angle\theta$)、電力(有効電力 P 、無効電力 Q)を把握するための潮流計算法の概要を示す。

発電機ノード、負荷ノードの指定値と計算値は表1に示す。発電機については発電電力(有効電力) P と発電機の端子電圧の大きさ V 、そして変電所については負荷の電力(有効電力 P_L 、無効電力 Q_L)の値は既知とし入力データとして与える。計算結果として発電機の電圧の位相角 θ と無効電力 Q 、また変電所の電圧($V\angle\theta$)が得られる。さらに、各送電線を通る電力(有効電力と無効電力 $P+jQ$)と電流($I\angle\Phi$)が求められる。

表1 潮流計算における指定値と計算値

ノードの種類	指定値	計算値
基準ノード	ノード電圧 V 位相角 θ	有効電力 P 無効電力 Q
P-V ノード	有効電力 P ノード電圧 V	無効電力 Q 位相角 θ
P-Q ノード	有効電力 P 無効電力 Q	ノード電圧 V 位相角 θ

解法の概要を示す。まず、各発電機や変電所をノードと称する。次に、ノードの総数を N としノードの番号を k とすると、各ノードの複素電圧 $V_k=E_k+jF_k$ を成分とするベクトル V とする。さらに各端子の流入または流出する複素電流を $I_k=C_k+jD_k$ とするベクトルを I とすると、 I と V の関係はアドミタンス行列 Y を用いて(1)式で表せる。

$$I=Y\cdot V \quad (1)$$

Separation of power system caused by a sequence of line outages

Bo Guan and Masahiro Sato

また、ノード k の電力は(2), (3)式で表せる。

$$P_k = V_k \cdot \text{con}(I_k) \text{ の実部} \quad (2)$$

$$Q_k = V_k \cdot \text{con}(I_k) \text{ の虚部} \quad (3)$$

ここで、 $\text{con}(I_k)$ は電流 I の共役数である。
さらに、ノード k の電圧の大きさ V_k が指定されている場合、 E_k , F_k は(4)式を満足するように求める。

$$(V_k)^2 = (E_k)^2 + (F_k)^2 \quad (4)$$

潮流計算はノードごとに指定した P_k , V_k または P_k , Q_k の値と、(1)～(4)を用いて計算した値が一致するように電圧 ($E_k + jF_k$) を計算する。関数は非線形なので、ニュートンラプソン法を用い、仮定した電圧の値を出発点にして繰り返し計算により収斂した電圧 ($E_k + jF_k$ $k=1 \sim N$) を求める。図1に7母線と8線路のモデル系統といくつかの各ノードの電圧 V と電力 (P , Q)、いくつかの線路電流を示す。これをベースケースとする。発電機ノードは1と7、負荷ノード3、4、5である。線路4の電流 $0.296[\text{P.U.}]$ が過負荷であるとする、線路4は開放される。図2に線路4が開放された後の系統と潮流計算の結果を示す。開放された線路4の電流はベースケースの 0.296 から 0 になり、線路2に分流して、線路2の電流はベースケースの 0.728 から 1.045 に増加する。線路2の電流が上限を越え、過負荷になると、線路2も開放される。この結果、系統はノード1、2、3とノード4、5、6、7分離される。

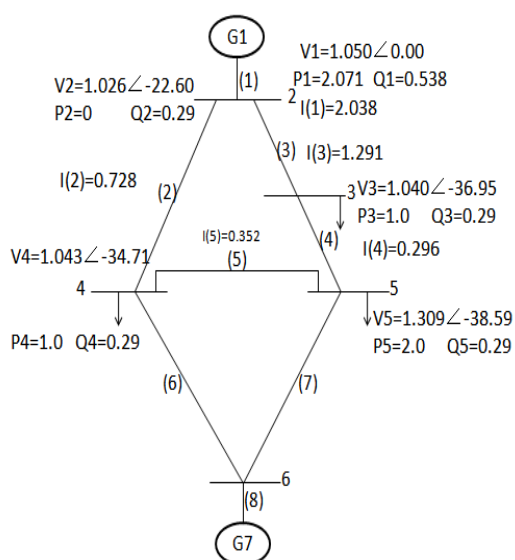


図1 電力系統ベースケース図

4 課題

過負荷解消のため逐次線路が開放されると系統が分断される場合がある。これを高速に検出する方法が必要である。一つの方法²⁾として、特定のノードに電流を注入した場合の電圧と電流の関係式 $E=Y^{-1} \cdot I$ を計算し、電圧がゼロとなるノードがあれば、それらは電流を注入した特定のノードに接続していないと判断できる。しかし、アドミタンス行列 Y の逆行列の計算が必要であり、数100ノードとなる大規模系統では演算時間が長くなる。このため、新たな高速な判断法の開発が課題である。

5 まとめ

広域停電を防止するために、過負荷により複数の線路が解列された結果、系統が分離する場合、それを検出する方法を開発することを目的に検討している。

今回は、潮流計算プログラムを作成し、小規模系統で過負荷線路を開放し系統分離する例を示した。

今後の課題は、線路の開放等の情報を用いて、高速な方法を開発することである。

「参考文献」

- 1) 北米北東部停電調査団、「2003年8月14日北米北東部停電事故に関する調査報告」、エネルギー庁、2004年3月
- 2) 坂入利保、佐藤正弘、「電力系統における需給アンバランスを最小化する系統分離線路の選定法」、電気学会論文誌B, 130巻、No. 1, P17～24, 2010

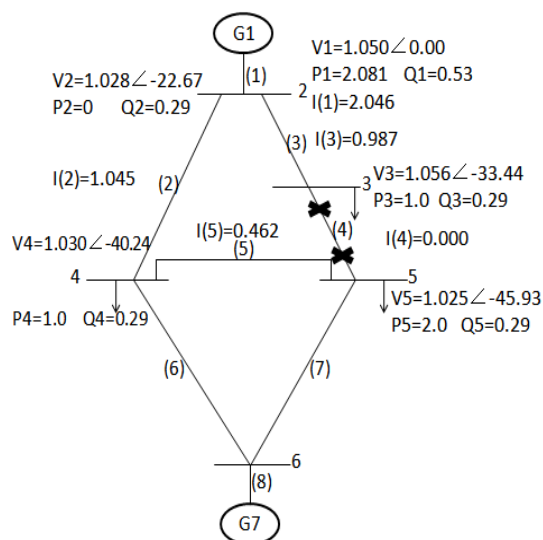


図2 線路4開放した系統図