最近の変電設備における予測保全技術

特集解説

正員 山 極 時 生 ((株)日立製作所 国分工場)

正員 山 田 洋 ((株)日立製作所 国分工場)

1. まえがき

最近の電力の利用環境は、高度情報化社会の進展、生活環境・社会機能の電力依存度の増大により、供給信頼度および質的改善に対する要請を一層強めている。

一方、電気所の設備容量の増大、機器・装置の縮小化、密閉化といった設備構成の変化に伴い、稼働中の設備事故の未然防止や万一の事故時の処置などの保全技術に関し、新たな対応が求められるようになってきた。これに応えるものとして、運転中の変電設備を監視・診断し、細密点検の要否や寿命の予測など自動的に行うオンラインシステムへの期待が一層高まっている。

ここでは、変電設備の予測保全システムとして用いられる最近の高精度異常診断技術および今後の動向について紹介する。

2. センサ技術の現状

2.1 監視・診断項目

変電機器の故障は図1に示すように絶縁故障、熱的(通電)故障、機械的故障の3種類に大別できる。これらの中には予測が極めて困難な突発性の故障もあるが、劣化や経時変化を伴う故障を中心として、異常の初期状態で兆候を検出し、事故を未然防止する診断技術の検討が進められている^{(1)~(3)}。予測診断項目としては、ガス絶縁開閉装置(GIS)および変圧器に関し、図2に示すような各種項目が挙げられ、それぞれに対応したセンサ(電氣的、機械的、化学的、etc.)が開発され、現在もなお改良検討が進められている^{(4)~(6)}。

図1 変電機器のトラブルポテンシャル

2.2 センサ技術

変電機器のオンライン監視用として、図2に示すような各種のセンサが実用化されているが、より高精度の診断を可能にするための課題も残されている。

GISの絶縁機能に関する課題には、部分放電検出の感度向上とGISに混入する異物の検出および識別が挙げられる。また、通電機能に関しては従来外部からの温度監視が主体となっているが、気象条件などの影響を軽減する技術の開発が課題となっている。

一方、変圧器に関しては、油中ガス分析による診断技術が主流を占めているが、診断に要する時間の短縮と感度向上が課題となっている。

3. センサ技術の高感度、高精度化の動向

従来のセンシング技術は、ある検出量が設定基準を超えた場合に異常と判定する方式が主流になっている。一方、最近では検出量を周波数解析し、そのパターンによって異常の判定ばかりでなく、各種識別を可能とする高感度、高精度の手法が実用化に近づいている。以下にGISおよび変圧器における最新の技術を紹介する。

3.1 ガス絶縁開閉装置(GIS)

(1)周波数解析による微小部分放電検出技術⁽⁶⁾

図3は周波数解析を用いた新検出法について示した

Recent Predictive Maintenance Technology for Substation. By Tokio Yamagiwa, Member & Hiroshi Yamada, Member (Kokubu Works, Hitachi, Ltd.).

キーワード: 予測保全, 変電機器, センサ, 設備診断, 絶縁異常, 通電異常, オンラインシステム, エキスパートシステム, 運転支援, 保守支援

図 2 変電機器の主な予測診断項目とセンサ

(a) 検出器の構成

	測定条件	周波数スペクトラム	特 徴
①	外部部分放電 (印加線) $Q=400 \text{ pC}$		GIS外で発生する部分放電は、レベルが大きいても周波数が500 MHz以上の成分は少ない。
②	内部部分放電 $Q=8 \text{ pC}$		GIS内で発生する部分放電は、750～1,500 MHz帯に現れる。
③	①+② 外部と内部部分放電が重畳		GIS内外で同時に発生しても、GIS内部分放電を区別して検出することが可能である。

(b) 検出結果例

図 3 周波数解析による微小放電検出技術

ものである。GIS のポケット部に設けられた検出部からの信号をスペクトラムアナライザにより周波数解析し診断する方法である。GIS 外の大気中で発生する部分放電はおおよそ 500 MHz 以下の帯域に現れ、GIS 内に発生する部分放電は 750 ～ 1,500 MHz 帯に現れている。従って、GIS 内の部分放電電荷量が数 pC 相当でも、同時に発生している数百 pC の大気中部分放電と識別することが可能となっている。今後はこのような検出法の適用により大幅な精度向上が期待されるが、異常部位の的確な標定および寿命診断技術などの開発も合せて進むものと考えている。

(2) 周波数解析による微小異物検出技術⁽⁹⁾

図 4 は加速度センサおよび超音波センサを用いた

GIS 内の微小異物検出法を示したものである。(a)図は検出状況を示したものであり、前述の 2 種類のセンサおよびこれらの信号を処理する装置で構成されている。本手法は、二つの周波数帯域の信号を利用する点において、一種の周波数解析法と言える。(b)図はこの方法による判別結果の一例を示したものである。絶縁性能上問題となる導電性異物とその他の雑音を判別することが可能になっている。今後は単なる異物の検出のみに留まらず、各種の検出への応用が期待される。

(3) 振動解析による通電異常検出技術⁽¹⁰⁾

図 5 は振動解析による通電異常検出法を示したものである。タンク外壁に取り付けた加速度センサを用い

図 4 周波数解析による微小異物検出技術

図 5 振動解析による通電異常検出技術

で通電異常により発生するタンクの振動を測定し、振動波形の周波数解析により異常診断を行う。(a)正常時の振動は商用周波数の整数倍の比較的周波数の低い成分だけであるが、(b)通電異常時には商用周波数の整数倍の比較的高周波数領域まで振動成分が検出されている。このように、振動成分を常時監視することに

より通電異常を早期に精度良く検出できる可能性がある。本検出法によれば、従来のタンク表面温度検出とは異なり、周囲環境からの影響を大幅に軽減することができるため、有力な異常検出法と考えられる。今後、本手法による余寿命診断技術の拡充が課題である。

図 6 6成分油中ガス分析による異常診断技術

3.2 変圧器

変圧器のような油入機器の内部異常現象は、内部発熱を伴い、絶縁油を分解して可燃性ガスを発生させる。このガスを抽出分析して異常診断を行う油中ガス分析による診断技術が主流を占めている。現状の6成分ガスを検出できる異常診断装置に比べ、大幅に機能向上を図った新形の油中ガス分析装置が実用化されている⁽¹¹⁾。

図6は新形の油中ガス分析装置を示したものである。変圧器の排油弁から約50 mlの油を採取し、油中ガス抽出器によって現地で即座にガス抽出を行うものである。抽出されたガスは高感度熱線形半導体式センサによって6成分ガス(H_2 , CO , CH_4 , C_2H_4 , C_2H_6 , C_2H_2)に分析される。これにより変圧器の異常診断を即座に行うことが可能となっている。今後は CO_2 センサとの組合せによる余寿命予測手法の実用化に向けて、フィールドデータの蓄積と装置の改良が図られていくものと考えられる。

4. 設備監視・診断システム

前述したような各種センサを用いた変電設備の診断技術は、可搬形、移動形高精度診断装置への適用ばかりでなく、オンラインシステムへの適用も本格的な実用化の段階に入っている。変電設備にオンライン監視・診断システムを適用する目的は、設備の高信頼度化(事故の未然防止)と保守の省力化が主となっており、これを満たすシステムの構築が重要となる。

4.1 オンラインシステムの現状と今後の動向

変電設備、主として変圧器、GISを対象とした監

視・診断システムは構成・規模・適用センサなどの面で多様であり、長いものでは7年近い稼働実績をもっている。

図7は予測保全システムの動向とグレード区分について示したものである。グレードIは携帯形の装置で巡視時に適用可能なもの、グレードII_Aは簡易なオンラインシステムとして位置づけられ、現状で最も普及しているシステムである。このシステムで異常兆候が検出された場合には、より高精度の診断装置を用いて外部診断を実施し、最終判定を行うことになる。グレードII_Bはこの目的に適するように構成された可搬形の高精度診断装置である。

グレードIIIは第3章で示した高感度、高精度センサを用い、かつ後述するAI(Artificial Intelligence)を導入した診断のエキスパートシステムおよび運転・保守支援などを含めて構築される機器の総合監視システムである。今後の変電所への適用が期待されるシステムである。

4.2 AIを導入したエキスパートシステムの構築

監視・診断システムから得られるデータは専門家のノウハウにより評価された形で運転・保守員に提供されることが望ましい。すなわち、人間系に対し整理された情報を提供できるシステムとすることによって、事故時の対応はもとより、平常時にも有用なシステムとなる。これに対してはエキスパートシステムを導入することにより実用化が進められている。

図8は設備診断エキスパートシステムの構成と推論結果の一例を示したものである。診断系にはエキスパートシステム特有の機能が付与されている。知識ベース、診断ルールは設備に固有の異常進展メカニズムを分析・整理することによって構築されている。

変電設備の中で変圧器は比較的診断アルゴリズムが確立しており、図中に示すように、油中ガス分析結果をもとに異常部位の表示や処置ガイダンスが推論結果として出力されるものも既に開発されている⁽¹²⁾。今後は更に多くの機器に適用されるものと期待される。

4.3 運転・保守支援システムへの拡張

図9に示すように、現状の機器監視システムに運転・保守支援エキスパート機能が加わることによって、予測保全システムは変電所のトータルシステムの中に積極的に組み込まれていくものと考えられる⁽¹³⁾。す

図 7 予測保全システムの動向とグレード区分

注：略語説明 EUREKA-II (Electronics Understanding and Reasoning by Knowledge Activation-II：知識処理システム構築ツール)

図 8 設備診断エキスパートシステムの構成と推論結果例

図9 予測保全と運転・保守支援システム

なわち、変電所の侵入監視、防災監視、更には保護リレーなどの情報取り込みも行われ、変電所全体のデジタル化、構内ネットワーク網の形成などの動向と歩調を合せて進むものとする。また、エキスパート手法による運転・保守支援情報の充実に伴い、平常時にはシミュレーションによる運転員・保守員の事故時対応訓練などへの活用も可能となる。今後この方面の機能向上も図られていくものとする。

5. あとがき

以上、最近の変電設備における予測保全技術を紹介した。変電設備の予測保全システムは単なるオンライン監視システムから一歩進んで運転・保守支援機能の充実を目指す段階に入っている。この段階においては、機器のエキスパートとしてのメーカ側のノウハウの蓄積のほか、ユーザ側のノウハウも必要であり、両者一体となった開発が重要になると考える。本稿が関係各位の今後の開発に参考になれば幸いである。

(平成2年3月29日受付)

文 献

- (1) Y. Fujimoto, et al.: "Operation of an On-Line Substation Diagnosis System", IEEE PES Summer Meeting, No.87 SM 520-0(1987-7)
- (2) K. Goto, et al.: "On-Line Monitoring and Diagnostics of Gas Circuit Breakers", *ibid.*, No.88 SM 622-3(1988-7)
- (3) T. Yamagiwa, et al.: "Development of Preventive Maintenance System for Highly Reliable Gas Insulated Switchgear", *ibid.*, No.90 WM 160-2 PWRD (1990-2)
- (4) 高橋, 他: 「GIS監視, 診断技術」, 電気学会絶縁材料・高電圧合同研資, No.EIM-89-1(平1)
- (5) 白井, 他: 「GISの外部診断技術」, 同上, No.EIM-89-2(平1)
- (6) 遠藤, 他: 「GISの予測保全システム」, 同上, No.EIM-89-3(平1)
- (7) 岩下, 他: 「GIS内部異常監視システムの開発」, 同上,

No.EIM-89-4(平1)

- (8) 佐久間, 他: 「ガス絶縁開閉装置の絶縁診断」, 同上, No.EIM-89-5(平1)
- (9) 山田, 他: 「ガス絶縁開閉装置内の微小異物検出法の開発」, 昭63電気学会産業応用部門全大, No.145(昭63-8)
- (10) Y. Ohshita, et al.: "A Diagnostic to Detect Abnormal Condition of Contacts Measuring Vibrations in Metal Enclosures of Gas Insulated Switchgear", IEEE PES Winter Meeting, No.89 WM 073-8 PWRD(1989-2)
- (11) 山形, 他: 「現地用高性能型油入変圧器診断装置の開発」, OHM, 75, No.10(昭63-10)
- (12) 小松, 他: 「変圧器異常診断におけるエキスパートシステムの適用」, 電気学会絶縁材料研資, No.EIM-88-73(昭63-10)
- (13) 山田, 他: 「送変電設備の予測保全システム」, 日立評論, 70, No.8(昭63-8)

山 極 時 生 (正員)

昭和24年2月12日生。46年3月東京理科大学理工学部電気工学科卒業。同年4月(株)日立製作所入社。62年8月まで日立研究所に勤務し、ガス絶縁機器の高電圧絶縁研究に従事。その後国分工場において、ガス絶縁開閉装置および設備診断装置の開発に従事。現在主任技師。IEEE会員。

山 田 洋 (正員)

昭和20年1月15日生。43年東京工業大学電気工学科卒業。同年(株)日立製作所入社。国分工場において高圧遮断器の開発, 設計に従事。現在, 送変電システム設計部において変電機器の予測保全システムの設計を担当。主任技師。