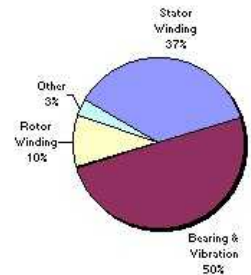


水力発電機における部分放電試験の活用と恩恵

ご紹介

部分放電（PD）試験はモーターや発電機の固定子巻線に対する予知保全の手段です。この手法は巻線の緩み、汚損、熱的劣化、製造不良、負荷サイクルによる問題等の固定子巻線の故障メカニズムを正確に見つけて警告する唯一のオンライン式電気試験といえます。この試験は 3KV から 26KV までの固定子巻線を対象に行なわれます。IEEE（電気電子学会）と EPRI（米国電力研究所）による統計は、回転機の故障のうち約 40%が固定子巻線の絶縁不良が原因で起きていると報告しています。（右図参照）



部分放電の検出

部分放電（PD）は基本的にはモーターや発電機の内部で発生する小さなスパークです。これらは固定子巻線の絶縁材の内部にある小さな空間（ヴォイド）や絶縁材の表面で発生します。また巻線端の相間でも発生します。装置内で発生するこれらの部分放電を計数し定量化しなければなりません。基本的には、部分放電の発生が時間と共に活発になれば（パルスがより多くより強くなれば）、固定子巻線の絶縁が劣化していることが知られています。これがわかると巻線の危険状態を最悪の故障が起きる前に防ぐことができます。この情報を装置が運転している状態（オンライン）で得ることができます。

“部分放電”と呼ばれる理由は単にそれが完全な放電（絶縁破壊）ではないからです。それは高電圧が地絡する絶縁破壊ではなく、絶縁材中のある中間電圧から別の中間電圧の間に起こる絶縁破壊です。1 気圧では気体の絶縁耐力は約 3kV/mm です。したがって 3KV 以下で運転している装置では部分放電試験は行ないません。

アイリス社は3KV以上の回転機（モーターと発電機）の予知保全を目的とした部分放電監視技術を提供する世界的なリーダー企業です。アイリス社の製品は世界中で5,000台以上の装置に設置されています。

部分放電試験の利点

部分放電試験はユーザーに以下のような恩恵をもたらします。

- 固定子巻線の運転時間を最大にすることで、古い装置の不必要な巻き直しを防ぎます。
- 固定子巻線の修理中の無用な故障を防ぎます。 停止から停止までの稼働時間を延ばします。
- 問題を発見し、固定子が故障する前に修理を行なうことが可能です
- まだ保証期間内の新しい装置の問題を発見できます。
- 保守修理や巻き直しの品質をその前後の部分放電の値から評価できます。
- 同規模の装置の試験結果と比較して、部分放電レベルの高い装置に注目して保守作業が出来ます
- 固定子巻線の故障を特定できるので、停止する前に適切な対応が出来ます
- 保険会社によっては部分放電試験を認識して払い戻しをしてくれることもあります
- モーターと発電機の全体の信頼性が向上します
- 装置を運転したまま（オンライン）でこれを行なうことができます

倍電圧やハイポット試験のようなオフライン試験をオンライン部分放電試験で代用しようとするユーザーがまれに居ます。アイリス社は部分放電試験をその他の電氣的試験と置き換えようとは考えておりません。これらの試験も場合によっては良い結果が得られます。しかしながら、オンライン部分放電試験では固定子巻線が健全であることを示している

のに、これらの試験を実施するために運転中の装置を修理に出して停止時間を延ばす必要はあるのでしょうか？ アイリス社はオンライン部分放電試験で何らかの問題が見つかった場合に、これらのオフライン試験(コロナ・プローブやメガー等)を行なって問題があることを確認する方法をお勧めします。これでその先の保守の基礎となる確かな“第二の意見”が得られます。

調査によると多くの場合、ほとんどの固定子巻線は信頼性が高い(95%)とされています。大型装置のユーザーにとって、装置が残りの5%の装置なのかそうでないのかを知ることが重要になります。問題が無いということを知ることには意味があります。ある種の装置は他の装置と比較するとその設計上、運転方法によりたいへん信頼性が高いことが知られています。しかしこれらの装置も、固定子巻線の絶縁材が徐々に熱的に劣化して、最終的には故障します。部分放電試験のユーザーはオンラインで問題を見つけることができ、状態の良好な装置は大掛かりな停止までの期間を延長することが可能になります。オンライン部分放電試験はこのようなことが出来る唯一の電氣的試験です。

オンライン部分放電試験の応用

アイリス社が提供する部分放電技術はプラントの技術員のことを念頭に置いて設計されました。すなわち誰でも使用できる装置です。ユーザーは博士号をもった専門家に現場に来てもらい、スクリーンに現われた信号を解析してもらう必要はありません。装置の部分放電から不要な雑音信号を破棄することなく弁別で、ユーザーフレンドリーな環境を作り出すように機能します。

これを実現するためにアイリス社はいくつかのオプションをお客様にご用意しております。

- 1 ポータブル機のモデルPDA-IV™ またはTGA-B™をご購入いただき定期検査をお客様に実施していただく
- 2 お客様のポータブル機PDA-IV™ またはTGA-B™をお借りしてアイリスが分析を行なう
- 3 オンライン連続監視装置 (HydroTrac™、BusTrac™またはPDTrac™)をご購入いただき、アラームやアナログ出力を持った独立モードや、遠隔操作モードあるいは自動モードで運用する
- 4 試験サービス アイリス社が現場に行き定期検査を行なう



上記のいずれの場合も部分放電センサーであるバス・カプラー(右図参照)を恒常的に設置します。バス・カプラーは部分放電の周波数帯域(50mHz~250MHz)で動作する一種の80pFのコンデンサーです。この高電圧用キャパシターは測定に必要な部分放電信号を取り出すハイパスフィルターになります。アイリス社は既にこのセンサーを世界中に25,000個以上も販売しています。これまで一個も不具合を起こしておりません。実際、IEEEはこの寿命を理論上60,000年としています。そのころまでには我々は全員引退していますが...

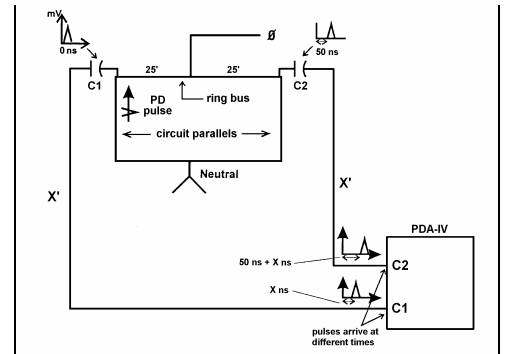
たった2日のトレーニングでお客様は部分放電試験と解析の専門家になれます。簡単です。その理由は単純です。アイリス社の特許であるノイズ弁別技術がシステムに組み込まれていて(センサーの設置方法と装置)、信号を発生した場所によって選別します。したがって誤った表示がなくなります。アイリス社のシステムは以下のように動作します。 ;

1. PDA の設置 差動式ノイズ分離

アイリス社のPDA技術は単にパルスの到達時間を利用しています。固定子巻線の部分放電信号からノイズを分離しなければなりません。どのように動作するかを2つの段階に分けて、すなわち「部分放電の検出」と「ノイズの分離」に分けて説明いたします。

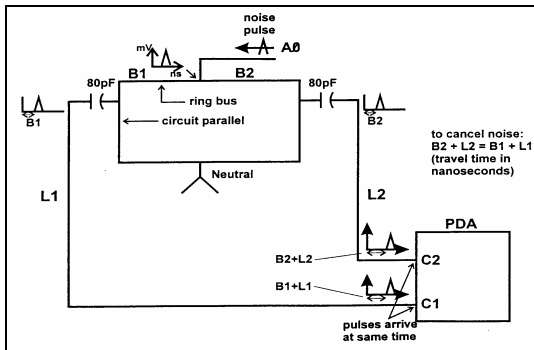
部分放電の検出:

右の図はPDA技術が発電機の固定子巻線からの部分放電信号をどのように検出するかを示しています。巻線内部で発生した部分放電パルスはサーキット・リング・バスから出てきます。各相に最少でも2個のセンサーをサーキット・リング・バスに設置します。この場合は、C1が最初のコイルからの部分信号パルスを直ちに検出します。パルスはその後サーキット・リング・バスを伝わりセンサーC2にも向かいます。しかしそのパルスはC1が最初に検出した後、少し遅れて到着します。右の例では、部分放電パルスはC1からC2まで50フィート（25+25フィート：約1.5M）を伝わらなければなりません。部分放電信号は1ft/ns（約30cm/ns）の速度で伝わるので、最初にC1で検出されてから50ns後にC2に到着します。両方のセンサーからのケーブルは電気的に同じ長さなので、パルスは2つのセンサー間のバスの長さに相当する遅延時間の後にPDA-IV™に到着します。この例では、C1に最初に到着するので最初のコイルあるいはC1に近いコイルからの部分信号として検出されます。



ノイズの分離:

部分放電試験を行なう際は、ノイズを除去するか分離することが必要不可欠です。もしそれが出来ないと、固定子巻線の診断は疑わしいものになってしまいます。高周波（40MHz）を対象にしているため邪魔になる唯一のノイズはシステム側から発生します。大型の水力発電機の巻線にはサーキット・リング・バスがあり複数のコイルが一箇所で接続されています。



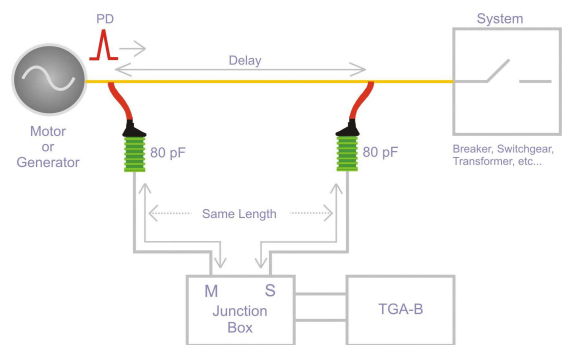
その間のどこかで、外部の母線に繋がる接続部があります。ここがノイズ信号の入ってくる場所です。これらは比較的安価なパルスですが、経験の浅い者にとっては部分放電試験を少々困難なものにします。PDA技術はこれらのノイズを精度よく選別するのでこの困難を排除します。左の図では、ノイズは接続している母線から入ってきて、C1とC2に分かれて向かいます。この例では、ノイズ信号はそれぞれのセンサー（C1とC2）で検出されるまでにサーキット・リング・バスを25フィート（約7.5M）伝わらなければなりません。信号はPDA-IV™に向かって伝わり、パルスが同じ強度かどうか、パルスの立ち上がりが同時に到着したかどうかを調べます。これが真なら、測定機はこれらのパルスをシステム側からきたノイズとして識別します。

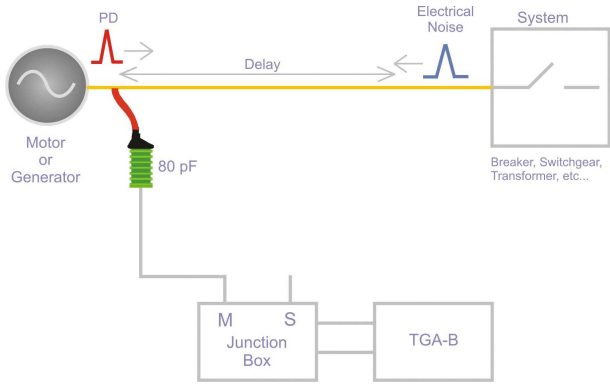
同時に到着したかどうかを調べます。これが真なら、測定機はこれらのパルスをシステム側からきたノイズとして識別します。

2. バス・カプラーの設置（指向性ノイズ分離）

ここに示す図はアイリス社のバス・カプラーがシステムからのノイズと発電機からの部分放電信号をどのように選別するかを示しています。ポータブル測定機（TGA-B™）で信号がどちらの方向から発生したかを知ることが出来ます。発電機側から来て検出した部分放電信号なのか、バス・カプラー対の中間部からなのか、あるいはシステム側からなのか確定できます。

バス・カプラーはペアで設置します。各相2個、間隔は少なくとも2M以上、15M以内で設置します。通常、据え付けには発電機1台あたり2日かかります。アイリス社はご希望のお客様には据え付けの監督と校正作業をご提供しております。





装置をシステム（遮断機や開閉装置等）に電力ケーブルを用いて接続している場合で、かつ装置の端子から接続されたシステム間の電力ケーブルの長さが少なくとも30Mで（直線で途中で引出線の無い）場合には、1相あたり1個のバス・カプラーを使用することができます。この種の設置はモーターによく採用されますが、発電機にも採用されることもあります。バス・カプラーを1個しか必要としない理由は、システム側から伝わる高周波の電気ノイズが30Mの電力ケーブルで著しく減衰するからです。アイリス社のバス・カプラーは高周波（>40MHz）で動作するので、ノイズ信号はバス・カプラーを通過しません。仮に低周波で動作させると、より多くの電気ノイズがシステムに入り、電気ノイズから部分放電を分離するのが難しくなります。従って高い周波数での部分放電試験のほうが高いIS/N比が得られます。

から部分放電を分離するのが難しくなります。従って高い周波数での部分放電試験のほうが高いIS/N比が得られます。

アイリス社の提案

基本的に新規のお客様に対し、アイリス社は最初の2年間は6ヶ月毎に部分放電試験を行なうことをお奨めいたします。これが将来、比較するための確かなベースラインとなります。部分放電のレベルとそれがどのように変化したかによりませんが、少なくとも年に1回くらいの試験を行なうことをお奨めいたします。

一方、部分放電の状態を連続して監視しトレンドを見るためにオンライン連続モニターを購入するお客様もいらっしゃいます。この場合、測定のために現場に行く必要はありません。アイリス社の **HydroTrac™**、**BusTrac™** と **PDTrac™** は部分放電の増加を保守作業者にアラームで知らせることができます。これらの装置にはアラーム用のリレーとオプションでアナログ信号出力(4-20mA)があり、DCSやSCADAに接続できます。ユーザーはTracモニターとイーサネット、RS485、光ファイバーや無線を用いて遠隔で通信することができます。また **PDTrac™**にはアナログ入力モジュールがあり、固定子巻線の温度、環境温度、湿度の条件に基づいたトリガーをかけることができます。



HydroTrac™は6個、9個または12個のPDAカプラーを用い差動式に設置します。一方 **BusTrac™**は6個のバス・カプラーを指向式に使用します。**PDTrac™**はバス・カプラーを3個設置した場合に使用します。Tracシリーズは部分放電試験を常に行いデータの集積ができる最も簡単な方法です。

アイリス社の部分放電データベース

アイリス社は部分放電試験結果の大規模な統計的データベースを持っています。現在データベースには60,000件の結果が保存されています。毎年アイリス社はさらに使いやすくなるように様々な方法でデータベースを見直しまとめています。今までセンサーの種類、固定子の電圧、装置の種類、製造年度、水素の圧力、製造業者による比較が行なわれ興味深い結果が得られています。このようなデータベースを利用すると下記のような恩恵が得られます。：

- 同規模の装置と比較することで劣化の進んだ（部分放電の強度の大きい）装置のメンテナンス時期や経費に注目することができます。
- 推測ではなく部分放電のレベルに基づいて装置の良し悪しをユーザーに伝えることができます。
- アイリス社は部分放電の理論と応用においてリーダーであること示しています。

アイリス社の概略

アイリス社のルーツは電力会社から発足しました。現在市販されている部分放電試験機はオンタリオ・ハイドロ社（現オンタリオ・パワー・ジェネレーション社）、カナダ電気協会、EPRI（米国・電力研究所）が共同で開発したものです。オンライン部分放電試験システムの研究と開発に従事したオンタリオ・ハイドロ社の主要な人物が独立して1990年にアイリス・パワー・エンジニアリング社を設立しました。彼らのゴール：大型モーターと発電機のユーザーに高品質の製品とサービスを提供することで、メンテナンスの可能性を拡張することです。アイリス社はISO9001を取得した企業なので、お客様は良質の製品とプロフェッショナルなサービスを継続して得られます。現在アイリス社は従業員75人で成長を続けております。アイリス社の顧客リストには世界中のお客様が含まれており拡大を続けております。