

配電用変電所故障時の停電区間および送電損失を最小化する

系統復旧論理の開発

日大生産工(院) ○山越 直樹

日大生産工 佐藤 正弘

1 まえがき

電力系統は送電系統と配電系統から構成されており、配電系統は配電用変電所から放射状に構成されている。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OFFとなっている。配電用変電所が機器故障により停止した場合、その配電用変電所が受け持っていた配電系統全体の需要家が停電する。そこで、開閉器を操作し、停電区間を周りの健全な配電系統に接続して電力の融通をして復旧させる。その際に停電区間および電力損失を最小化する系統構成にするための復旧論理を開発することが目的である。

2 配電系統の構成と課題

発電所で発生した電力は、一次変電所に送電され、一次変電所から送電線によって需要家の近くの配電用変電所に送られ、配電用変電所から配電線によって各需要家に送られる。配電系統の構成を本研究で使用した系統である図1を用いて説明する。配電用変電所がA, B, C, D, Eであり、各配電用変電所からノード1, 11, 21, 31, 41までの線路である配電用変電所から分岐や負荷がない線路をフィーダという。また、図1に表している主要であるすべてのブランチを幹線といい、幹線から分岐している部分を枝線といい、枝線から需要家へ電力が流れている。配電系統は配電用変電所から放射状に構成されており、需要家が増えるに従って線路を延長していき、地域の需要家の分布に適した状態にしていく方式である。

幹線には区分開閉器が設置されており、常時はONとなっている。また、配電系統は図1のように1個だけではなく複数個あり、連系開閉器によって接続されているが、常時はOFFとなっている。配電用変電所が故障した場合や、線路が断線したときその下の系統は停電する。その時、区分開閉器や連系開閉器を操作し、電力を融通させることによって、停電を復旧させる。

そこで、配電用変電所が故障したときに停電区間および送電損失が最小となる系統の復旧論理の開発を目的とする。

3 復旧論理

復旧のフローチャートを図2に示す。故障した配電用変電所を選択し、その変電所が受け持っていた系統に隣接した健全な系統を検出する。応援可能電力の大きさと復旧させる停電区間を比較し、復旧できる候補が複数なら、パスのロスが最小のものを選択する。復旧できないなら、隣接した健全な系統の負荷をさらに隣接した健全な系統に負担させる。これを玉突きと呼ぶとする。停電区間が無くなるか玉突きが実行できなくなるまで繰り返し実行する。

3.1 隣接した系統による復旧

復旧手順について図1を用いて説明する。配電用変電所Bが故障したと仮定する。この時、Bの系統である負荷12～20が停電する。隣接した系統から電力を融通させ系統を再構成させるため、その系統内の開閉器をすべ

Development of system restoration logic that minimizes power failure section and power transmission loss when substation for supply of electric power breaks down

Naoki YAMAKOSHI and Masahiro SATO

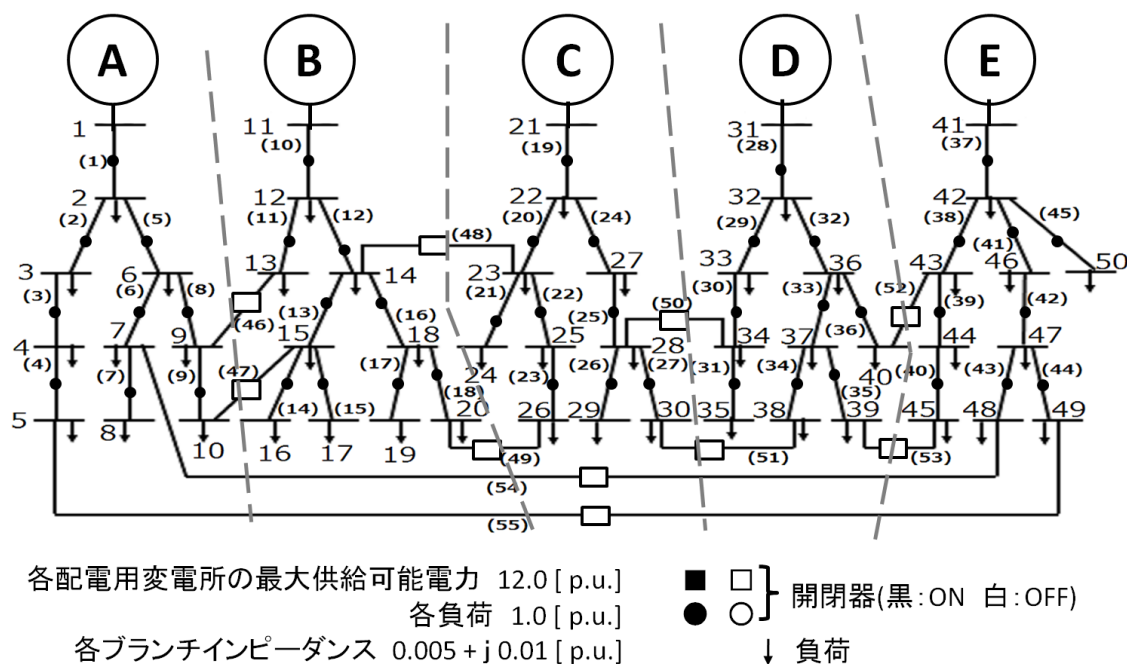


図1 使用した系統

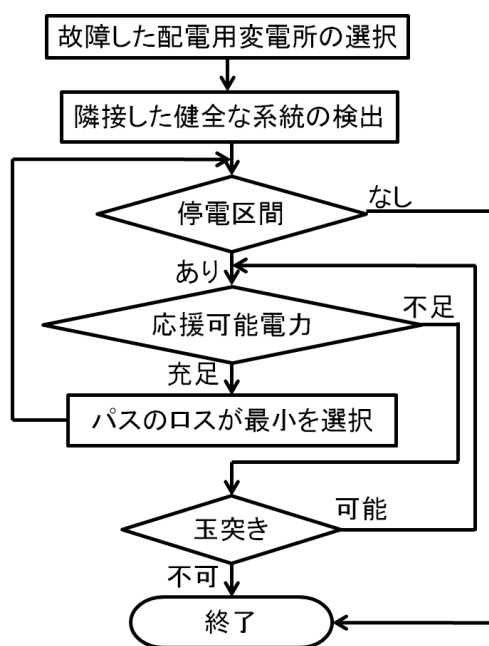


図2 フローチャート

てOFFにする。次に、健全な系統と停電区間に接続されている開閉器を検出し、隣接した健全な系統の配電用変電所を検出する。この場合、停電区間は負荷13, 14, 15, 20が、ブランチは46, 47, 48, 49が、配電用変電所A, Cが検出される。隣接した健全な配電用変電所が複数の場合、応援可能電力が高いほうを選択する。Cのほうが高いと仮定する。その後、配電用変電所から復旧される負荷の候補から配電用変電所までの線路のパスを検出す

る。接続する線路の候補が48, 49なので、復旧される負荷の候補は14, 20であり、負荷から配電用変電所までの接続する線路のパスがそれぞれ48, 20, 19と49, 22, 20, 19となる。負荷を接続するとその負荷に流れる電流だけ接続する線路のパスの電流が増加するので、線路のパスのロス进行計算し、ロスが低いほうの負荷を健全な配電系統に加える。48, 20, 19のほうが低いと仮定すると負荷14がCの系統に加わる。ここまでの手順を停電区間が無くなるか、隣接した健全な系統の配電用変電所の応援可能電力によって復旧できなくなるまで、1個の系統に停電した負荷を片寄せないために交互に復旧させる。

3.2 玉突きによる復旧

図1を用いて説明する。3.1で復旧できなかった場合(17, 19の負荷と仮定する)、停電区間に隣接した健全な系統(1次隣接系統)A, Cに隣接した健全な系統(2次隣接系統)E, Dを検出し、負荷を1次隣接系統から2次隣接系統へと移動させ、1次隣接の応援可能電力を増加させて、1次隣接による復旧を行う。まず、負荷17に1次隣接している系統をA、負荷19に1次隣接している系統をCと仮定する。2次隣接している系統を検出するとき、1次隣接と2次隣接の間にある開閉器を検出して行う。17に1次隣接しているAに隣接している健全な系統に接続される開閉器は54, 55が検出され、2次隣接の系統はEが検出

系統内負荷

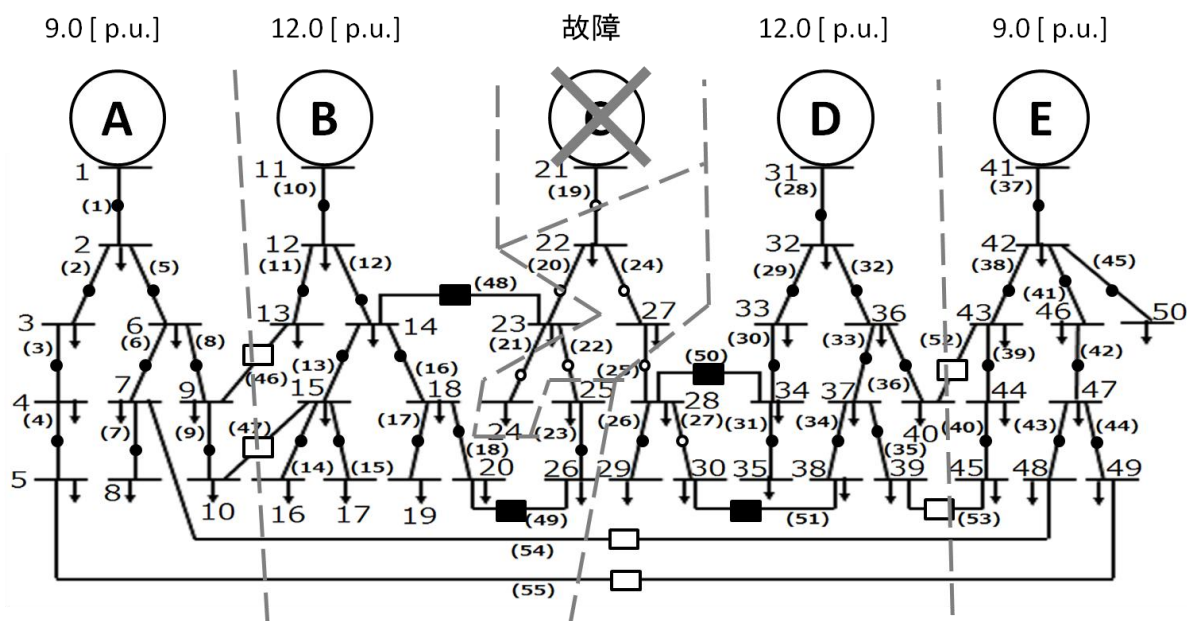


図3 隣接した系統による復旧後の系統構成

される。その際に検出した開閉器54, 55とAの系統側のノード番号を記憶しておく。ONになっているブランチ数が単体ならその負荷を計算し、複数ならそこから下位系統の負荷の分まで計算する。この図の場合、開閉器54, 55が記憶され、55だとAの系統側の負荷は5であり5に接続するONになっているブランチ数は1個なので、負荷は5のみである。54だと負荷は7であるが7に接続するONになっているブランチ数が2個なので、7から下位系統である7, 8の負荷の合計を計算する。19に2次隣接している系統も同様に検出する。このときに、負荷の合計値が一番小さいものを選択する。55をONにした時が最小と仮定する。そのとき、ブランチ4のスイッチをOFFにし、55をONにして負荷5をAの系統からEの系統に移動させる。そして、3.1の手順を再び行い、停電区間が無くなるか、2次隣接している系統の配電用変電所が負担できなくなるまで行う。

4 シミュレーション

4.1 シミュレーション条件

図1の系統で行い、Cの配電用変電所が故障したと仮定してシミュレーションを行った。制約条件として、その系統の負荷の合計が配電用変電所の最大供給可能電

力を超えないこと、健全な系統の負荷が停電にならないこと、放射状の構成にすること、他の系統と接続されないことである。また、各配電用電電所の最大供給可能電力を12.0 [p.u.]、各ノードに接続されている負荷を1.0 [p.u.]、各ブランチのインピーダンスを $0.005 + j 0.01$ [p.u.]とした。

4.2 隣接した系統による復旧

3.1を4.1の条件で行ったシミュレーションの過程を示す。まず、Cの配電用変電所が故障し、停電した負荷が22~30であり、区分開閉器19~27をOFFにした。隣接した系統はB,Dが検出され応援可能電力が共に3.0 [p.u.]であったためBが選択された。接続する線路の候補は48, 49が検出され、48のときの接続線路のパスは48, 12, 10でロス 0.825 [p.u.]であり、49のときのパスは49, 18, 16, 12, 10でロス 0.925 [p.u.]だったためパスのロスが最小の48がONとなり、負荷26がBの系統に接続され復旧された。次に、Dが選択され、応援可能電力によって復旧できなくなるまでB,D交互に接続されていった結果、図3の様な系統構成となった。負荷23, 25, 26がBの系統に接続され、28, 29, 30がDの系統に接続され、22, 24, 27が停電状態のままであった。

系統内負荷

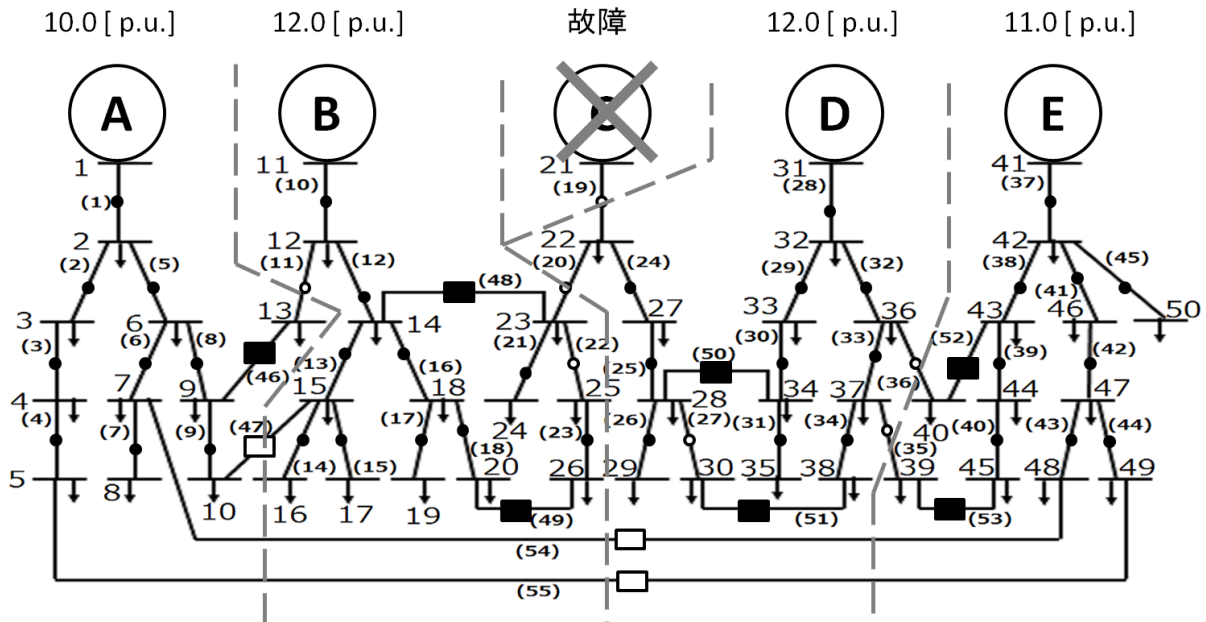


図4 玉突きによる復旧後の系統構成

表1 系統全体の送電損失

今回の手法	4.790 [p.u.]
ケース 1	4.795 [p.u.]
ケース 2	5.755 [p.u.]
ケース 3	5.450 [p.u.]
ケース 4	5.315 [p.u.]

た。また、今回の手法の損失が最小であることを確認するために停電区間がないようにGAなどを用いて系統を構成した状態の損失と比較した結果、表1のように低慰安した方法による停電の復旧後の系統全体の送電損失が4.790 [p.u.]で最小であり、提案方法の有効性が確認できた。

4.3 玉突きによる復旧

3.1と3.2を4.1の条件でシミュレーションを図3の状態から行った。その過程を示す。まず、停電区間に1次隣接した系統B, Dから2次隣接している系統A, Dと接続する線路の候補46, 47, 56, 57が検出され、その際に接続される負荷の合計値がそれぞれ、1.0 [p.u.], 3.0 [p.u.], 1.0 [p.u.], 1.0 [p.u.]となり、開閉器47がONとなり、11がOFFとなった。そのとき、負荷13がBの系統からAの系統へ移動したので、配電用変電所Aの応援可能電力が1.0 [p.u.]減少し、Bの応援可能電力が1.0 [p.u.]増加した。その後再び3.1の手順をやり、停電区間が無くなるか、負荷の接続状態によって2次隣接の応援可能電力が存在していても玉突きができないことが原因で復旧できなくなるまで3.1と3.2の手順を交互に行った。そのときの系統構成が図4である。停電区間が無くなる構成となっ

5 まとめ

配電用変電所故障時の停電区間および送電損失を最小化する系統復旧論理を提案した。停電区間については、1次隣接だけでは復旧できず、2次隣接を用いた玉突きによる復旧で停電区間が無くなったことを確認した。また、送電損失については、他のケースと比較して最小であり、今回の手法の有効性が確認できた。

今回の研究では、負荷、線路インピーダンス、ノード電圧が一定であったので、今後、それらをすべて一定にせず、例えば負荷の値に乱数プログラムを用いるなど、様々な条件を入力して検討していく。

参考文献

(1) 正田英介ほか、電気工学ハンドブック、電気学会、(2001)、p1329～1390