

送電損失を最小化する配電系統の復旧論理の開発

- 電圧調整法の開発 -

日大生産工(院) ○山越 直樹 日大生産工 佐藤 正弘

1. はじめに

電力系統は、送電系統と配電系統から構成されており、配電系統は配電変電所から放射状構成されている。日本では樹枝状配電方式が主に使用されており、配電系統は他の配電系統と開閉器によって連系しているが、平常時は開放されている。配電変電所が機器故障等により停止した場合、その配電変電所が受け持っていた配電系統全体が停電する。そこで、停電区間を周りの配電系統に接続して電力の融通を受け復旧させる。その際に線路損などの電力損失を最小にするような系統構成するための復旧論理を開発することが目的である。

今回は系統構成の変更により設定した電圧の変化を調整するために調相設備によってノードの無効電力を調整し、線路損失の軽減を目的として最低限必要な調相設備の数や設置場所を検討する。

2. 停電復旧の考え方

発電所で作られ、送電線によって消費地の近くの変電所（配電変電所）まで送られてきた電気を需要家に送り届ける電線を配電線といい、配電変電所以下の系統を配電系統という。

現在ではほとんどの配電系統が交流定電圧方式で運用されており、負荷を線路に並列に接続し、交流の電圧、電流によって電力を供給する。この場合、各電圧の端子電圧はほぼ等しく、負荷の変動に応じて電流が増減する⁽¹⁾。

配電系統の基本構成は図1を用いて説明すると、変電所から最初のノードまでの部分(1,6,11,17)をフィーダと言い、フィーダ以降の主要部を幹線、幹線から分岐したものを分岐線という。新規需要の発生に応じて樹枝状に幹線と分岐線を延長していく方式で、線路状態は地域の需要形態に即したものとなっている。幹線は常時は閉じている区分開閉器によって適当な区分に分割されており、事故が発生した場合、事故点を含む区間のみ選択的に遮断されて停電区間がその区間に限定される。分割された各区間は連系線および常時は開放されている連系開閉器を通じて隣接幹線と連系できるようになっており、停電区間は連系開閉器によって供給できるようになっている⁽¹⁾。

そこで、送電損失を最小化する配電系統の復旧論理の開発を目的とする。

図1において配電変電所Bが故障した場合、その変電所のノード番号を選択し、その配電系統内のブランチを全て開放する。つぎに、その系統と隣接した配電系統を検出する(今回の場合はAとCである)。その後、隣接した系統の中で応援可能電力が大きいほうを優先して選択し、線路の抵抗値が小さい連系開閉器のブランチを選択する。線路損とその先のノードの供給電力を応援可能電力から引き0以上なら接続し、応援可能電力が0以下になるまでこの動作を続ける。この動作が終了したら他の隣接

Development of restoration logic for distribution network with the minimum loss

- Development of voltage adjustment method -

Naoki YAMAKOSHI, Masahiro SATO

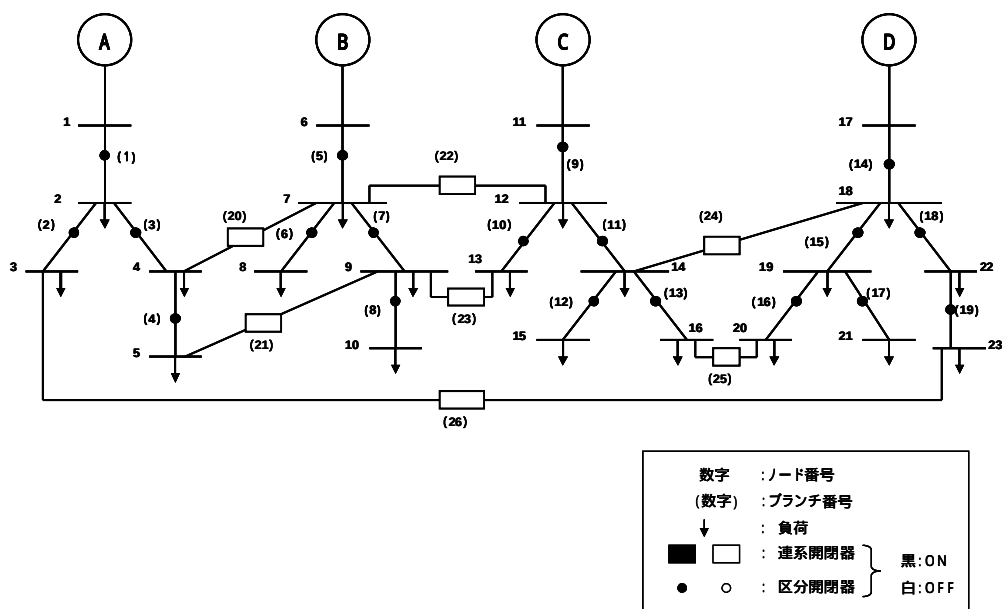


図 1 配電系統図

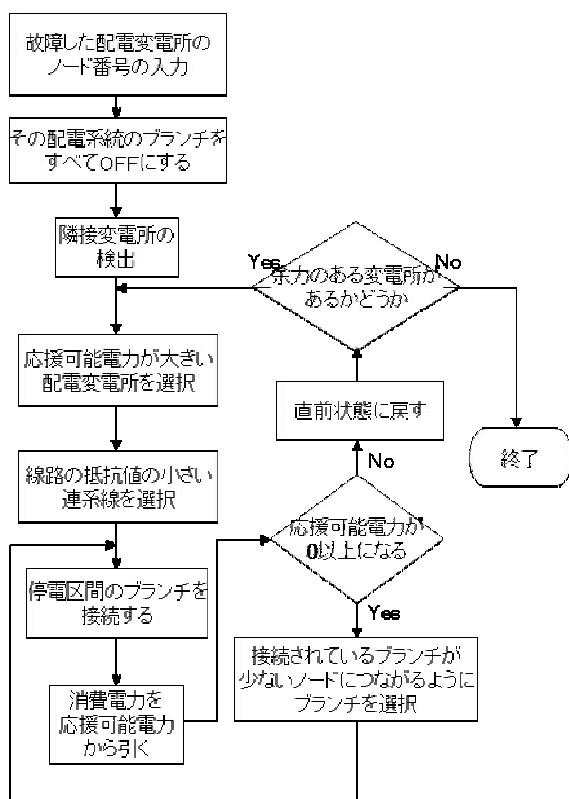


図 2 系統復旧の手順

した系統でも同じ動作をし、隣接した系統がなくなるまでこの動作を続ける。その後、他の経路を通った場合と比較し、損失が最小のものを選択する。

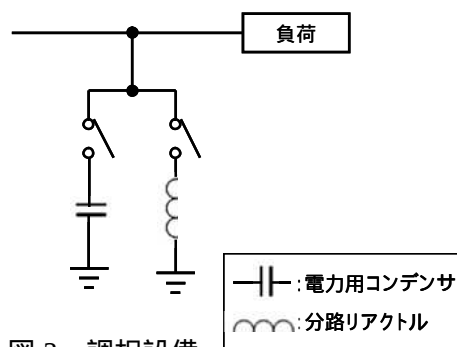


図 3 調相設備

3. 電圧調整法について

低圧需要家の電圧は電圧降下によって決まる。電圧降下は場所的、時間的に変化しており、需要家の電圧を一定に保つことができない。したがって、需要家の供給電圧が使用機器の使用に影響のない程度の電圧変化範囲にすることが電気事業法によって定められている⁽¹⁾。

配電系統の電圧は末端に近づくほど降下するため、各柱上変圧器のタップを調整する。変圧器の一次側のタップを高圧配電線の電圧に合わせて調整し、二次側の電圧をほぼ一定に保つようにする⁽²⁾。

電力用コンデンサや静止形無効電力補償装置などを用いて、配電線に流れる無効電力を調整することにより、電圧調整を行うことができる。

配電線に並列コンデンサを接続すると力率

改善により設置店から電源側の電圧降下を軽減することができ、同時に線路損失の軽減と配電容量の増大にも効果がある。

配電線の負荷電流は昼夜では負荷が変化することで、力率が大きく変化することにより、コンデンサだけでは電圧調整が困難である。このような場合、一般にコンデンサと並列接続したリアクトルの無効電流を交流変換機で調整する図3のLC並列形が用いられる⁽¹⁾。

4. 電圧調整の方法

まず、ノードの理想電圧、調相設備の位置を設定し、そのノードに流れる電流を算出するために式(1)を使う。

$$i = \left(\frac{P + jQ}{v} \right) \quad (1)$$

そして、キルヒホッフの第一法則に従い、ブランチの電流を算出していく。

全ブランチの電流の算出が終わったら、式(2)を用いて各ノードの電圧を算出する。

$$v_t = v_f - z \cdot i \quad (2)$$

各ノードの電圧 V_i の誤差を求め、許容誤差範囲内に収まらず、プラスなら ΔQ を加算し、マイナスなら ΔQ を減算していく(ただしこのときの ΔQ は一定である)。その後、もう一度同じ手順を繰り返し、1度目の V_{i1} の値と2度目の V_{i2} の値を比較し ΔQ が V に与える感度を求める。

$$\begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_{12} - V_{11} \\ V_{22} - V_{21} \\ V_{32} - V_{31} \\ V_{42} - V_{41} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$k = \frac{\Delta Q}{\Delta V} \quad (4)$$

$$\Delta Q = [k_1 \quad k_2 \quad \dots \quad k_{n-1}] \cdot \begin{bmatrix} \Delta V_1 \\ \Delta V_2 \\ \vdots \\ \Delta V_n \end{bmatrix} \quad (5)$$

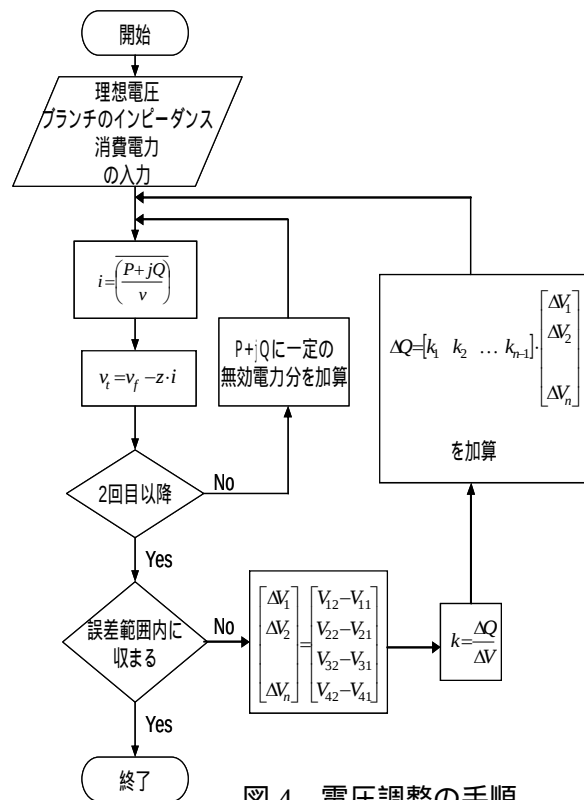


図4 電圧調整の手順

式(3)より ΔV を算出し、式(4)で ΔV の変化による ΔQ の増幅量を求め、さらに式(5)より、全てのノード電圧の誤差を反映した ΔQ の値を求め誤差が収束条件内を満足するまで続ける。

5. シミュレーションによる確認

5.1 シミュレーションの条件

配電所Aの場合と配電所Dの場合で検討した。また、今回はタップ調整を考えないので、全てのノード電圧が1.00に収束するようにし、収束条件の最大値を0.04とし、各ノードの電圧と位相差、無効電力の大きさを算出した。

5.2 シミュレーションによる結果

表1-1, 1-2には調相設備による電圧調整後のノード電圧を表している。Aの系統ではノード4で誤差が最小であるが、Dの系統では、ノード18とノード19の値が収束し、他の位置では発散していき初期状態の収束条件でしか

表 1-1 電圧調整後のノード電圧(2 で調相)

Node	V	angle	P+jQ	
1	1	0	0	0
2	0.994753	-2.69806	1	-1.365
3	0.990282	-3.28962	1	0
4	0.985917	-3.88645	1	0
5	0.981661	-4.4886	1	0

表 1-2 電圧調整後のノード電圧(3 で調相)

Node	V	angle	P+jQ	
1	1	0	0	0
2	0.991267	-2.60887	1	0
3	0.997301	-3.46295	1	-1.024
4	0.982401	-3.80071	1	0
5	0.978129	-4.40464	1	0

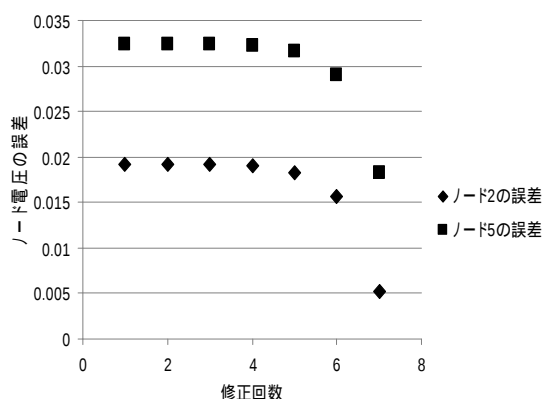


図 5 誤差の修正 (2 で調相)

安定せず、発散した。発散した理由は、調相設備を設置したノードの電圧調整が終わったのにもかかわらず、他のノード電圧が収束せず、他のノード電圧を調整するために無効電力を変化させても収束条件を満足したノード電圧が変化し、収束条件を満足しないからである。

図 5 は収束条件を 0.02 としたとき、ノード 2 に調相設備を設置した場合の調整回数に対する誤差の修正具合を表したものである。ノード 2 はすぐに収束条件を満足しているが、ノード

5 は収束条件内満足するまでに時間がかかっている。この原因として考えられるのは、ノード 5 は配電変電所から離れており、電圧降下による誤差が大きかったことと調相設備からも離れていたため、調相設備の影響を受けにくかったからであり、ノード数が多くなると調相設備の影響も変わっていくと推測される。

今回は調相設備が 1 個だけであった。2 個以上の場合には複雑になるので、適切なノードに設定しないと安定している場所があるとは限らなくなる。また、今回タップ調整を反映していないが、タップ調整を考慮すると誤差の値は少なくなると推測する。

6. まとめ

今回の研究では電圧調整の開発を目的としていたが、ノード数が少ない場合について電圧調整が可能した。しかし、調相設備が 1 個では系統全体の電圧を調整しきれないので、今後は 2 個以上で、設置場所を考慮する必要がある。

また、電圧調整法は今回述べたもの以外にもさまざまなものがあるので今後その方法も踏まえて電圧調整を考慮していく。

また、今回は復旧論理については手順しか触れられなかったので、送電損失を最小化する論理を開発する。そして、今回の方法は系統が隣接している場合を想定したので、隣接した配電変電所の応援可能電力がなくなった場合、停電区間をなくすることはできない。そこで、さらに隣接した配電変電所から供給を受けるようにするためのアルゴリズムを検討する。

参考文献

- (1) 電気学会, 電気工学ハンドブック 第 6 版, オーム社, (2001) p 1331, 1377-1378
- (2) 辻村順一ほか, 電力系統の制御 / 野田権祐編, 電気書院(1986) p 216