

電力システムの安定化 - 最適分離点の高速決定法 -

日大生産工(院) ○坂入 利保 日大生産工 佐藤 正弘

1 はじめに

多数の発電機と負荷が連系した電力システムにおいては、落雷などの事故により、発電機が次々と脱調し広域停電に至る可能性がある。2003 年夏、北米で数州にわたる広域停電が発生し 5000 万人の被災者、数 1000 億円の損失をもたらした⁽¹⁾。広域停電を防止するためにはシステムを分離することが考えられる。しかし、分離後の発電量と負荷のアンバランスが大きい場合には周波数偏差が許容範囲を超えるので、バランスさせるために発電機の解列と負荷の遮断が必要となる。本研究では最適な線路を開放することによって分離後の周波数偏差を最小化する方法の開発を目的とした。システムの分離を判定するときの計算を高速化して、時間を短縮する方法について報告する。

最適な線路開放⁽²⁾について簡単にFig.1 の小規模モデルシステムを用いて説明する。

事故発生後、システム間に線C1 上に脱調分離リレー⁽³⁾により脱調が検出された場合、線路(1)、(2)を開放してシステム分離する。その結果、発電機G2 を含む分離システムの出力は 2 [PU]で負荷は 1[PU]となるので、発電過剰となり、周波数が上昇する。そこでC2 が示すように線路開放すれば発電量と負荷が釣り合うので安定な状態に回復する。このようにC1 で脱調が検出されたときに、C2 のような分離後システムの需給アンバランスを最小化する線路を選択して、解列することが本研究の目的である。

2 高速計算法

最適な線路を見つける際に、様々な組み合わせの線路を開放し、システムが分離したかを判定しなければならない。そこで、Fig.2 のようなシステムで×印の 3 本の線路を開放したときに、ある 1 点のノードから電流を注入すると、注入したノードに接続しているノードには電圧が現れる。逆に、接続していないノードには電流が流れないので、電圧は零になるため、システムが分離したかどうかを判定することができる。

また、原系統のアドミッタンス行列を Y_0 とし、線路開放に伴うアドミッタンスの変化分を ΔY とすると、システム分離を判定するための式は(1)式で表すことができる。

$$V = [Y_0 + \Delta Y]^{-1} \cdot I \quad \dots(1)$$

$$I^T = [1.0, 0.0, \dots, 0.0] \quad \dots(2)$$

しかし、実際のシステムでは Y_0 の規模が大きいので、 Y_0 に ΔY を加えて、逆行列を計算する⁽⁴⁾方法では計算が長くなる。そこで、次の式を用いる。

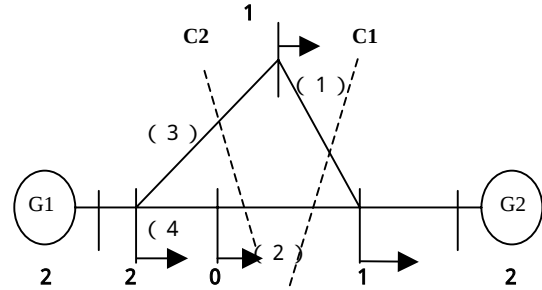


Fig.1 モデルシステム

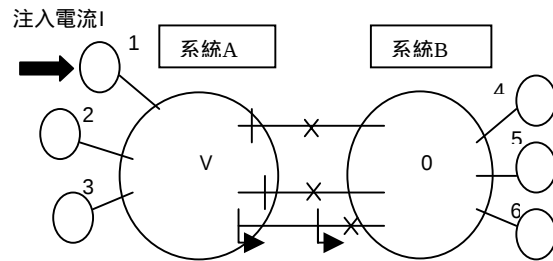


Fig.2 モデルシステム

$$[Y_0 + \Delta Y]^{-1} = Y_0^{-1} - C \cdot X \cdot M \cdot Y_0^{-1} \quad \dots(3)$$

$$X = Y_0^{-1} \cdot M^T \quad \dots(4)$$

$$M = [1.0 \quad 0.0 \quad \dots \quad -1.0 \quad 0.0] \quad \dots(5)$$

$$C = [1 / \Delta y + M \cdot X]^{-1} \quad \dots(6)$$

$$\Delta y = -Y_{0mn} \quad \dots(7)$$

この式を用いると、あらかじめ Y_0 の逆行列を計算しておけば線路を開放したときの变化分だけを計算すればよいので、(1)式を直接計算するよりも計算時間を短縮することができる。

そこで、高速計算法の効果を確認するために、電気学会のシステムモデル(以降 EAST10)を用いて線路を 1 本開放し、そしてシステムのノード数を 2 倍、3 倍と増やしたときの従来の計算方式と高速計算法の計算時間と、計算精度について確認した。

3 シミュレーション結果

Fig.3 にシステム規模を拡大したときの従来の計算方式と高速計算の計算時間を示す。どちらもノード数が増えると計算時間が上昇しているが、高速計算と

従来の計算方式の時間の比はノード数 50 個で 1 : 2、500 個で 1 : 2.5、700 個で 1 : 3.2 と、ノードが増えるごとに比が大きくなっていることがわかる。よって、このグラフから高速計算法の有効性を確認することができた。次に、高速計算法の計算時間をさらに短縮するために(3)式の $X \cdot M \cdot Y_0^{-1}$ の計算手順を変えて測定したのがFig.4 となり、さらに高速計算法の部分を拡大したのがFig.5 である。

計算手順を変える前は(3)式の列ベクトル X と行ベクトル M を先に計算し、 $n \times n$ 行列としてから Y_0^{-1} との積を計算していたが、今度は M と Y_0^{-1} を先に計算させると、行ベクトルとなり、 X と内積の計算となるので、計算量が大幅に減少することになる。よってFig.4 のように計算時間がかなり短くなり、これにより従来の計算時間とFig.5 を比較するとノード数 750 個で 100 分の 1 にまで計算時間を短縮できることを確認した。

Fig.6 は高速計算の計算精度を確認するために、従来の計算方式との相対誤差を示したグラフである。ノード数が増えると全体的に誤差は大きくなっているが、最大でも 0.05%を下回ることを確認した。

4 まとめ

今回のシミュレーションで系統分離を判定するために、 $[Y_0 + \Delta Y]^{-1}$ を(3)式で計算することによって、高速かつ高い精度で計算することができた。そして、系統が大きくなれば計算時間の短縮効果も大きくなることが確認できた。また、計算する順番を変えることにより計算時間を大きく減らすことができることも確認できた。

Fig.3 から Fig.6 において計算時間が急に上昇したり、誤差が大きくなってしまっているところがある。この原因は現在検討中であるが、考えられる原因として今回のシミュレーションでは EAST10 モデルを 2 個、3 個と増やして、さらにそのまとまった系統同士を不規則に繋げていたため、計算が複雑になってしまったと予想される。よって規則的にまとまった系統同士を繋げて、どのように計算時間や誤差が変化していくかを確認することが今後の課題である。

また、今回用いた高速計算の方法は線路 1 本 1 本に対して修正を加えているので、2 本以上開放する場合は計算時間が 2 倍、3 倍となってしまう。そこで開放する線路に対してまとめて修正を加えるようなプログラムの作成が必要となる。

「参考文献」

- 1) 電力中央研究所、「大停電、日本は大丈夫か - 北米停電の原因分析 - 」、<http://CRIEPI.denken.or.jp/topics/network/doc.html>
- 2) 佐藤正弘、坂入利保、電力系統に関する基礎検討、電気学会 B 部門大会、No.295、(2007)
- 3) 電気学会、系統脱調・事故波及防止・リレー技術、「電気学会技術報告」、第 801 号、(2000)
- 4) Ben. Noble, J.W. Danel, "APPLIED LINEAR ALGEBRA", 2d Ed, PRENTICE-HALL, INC, (1977).

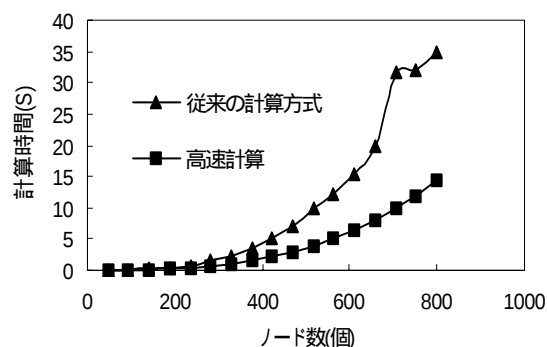


Fig.3 ノード数における計算時間

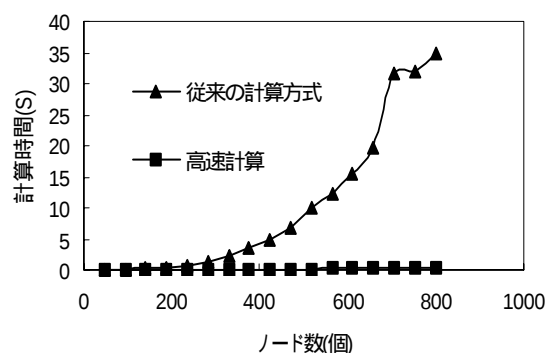


Fig.4 ノード数における計算時間
(計算手順変更後)

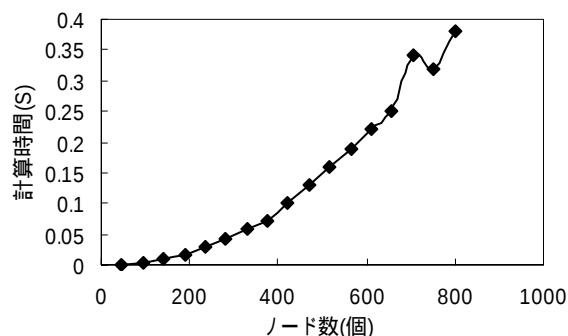


Fig.5 Fig.4 の高速計算部分の拡大

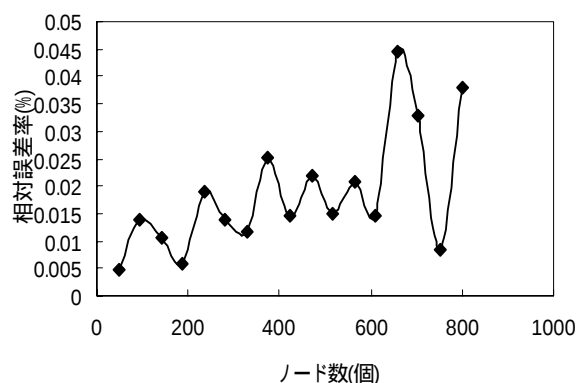


Fig.6 高速計算の精度