

BTB 式ループコントローラと需給バランスの検討

正員 岡田 有功 (電中研) 学生員 市川 雅英 (農工大) 正員 黒川 浩助 (農工大)

BTB loop power flow controller and study of supply and demand balance

Naotaka Okada, member, (CRIEPI), Masahide Ichikawa, student member, (TUAT), Kosuke Kurokawa, member, (TUAT)

1. はじめに

配電システムの効率的な運用による分散型電源の有効利用を実現するため、樹枝状配電システムの常開点にループコントローラ (LPC) を設置し、ループ・メッシュ運用を行うことを提案している。BTB 式ループコントローラを用いたループ配電システムでは、故障が発生して回線の遮断器が開放されると、ループコントローラに囲まれた回線は、ループコントローラを介して他の回線と非同期の連系となる。この場合、故障が発生している区間は直ちに無電圧になることが望ましい。一方、故障が発生していない健全な区間は、ループコントローラおよび分散型電源 (DG) により負荷に給電を継続できる可能性もある。

変電所の遮断器が開放された後の分散型電源と負荷のバランス問題は、単独運転現象としてその検出方法を中心とした研究が行われている⁽¹⁻³⁾。最近、分散型電源の自立運転を視野に入れた負荷特性と単独運転の安定性の研究⁽⁴⁾が行われるようになり、我々は、ローカルな需給バランスの重要性を認識した。

本論文は、配電用変電所の遮断器が開放され、ループコントローラにより他の回線と非同期連系している区間の特性を解析的にアプローチする方法の検討とその結果の一例を報告する。

2. LPC によるループ配電システムモデル

6.6 kV 架空配電システムは、樹枝状 (常開ループ) で運用されている。この様子を図 1 に示す。変電所から伸びた回線は、常時閉の開閉器 () により 3 区間程度に分割してある。各区間は、常時開の開閉器 () で他の回線と連系できる構成が多い。これらの点を閉じることで配電システムは容易にループ・メッシュ化できることから、我々は、このような点 () を LPC の設置地点と考える。区間 2 (S2) に故障が発生した場合を考える。樹枝状の系統では、回線の遮断器 (CB) を開放して故障区間への給電を停止する。従って、常開点に LPC を設置してループ化した場合についても、CB が開放された後、直ちに故障回線が無電圧になることが重要である。一方、殆どの故障が地絡故障であること

から、開閉器 SW1 と SW2 を開放することで健全な区間への影響を最小とすることも考えられる⁽⁵⁾。例えば、SW2 を開放すると区間 3 (S3) は、LPC3 により他の回線と非同期で連系することになる。この場合、S3 を継続運転するには、区間内で需給バランスをとる必要がある。

このように、CB 開放後の故障回線の無電圧化および健全区間の無停電化を効果的に行うためには、LPC、DG と負荷による需給バランスの検討が重要である。

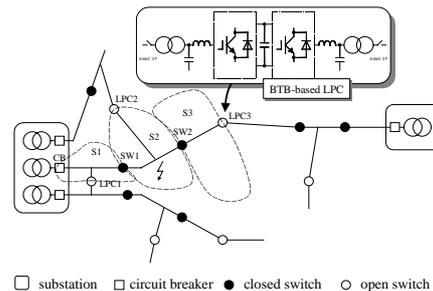


図 1 LPC によるループ配電システムのモデル

Fig. 1. Model of loop distribution system by LPC.

3. 特性モデル

3.1 区間の需給バランス LPC により給電される区間を図 2 に示す。SW は、遮断器または開閉器である。SW が閉じている場合の需給バランスは、次式ようになる。

$$P_{SW} + P_{LPC} + P_{DG} = P_L \dots \dots \dots (1)$$

$$Q_{SW} + Q_{LPC} + Q_{DG} = Q_L \dots \dots \dots (2)$$

ここで、 P_{SW} と Q_{SW} は回線から供給される有効電力と無効電力、 P_{LPC} と Q_{LPC} は LPC が供給する有効電力と無効電力、 P_{DG} と Q_{DG} は分散型電源が供給する有効電力と無効電力、 P_L と Q_L は負荷で消費する有効電力と無効電力である。

3.2 負荷モデル 負荷特性は、電圧と周波数の関数として表現される⁽⁶⁾⁽⁷⁾。我々は、個別機器の負荷特性とその組合せから全体的な負荷特性を求めることに主眼を置いて、電圧 v と周波数 f の関数の負荷特性を次式で示す係数マトリックスを用いて表現する。

$$P_L = V A_L F \dots \dots \dots (3)$$

ここで、電圧ベクトル V は、 $V = (v^0, v^1, v^2)$ 、周波数ベクトル

F は、 $F=(f^0, f^1, f^{-1})^T$ 、そして、負荷特性の係数マトリックス A_L は、

$$A_L = \begin{pmatrix} a_{00L} & a_{01L} & a_{02L} \\ a_{10L} & a_{11L} & a_{12L} \\ a_{20L} & a_{21L} & a_{22L} \end{pmatrix}$$

である。同様に負荷の無効電力を次のように表す。

$$Q_L = V B_L F \dots\dots\dots (4)$$

ここで、 B_L は、無効電力の係数マトリックスである。RLC 負荷の A_L と B_L は、

$$A_L = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ R^{-1} & 0 & 0 \end{pmatrix}, B_L = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & -2\pi C & (2\pi L)^{-1} \end{pmatrix}$$

となる。

3・3 LPC モデル LPC 特性は、 $P_{LPC}=VA_{LPC}F$ および $Q_{LPC}=VB_{LPC}F$ と表す。 A_{LPC} と B_{LPC} は、LPC 特性の有効電力と無効電力の係数マトリックスである。

3・4 DG モデル DG 特性は、 $P_{DG}=VA_{DG}F$ および $Q_{DG}=VB_{DG}F$ と表す。 A_{DG} と B_{DG} は、DG 特性の有効電力と無効電力の係数マトリックスである。

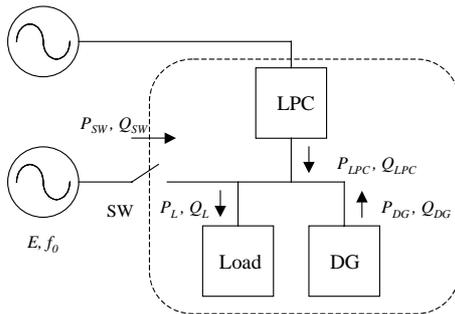


図 2 需給バランスの検討モデル

Fig. 2. Study model of supply and demand balance.

4. 需給バランスの検討

4・1 LPC と負荷の需給バランス 有効電力のバランスを考える。抵抗負荷、定電流負荷と定電力負荷の混在する場合、式(3)は、

$$P_L = a_{20L}V^2 + a_{10L}V + a_{00L} \dots\dots\dots (5)$$

となる。ここで、係数 a_{20L} 、 a_{10L} と a_{00L} は、抵抗負荷、定電流負荷と定電力負荷の比率を示している。

一方、LPC を定電力制御とすると A_{LPC} の要素は a_{00LPC} を除いて零となる。

$$P_{LPC} = a_{00LPC} \dots\dots\dots (6)$$

このとき、式(5)と式(6)を図3に示す。

抵抗負荷と定電力負荷が同じ割合で存在する負荷特性 $P_L = 0.5v^2 + 0.5$ に着目する。抵抗負荷のみの特性 $P_L = v^2$ に比べ、定格電圧 ($v=1$) における傾きが小さくなっていることがわかる。これは、遮断器 (SW) が開放する直前の有効電力 P_{SW} に対し、遮断後の電圧変化が大きいことを示す。

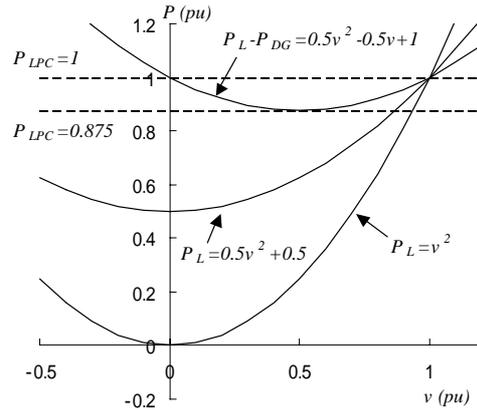


図 3 LPC の定電力制御と負荷特性に対する需給バランス
Fig. 3. Supply and demand balance for constant power control of LPC and load characteristic.

4・2 LPC、DG と負荷の需給バランス 抵抗負荷、定電力負荷と定電流電源が 0.5, 1, 0.5 の比率の場合を $P_L - P_{DG} = 0.5v^2 - 0.5v + 1$ に示す。この曲線の頂点の座標は (0.5, 0.875) である。つまり、SW 開放直前の P_{SW} が 0.125 (図3の $P_{LPC} = 0.875$) で安定限界となる。

5. まとめ

配電用変電所の遮断器が開放され、ループコントローラにより他の回線と非同期連系している区間の特性を解析するため、LPC、負荷と分散型電源の特性を係数マトリックスで統一的に表現することを試みた。

定電力制御の LPC、負荷と分散型電源の有効電力バランスを考察した結果、この係数表現により異なる特性を持つ負荷と電源の比率とそれらの平衡状態の関係を適切に表現できると考える。

需給バランスの解析は、分散型電源を用いた独立システムを検討する上でも重要であり、各種の負荷と分散型電源のモデル化を行い、LPC との需給バランスを検討したい。

文 献

- (1) 岡土、他：「太陽光発電用インバータの新しい単独運転検出保護」, 電学論 B, Vol.114, No.7/8 pp.732-738 (1994-7/8)
- (2) 小林、他：「太陽光発電の高密度連系に適応する単独運転防止方式-受動・能動シリーズ方式-」, 電学論 B, Vol.120, No.3 pp.433-440 (2000-3)
- (3) 本橋、他：「配電線に連系される同期発電機の単独運転検出装置(無効電力変動方式)」, 電学論 B, Vol.119, No.1 pp.14-23 (1999-1)
- (4) 北原、他：「インバータ型分散電源の単独運転現象の実験的検討-負荷特性の影響と単独運転の安定性-」, 電気学会, 環境・新エネルギー研究会, FTE-03-9 pp.45-50 (2003)
- (5) 岡田、他：「ループコントローラによる系統故障時の区間自立運転に関する考察」, 電気学会, 半導体電力変換研究会, SPC-03-21, pp.41-47 (2003-2)
- (6) 富山：「系統解析のための静的負荷特性の推定手法」, 電学論 B, Vol.119, No.3 pp.326-332 (1999-3)
- (7) 浅田、山下：「わが国 60Hz 系統における負荷特性の実態分析」, 電学論 B, Vol.121, No.10 pp.1371-1378 (2001-10)