

遮断器の状態診断・無停電点検に関する研究

動作音分析による遮断器の状態監視技術の検討

Study on condition diagnosis technology and live-line maintenance for circuit breaker

Condition monitoring technique for circuit breaker by using operating sound analysis

(電力技術研究所 電力設備G)

(Electrical Engineering Group, Electric Power Research & Development Center)

変電所の遮断器は、電力系統において負荷電流や故障電流を遮断することで電力の流れを操作する重要な機器である。

The circuit breaker in a substation is an important equipment that controls the electric power flow by interrupting the load current and fault current in the power system.

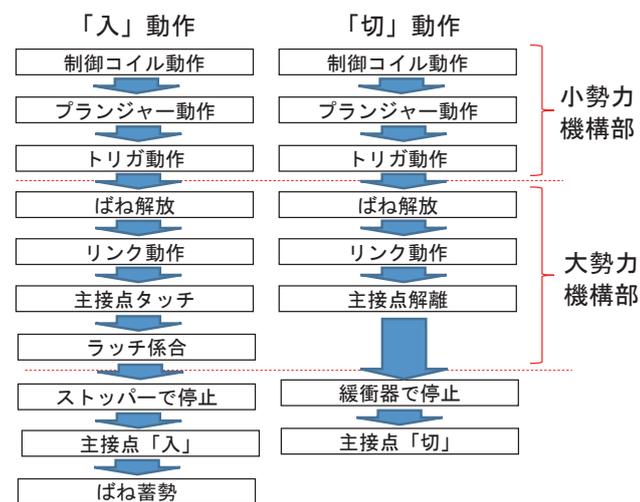
今回、遮断器の保全に役立てるため、状態診断および無停電点検を研究した。このうち、動作音による遮断器の状態監視技術の検討結果について紹介する。

This time, the condition diagnosis and live-line maintenance for circuit breakers have been studied in order to utilize them for O&M. This paper presents the study results on the condition monitoring technology for circuit breakers by the operating sound.

1 遮断器の動作音

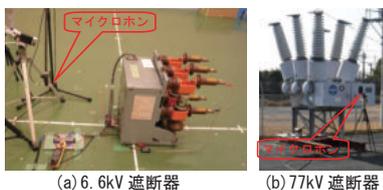
遮断器は開閉することで電流を入/切する機器であり、家庭用分電盤にも広く使われているブレーカーと同じ役割を持つ。変電所の遮断器はブレーカーよりも大きく、6.6 kVから500 kVクラスまで存在する。

遮断器から発生する動作音は入/切動作ともに約0.1秒単位の短い時間の単発衝撃音である。この動作音は主に遮断器の操作機構部から発生している。遮断器が動作する場合、第1図のように操作機構部の各部位が順に動いていく。つまり動作部位が時系列に変化することから、途中停止（すなわち遮断器の不動作）した際には音の消滅・変化のタイミングや周波数等から不具合部位および様相が特定できると考えられる。



第1図 遮断器の入・切動作のプロセス（電動ばね式）

主な遮断器における動作音の測定の様子を第2図に示す。いずれも計測用マイクロホンにて動作音を測定した。

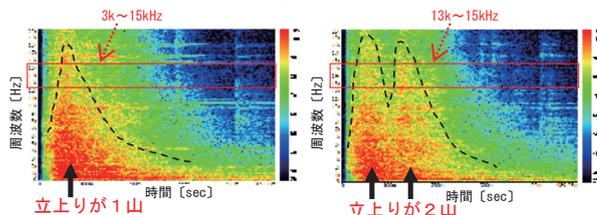


第2図 主な遮断器の動作音測定

2 2つの動作音分析手法の発案

6.6kV 遮断器のサンプル器を用いて、遮断器動作の正常と異常を判別するための動作音の分析手法の検討を行った。その結果、新たな動作音分析手法として、FFTカラーマップと13kHz～15kHzの発生音圧波形（以下、13kHz～15kHz P.O.A（パーシャルオーバーオール）タイムトレンドと呼ぶ）を見い出した。

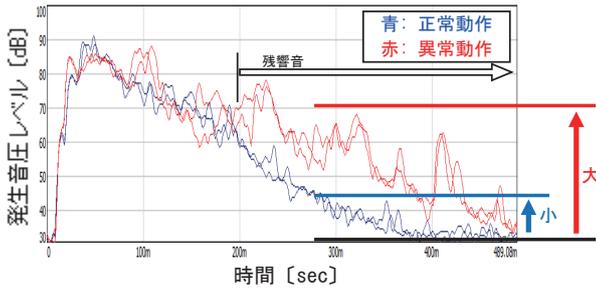
FFTカラーマップは、周波数ごとに時系列に音圧の強弱を評価する手法である。音圧レベルを色表示した周波数スペクトルと時間の三次元グラフであるFFTカラーマップを作成して、動作音を分析すると、第3図のように立上りの山の数で正常と異常の見分けができることがわかり、模様の違いで定性的に認識できることがわかった。



第3図 6.6kV 遮断器動作音のFFTカラーマップ（切動作）

13kHz～15kHzのP.O.Aタイムトレンドは、13kHz～15kHz帯域の発生音圧を時系列で数値評価する分析手法であり、定量的に動作音の違いを判断ができることが分かった。

第3図のFFTカラーマップにおいて、遮断器の動作音には正常および異常の両方において11kHz、17kHz、19kHzあたりに連続的なノイズ音を有していることがわかる。そのため、遮断器が動作した時における連続的なノイズ音を避けるような周波数帯域の13kHz～15kHzを選択した発生音圧レベルと時間の二次元波形を作成して分析した。その結果、第4図のように正常と異常の違いが残響音の大きさで判断できるようになり、定量的な判定ができる可能性であることがわかった。この二次元波形によるグラフが13kHz～15kHz P.O.Aタイムトレンドである。



第4図 6.6kV遮断器動作音の13kHz～15kHz P.O.Aタイムトレンド

3 状態監視のためのパターン認識手法の検討

さらなる異常部位の特定を動作音にて行うことができる可能性を確認するために、77kV遮断器をサンプルとして各種異常動作のシミュレーションを行い、異常判定のパターン認識方法を検討した。

遮断器の動作機構は、制御コイルなどの「小勢力機構部」と、リンク機構部などの「大勢力機構部」の2つに大別される。小勢力機構部の異常種類としては、制御コイルの電圧低下による電気的な不具合とともに第5図(a)に示すような機械的な不具合を模擬した。大勢力機構部の異常種類としては、第5図(b)に示す機械的な不具合を模擬した。



(a)小勢力機構部の異常模擬 (b)大勢力機構部の異常模擬
第5図 各種異常動作のシミュレーション

それぞれの部位の異常に応じて、動作音が特徴的な変化として現れることが分かった。小勢力機構部での異常では、第1表に示すように不動作障害の兆候において波形全体が遅れ始め、不動作障害に至るとその後の波形がすべて喪失する。結果的には、最初のトリガが動いた時の小さな音のピークだけが残っている。一方、大勢力機構部での異常では、第2表に示すように不動作障害の兆候では後続の音が遅れ始め、不動作障害に至ると後続の音のみが無くなっていることがわかる。

4 遮断器の動作プロセスの解明

各部位の異常動作のシミュレーション結果から、動作音の13kHz～15kHz P.O.Aタイムトレンドに遮断器の操作機構の動きを重ね合わせると第6図に示すように、以下の4つに波形を大別できることがわかった。

- ①小勢力機構部が動く
- ②大勢力機構部が動く

- ③ストッパーもしくは緩衝器にて機構が停止する
- ④ばねを巻き上げる（蓄勢機構部が動く）

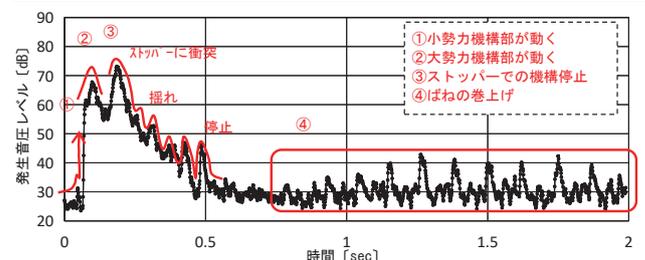
この考え方で異常のパターン認識方法を整理することで、動作音分析を用いた異常判定はあらゆるメーカーの遮断器にも適用することが可能である。

第1表 小勢力機構部異常時の分析結果（入動作）

	FFTカラーマップの一例	13 kHz-15 kHz P.O.Aタイムトレンド
正常		<p>黒：正常 赤：不動作兆候 電気的な不具合 緑：不動作兆候 機械的な不具合</p>
不動作兆候		<p>黒：正常 赤：不動作障害 電気的な不具合 緑：不動作障害 機械的な不具合</p>
不動作障害		

第2表 大勢力機構部異常時の分析結果（入動作）

	FFTカラーマップの一例	13 kHz-15 kHz P.O.Aタイムトレンド
正常		<p>黒：正常 青：不動作兆候 赤：不動作障害</p>
不動作兆候		
不動作障害		



第6図 動作音から見た遮断器の動作プロセス（入動作）

5 あとがき

今回、遮断器への動作音による状態診断技術適用の見通しを得た。今後も変電所機器の保全に役立つ技術開発を進めていく。



執筆／杉本敏文