

変電機器の診断装置

Diagnosis Equipment for Substation Equipment

電力システムの信頼性向上策の一つとして、変電機器(特に、ガス絶縁開閉装置、変圧器)の予防保全対策がある。「運転状態が良好であることの確認」、「潜在異常兆候の早期検出と処置」、「稼動データ収集による保守インターバルの最適化」とを目的とした、いわゆるオンライン・オフライン用予防診断装置のニーズが高まっている。

変電機器固有の故障物理メカニズムを想定し、メカニズムフローを分解し、どのような状況で、種々の物理量を検出し、診断アルゴリズムにより判定するか、の研究を行なっている。本稿では、主にオンライン用のセンサ、伝送手段及び診断装置の概要について説明する。

塩野繁男* Shigeo Shiono
 竹内茂隆* Shigetaka Takeuchi
 鎌田 譲** Yuzuru Kamata
 倉田一宏*** Kazuhiro Kurata

1 緒 言

機器の信頼性向上策は大別すると、(1)「故障を起こさぬようにする。」ために、ユーザーが満足できる状態条件の明確化と、設計品質の確立手段として、テクノロジー アセスメント (Technology Assessment), プロダクト ライアビリティ (Product Liability), デザイン レビュー (Design Review), クオリティ コントロール (Quality Control) を総括したクオリティ アシュアランス (Quality Assurance) 活動による技術革新の完全消化対応であり、(2)「故障が起こってもすぐに直せる。」ために、潜在故障ポテンシャルの早期発見ツールの準備と、修復しやすい点検機能構造設計、予備品の確保、緊急保守体制及び訓練である。

変電機器では、点検遂行の重要度から以上の評価は、アベイラビリティ (Availability) が使われる。

この論文では、予防保全の向上策(潜在故障ポテンシャルの早期発見ツール)について、変電機器特有の故障物理メカニズムを分析して、どのような物理量を検出するかのセンサ開発、伝送手段及び診断装置を具体化したので紹介する。

2 予防保全の位置づけ

2.1 予防保全の期待効果

変電機器を計画的に点検修復し、使用中のトラブルを未然に防止するために、予防保全が必要であり、従来の電力系統技術としての監視、制御、保護動作に対し、更に区画内のきめ細かなチェックを予防保全技術で行なおうとするもので、表1にその期待効果の要約を示す。

2.2 予防保全項目の位置づけ¹⁾

SF₆ガス機器は、高絶縁特性と高消弧特性により、ガスしゃ断器、ガス絶縁開閉装置が普及している。これらSF₆ガス機器の保守上の特異性は、図1に示すように充電部の全密閉

表1 予防保全の期待効果 予防保全技術の導入により、電力系統技術の区画内の診断が可能となる。

| 電力系統技術 | 予防保全技術 | 期待効果 |
|-----------|-----------------|----------|
| 系統区画ごとの監視 | 各機器の機能維持確認 | 安全運転の確認 |
| 系統区画ごとの制御 | 診断結果のオペレーションガイド | 最適操作性の向上 |
| 系統区画ごとの保護 | 各機器のロケータ表示 | 修復処理の迅速化 |

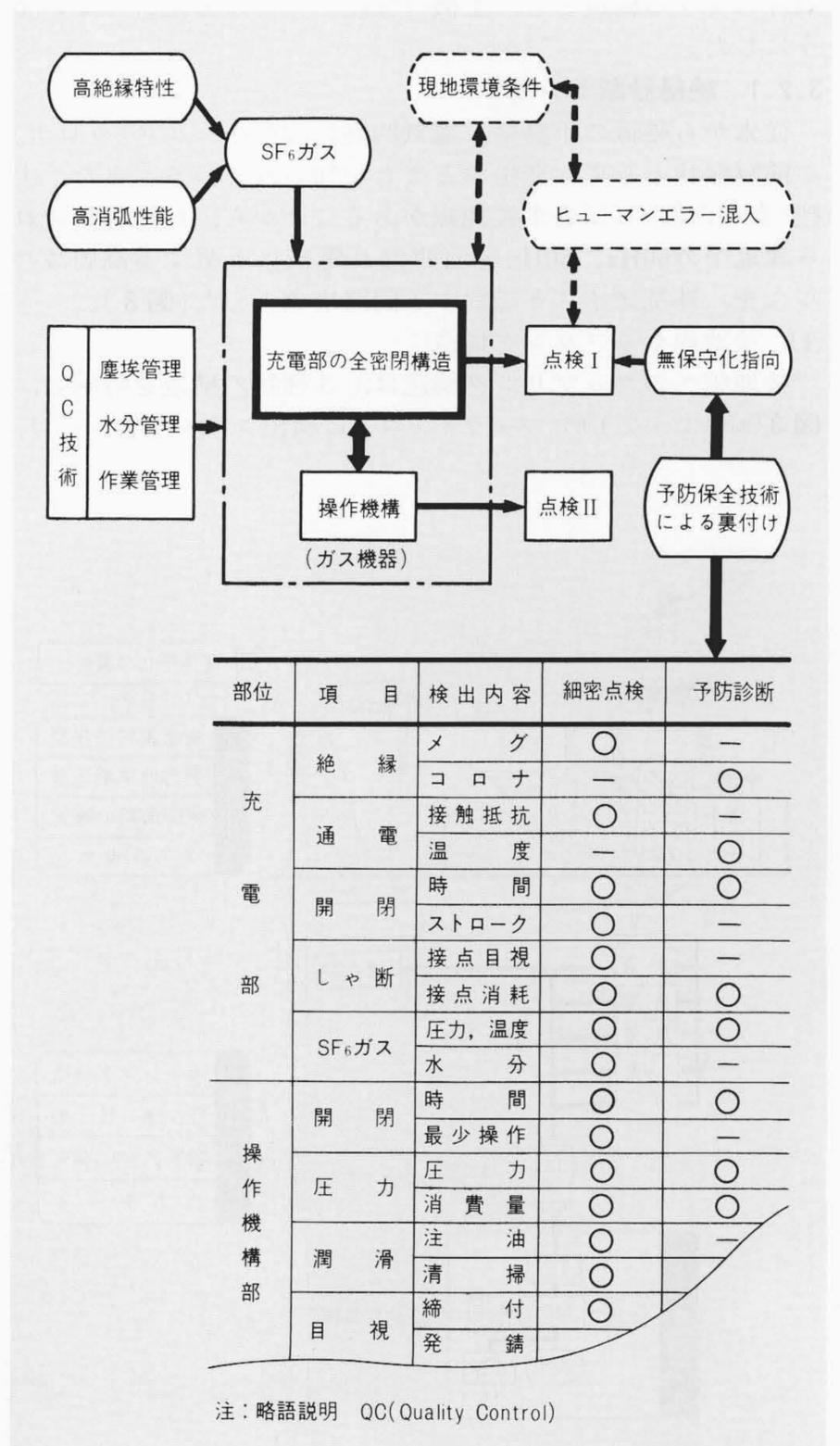


図1・ガス機器の予防保全の位置づけ ガス機器の充電部密閉構造の内部を診断し、無保守化指向の裏付け確認を行なう。

* 日立製作所国分工場 ** 日立製作所日立研究所 *** 日立製作所中央研究所

化構造に伴うメンテナンスフリー化であり、内部が健全であることの外部診断ツールによる確認裏付けのニーズが高まっている。したがって、同図に示すように、充電部の絶縁、通電、開閉、しゃ断及びSF₆ガス特性の診断が重要となる。一方、変圧器でも、主要部はほとんど密閉タンク内に収納されているので、内部診断が重要であることは同じである。

3 予防診断装置

予防保全技術の一つとして、機器診断のための予防診断装置は、センシング技術、伝送技術及び診断アルゴリズム技術から成る。

3.1 予防診断装置の構成

ガスしゃ断器、変圧器を対象とした機器診断装置の構成を図2に示す。ここに使われるセンサは、フォルトツリーアナリシス(Fault Tree Analysis)により定めたものである。

3.2 センサ

センサの設計思想は、主機を改造せずに外部から取付け、取外しできる構造とし、主機の性能を万一にも阻害しないようにした。

3.2.1 絶縁診断センサ

従来から絶縁の不良は、電気的高周波微小パルス(コロナ)が前駆症状として、発生することが知られている。また、主機(変電機器)には必ず接地線があることから、接地線に流れる課電中の50Hz、60Hz対地間漏れ電流に重畳する高周波パルスを、外乱ノイズと識別する回路構成とした(図3)。

(1) 接地線カップリング構造

接地線へのカップリング構造は、3種類の構造を吟味し、図3(a)のようなI形(フェライトコアに検出コイルを巻き付け、

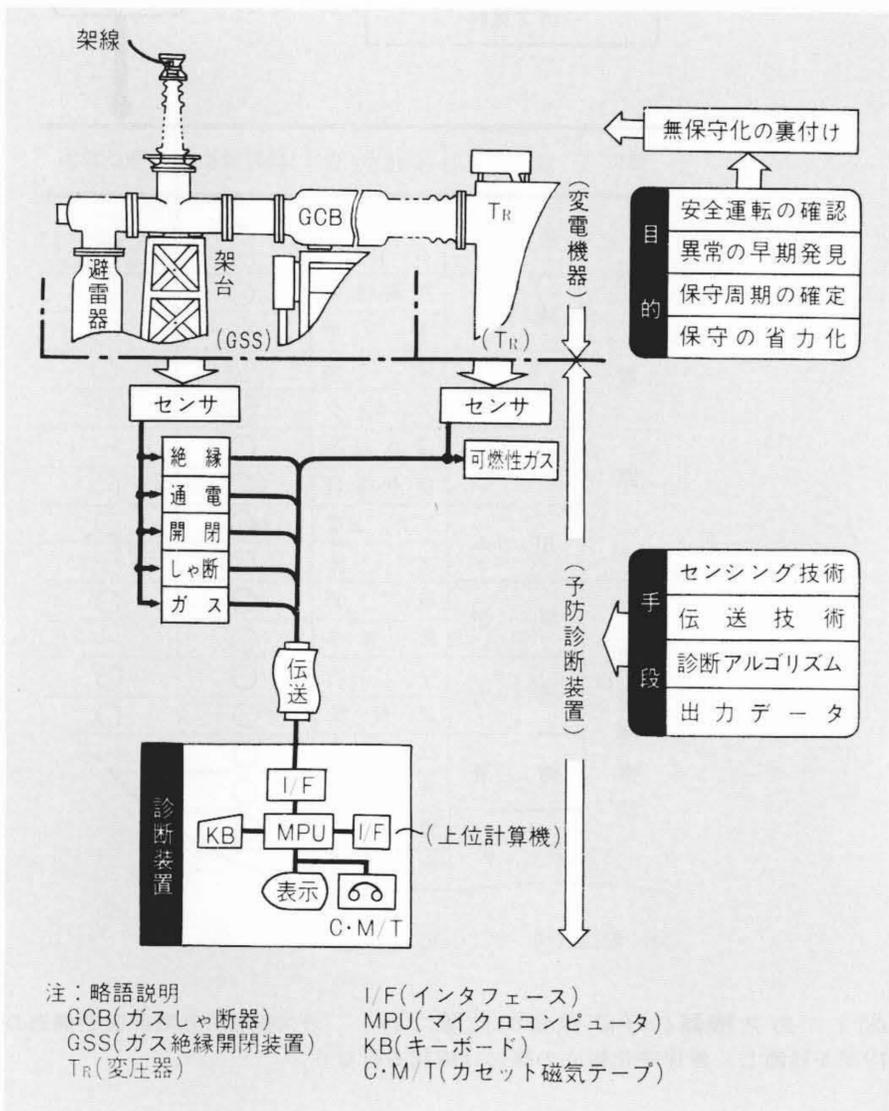
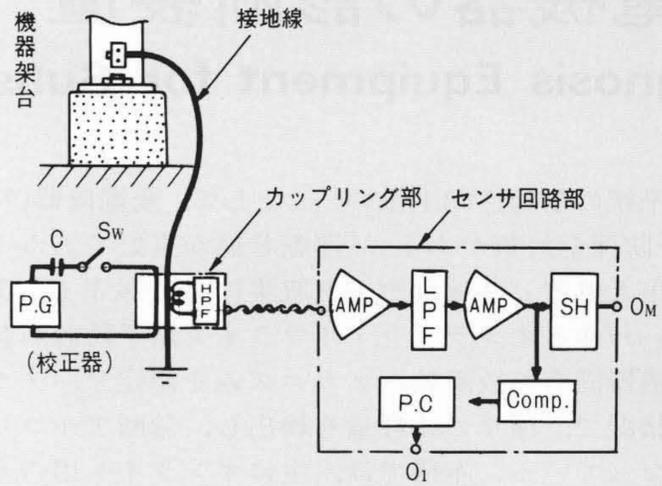
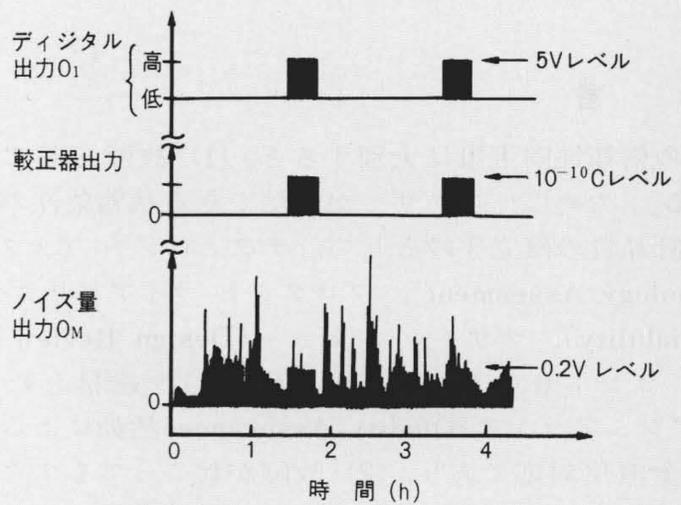


図2 変電機器の予防診断装置の構成 予防診断のセンシング項目とデータ処理装置とを可能とする技術課題を示す。



(a) コロナセンサ構成



(b) 実試験時のオシログラフ

注：略語説明
 P.G.(パルス発生器) HPF(ハイパスフィルタ) SH(スレッシュホールド回路)
 C(コンデンサ) AMP(演算増幅器) Comp.(コンパレータ)
 Sw(スイッチ) LPF(ローパスフィルタ) P.C(パルスカウンタ)

図3 絶縁診断センサ 接地線に流れる高周波コロナパルスを検出し、パルスカウンタによりS/N比を向上させる。実証時の工場内コロナノイズ状況で確認する。

ハイパスフィルタ内蔵出力)構造とし、検出部を着脱自在とした。

(2) センサ回路

コロナパルス周波数帯を検出し、ローパスフィルタとパルスカウンタでS/N比(信号対雑音比)の向上を図った。図3(b)に、場内変電設備に適用したS/N比検証状況を示す。ノイズレベルと校正パルスとの対比から、コロナレベル100 pC以上の感度で良好な動作を行なっている。

3.2.2 避雷器の漏れ電流診断センサ

酸化亜鉛避雷器素子の電気的等価回路は、抵抗と容量との並列回路であり、劣化故障モードは、抵抗分のうち高抵抗粒界層の比抵抗値の減少として現われる。その結果、正弦波漏れ電流が第三高調波によりひずむので、そのひずみ率から素子劣化を診断する方式とした(図4)。

(1) 接地線カップリング構造

リングコアと分割コアの2種類を試作した。前者は、製作上容易であるが、接地線を貫通させるためセンサの保守上不利であり、後者は、製作上難しいが、分割コア構造のため取付け、取外しなど保守取扱い上優れている。

(2) センサ回路

アクティブフィルタ(150~180Hzバンドパスフィルタ)を経由し、差動増幅器で信号増幅後、ピーク値検出器でメータ指示するとともに、レベル設定による出力端子を設けた。なお、

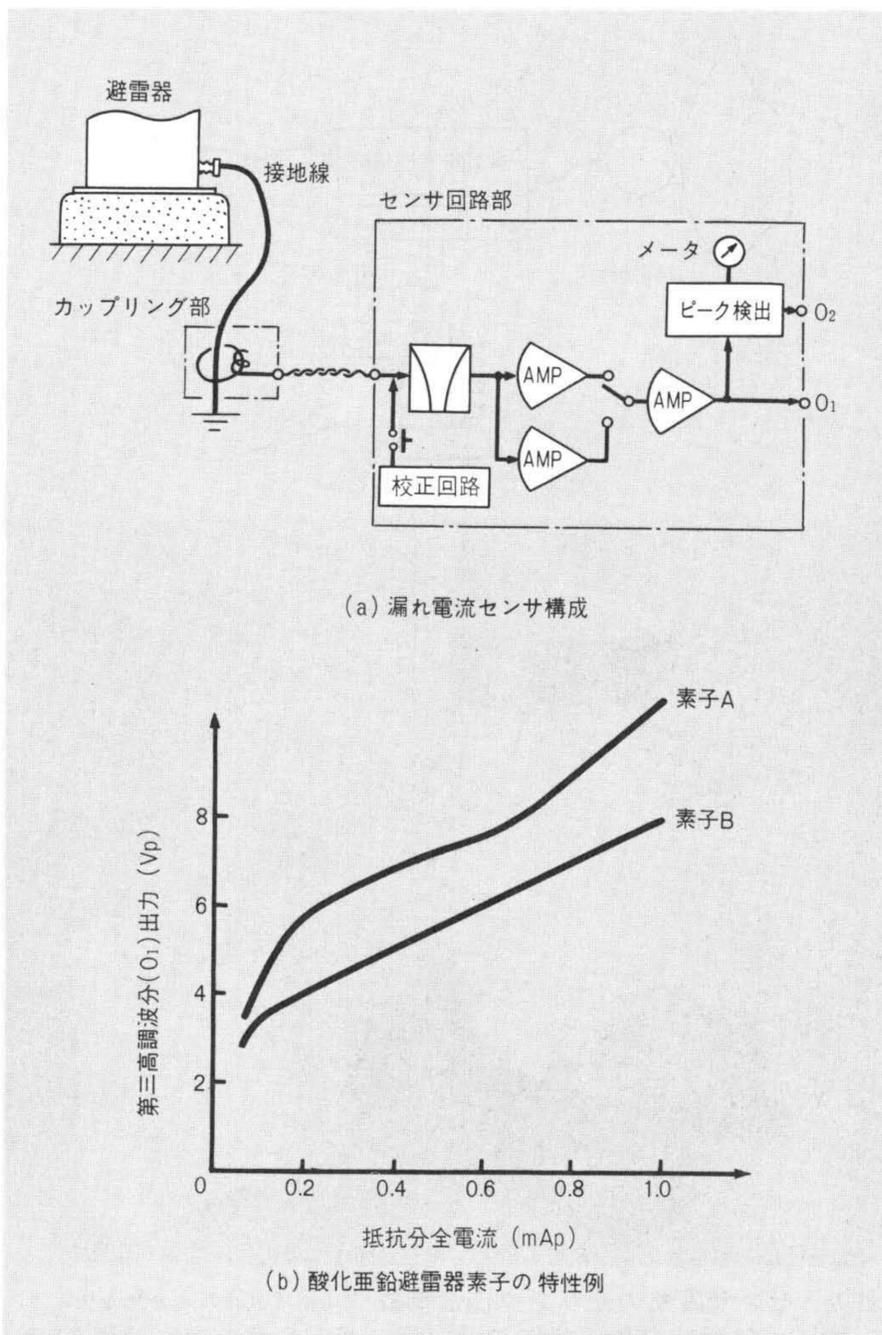


図4 酸化亜鉛避雷器の漏れ電流診断センサ 漏れ電流の第三変調波ひずみ率により、酸化亜鉛素子の劣化を判定する。酸化亜鉛素子ごとの特性によりプリセットする。

酸化亜鉛避雷器素子の形式により、抵抗分電流の第三高調波出力特性が変わるので、前もって設定値を校正しておく必要がある[図4(b)]。また、既に酸化亜鉛避雷器素子漏れ電流検出器は実用化しているので、図4(a)に示すように酸化亜鉛避雷器の動作前後に、本センサにより抵抗分漏れ電流だけを現場測定する診断も有効である。

3.2.3 温度特性診断センサ

内部の主回路接触部と主接点部との接触抵抗増大に伴う温度上昇の検出は、高感度の場合には、密閉タンクに測定穴を設けて温度計測する方式と、低感度の場合には、密閉タンク外被の上部が、内部の異常発熱により温度上昇することに着目し、バイメタルセンサで間接的に計測する方式がある。実用化に対しては、後者の方式を進めている。

3.2.4 開閉特性診断センサ

「電気協同研究」第33巻4号にも述べられているように、変電機器の稼働後の点検で、動作に伴う操作機構部分の不良が全不良の約80%を占めている。特に、ガスしゃ断器のような待期系の機器は、不意の動作要求の場合でも、確実に主回路の開閉を行ない、事故範囲の拡大を防止する責務があり、その動作前の異常予知は極めて難しい。日立製作所は、ガスしゃ断器の操作機構の不良が、主に摩耗、かじり、潤滑性などにより開閉動作の渋滞兆候があったのち動作不能に至ることに着目し、開閉時間の監視を行なうことで予知する方式を採

用した(図5)。

(1) 開閉信号カップリング構造

ガスしゃ断器の開閉信号は、現場キュービクル内を經由し直流100Vの「入、切」信号が配電盤から与えられる。そのため、ガスしゃ断器の開閉コイルに接続される配線に、ホール素子付カップリングコアを取り付け「入、切」信号を検出する。例えば、「切」信号の場合、図5(a)に示すように、外部から直流100V励磁信号を受け操作器機構が動作を開始して、主接点動作に機械的にリンクしたレバーにより、補助パレットスイッチの接点(52a)で励磁信号を切っているので、励磁信号幅 T_1 、 T_2 を監視することで、ガスしゃ断器の動作状態を監視することにした。

(2) センサ回路

図5(b)に示すように、ガスしゃ断器の励磁信号のオン、オフ時間(T_1 、 T_2)をカウントし、あらかじめガスしゃ断器固有のチェックすべき開閉時間(T_s)をデジタルスイッチで設定しておけば、 $T_s < T_{1,2}$ のとき異常であることのパルスが発生することで、開閉特性の前駆状況を知ることができる。なお、デジタルスイッチは、開極特性用は2桁、投入特性用は3桁とした。また、主回路の開閉に伴うアーク処理により、主接点の消耗を伴うので、アーク時間とそのときのしゃ断電流の積(キロアンペア×時間)をカウントする回路を付加することで、主接点アーク消弧に伴う接点摩耗を予測し、保守交換を予知できるようにもした。

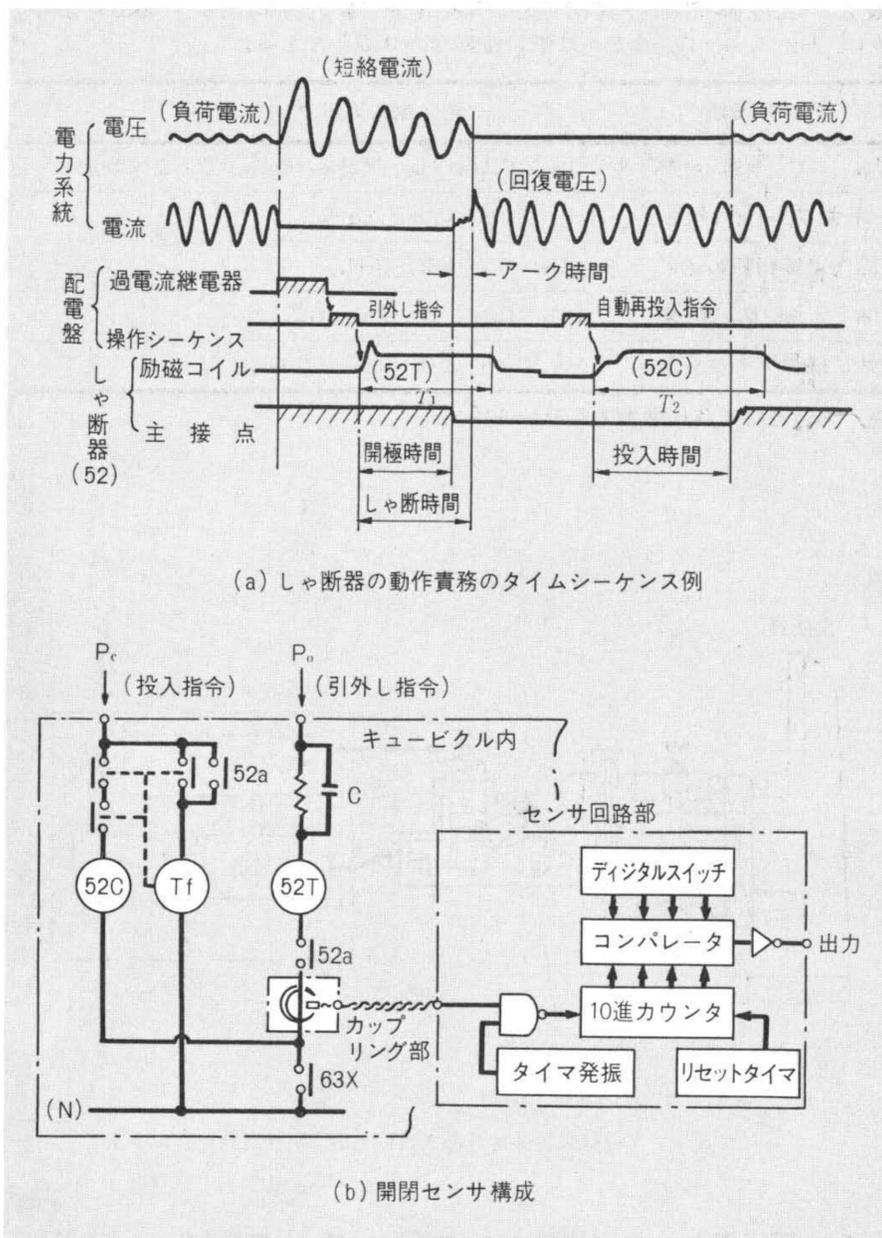


図5 開閉診断センサ しゃ断器の開閉動作ごとに、デジタルスイッチ設定時間と比較し、動作渋滞兆候を診断する。

3.2.5 SF₆ガス特性診断

オフライン用診断ツールとしては、SF₆ガス中の水分測定、分解ガス量測定を実用化している。オンライン用としては、外部からガス特性を知るためのガス密度アナログセンサを試作した。すなわち、圧力と温度を差圧検出器で求め、その変化量をポテンショメータにより取り出す。取付位置は、ガス監視キュービクル内とし、実装寸法は170×100×80(mm)である。

3.2.6 変圧器の可燃性ガス診断センサ²⁾

変圧器の内部異常により、各種ガスが発生することが知られており(表2)、変圧器の排油弁から油をサンプリングし、ガスクロマトグラフで成分を分析している。オンライン用として、油のサンプリングの複雑さをなくすために、油中の水素ガスだけを透過させる隔膜(ポリミイド膜)を開発し、半導体ガスセンサを用いて、カレンダータイマにより、自動測定する装置を試作し検証した。その原理を図6に示す。

3.3 伝送手段

前述のオンライン用センサの実使用に当たっては、特に外来ノイズ対策を要する。主回路開閉や、避雷器動作に伴うサージは、高周波高電圧を瞬時に発生させ、センサ取付部の接地点の電位を動揺させる。図7は、センサ部の耐ノイズ対策として、センサ出力伝送のための光データリンク小形送受信器[40×20×20(mm)]を試作するとともに、センサへの電源供給策として光リンク電源も試作し、センサ部のアース電位を大地間からフローティングする構成とした。

表2 変圧器内部の異常発生ガス成分(電気協同研究30巻6号より) 主に、H₂、CH₄、CO₂などが診断に重要なガス成分である。

| 異常の種類 | 発生ガス成分 |
|-----------|---|
| 油の過熱 | CH ₄ 、C ₂ H ₄ 、H ₂ 、(C ₃ H ₆ 、C ₂ H ₆ 、C ₃ H ₈ 、C ₂ H ₂) |
| 油中アーク分解 | H ₂ 、C ₂ H ₂ 、(CH ₄ 、C ₂ H ₄) |
| 固体絶縁材料の過熱 | CO ₂ 、CO、(H ₂ 、C ₂ H ₄) |
| 油・紙の過熱 | CH ₄ 、C ₂ H ₂ 、H ₂ 、CO、CO ₂ |
| 油・紙のアーク分解 | H ₂ 、C ₂ H ₂ 、CO、CO ₂ 、(C ₂ H ₄) |

注：括弧内はまれに発生する成分を示す。

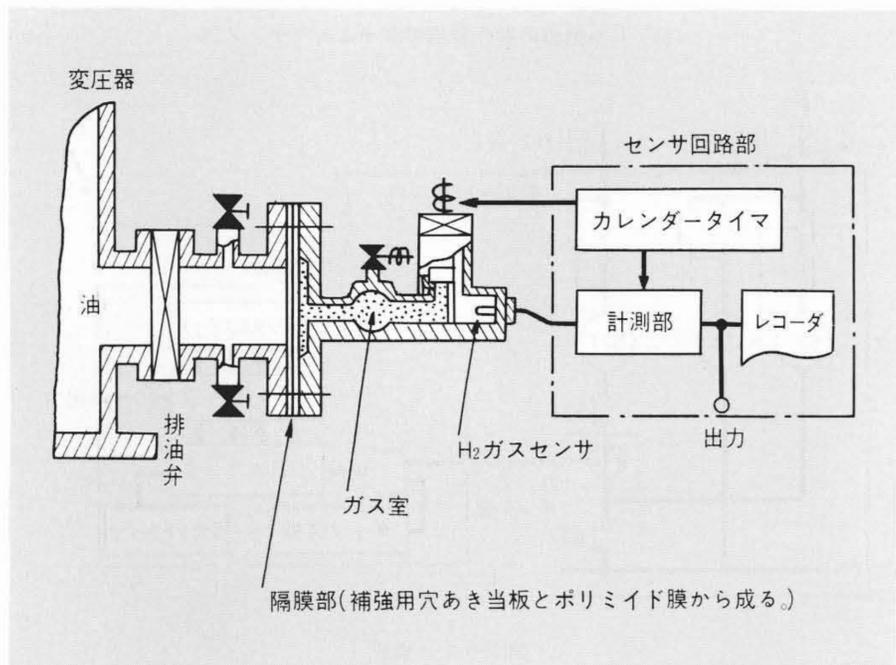


図6 変圧器の油中可燃性ガス診断センサ 隔膜(ポリミイド膜)により、油中のH₂ガスだけが透過析出され、各種開閉弁でガス濃度を定期的にチェックする。

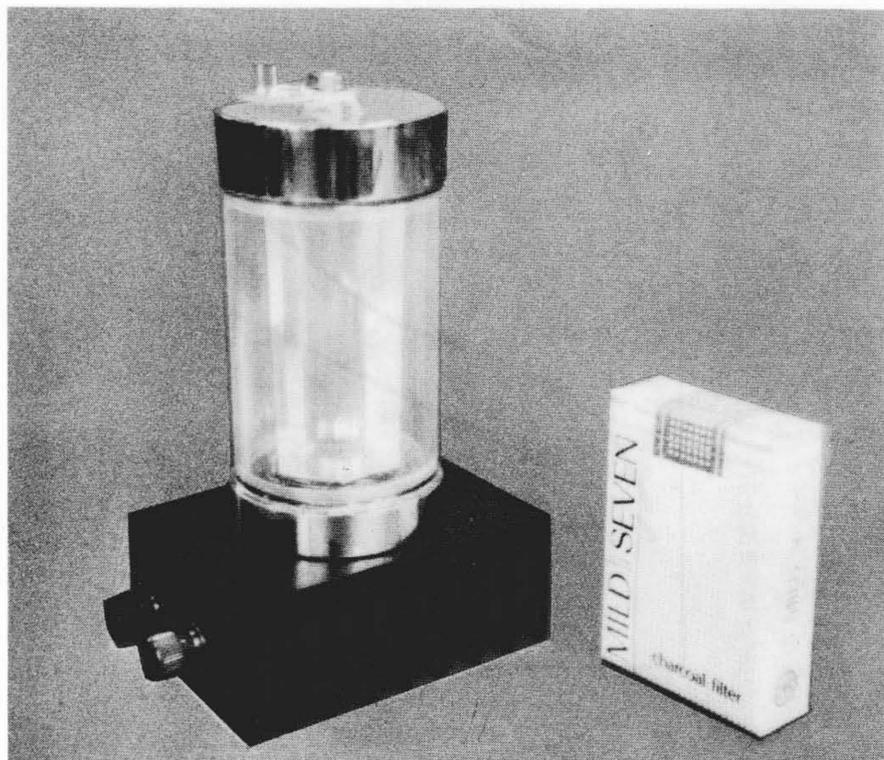
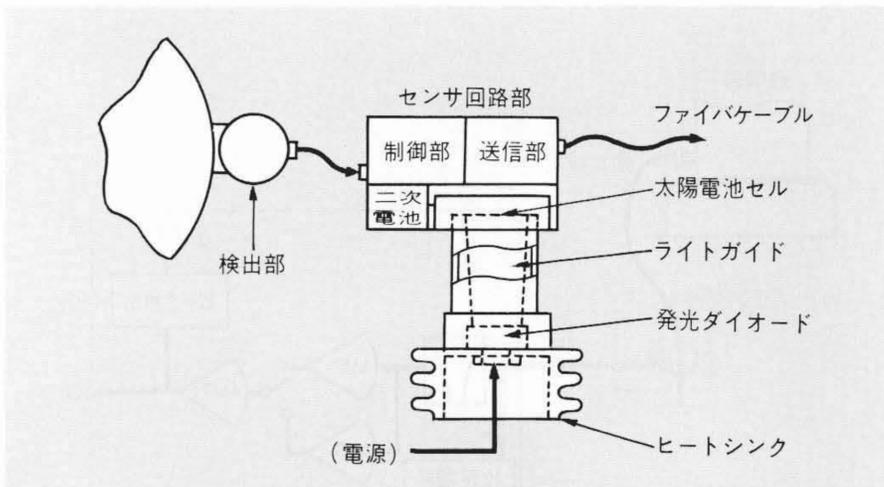


図7 センサ回路の光リンク伝送構成 センサ部の完全光をリンクフローティングさせる。信号伝送部、電源供給部、光リンク伝送とした構成である。

光リンク電源は、下部に赤外励起発光ダイオードを配列して発光させ、ライトガイドで集光して上部に受光効率の良い太陽電池セルを配列し、二次電池に充電する構造である。もちろん、センサ部のアース電位動揺の心配がない場合は、ツイストペアシールド線を用いることにした。

3.4 制御装置

前述のセンサ信号を取込みフォルトツリーから求めた診断論理アルゴリズムをHD46800マイクロプロセッサにより処理する装置を試作した。今後、保守に使いやすい表示方式を研究してゆく考えである。

4 結 言

以上、主にオンライン用診断センサについて論述したが、合理的な予防保全対策の見直しが求められている。機器診断については、従来、オフライン用ツールが種々開発され実用化されてきたが、センサの実用化に伴う信頼性実績がでてくれば、オンライン用診断に移行すると思われる。

今後、センサ類の現地実証試験を通して、変電機器に対する有効な予防保全技術を確立してゆきたい。

参考文献

- 1) 塩野：変電機器の保守技術の動向，研究会講演論文集，日本電気協会第58通常総会(昭和54年6月)
- 2) 森，外：変圧器油中ガス常時監視装置，研究会講演論文集，日本電気協会第58通常総会(昭和54年6月)