# Kéo dài tuổi thọ máy biến áp lực nhờ theo dõi tốt hơn

*Máy biến áp lực là thành phần thiết yếu của hệ thống truyền tải điện và thường là tài sản giá trị nhất trong trạm biến áp. Kết cấu các cuộn dây máy biến áp dựa trên công nghệ đã được kiểm nghiệm theo thời gian, đó là dây dẫn đồng bọc trong cách điện xenlulô được tẩm kỹ dầu cách điện.*

đồng bọc trong cách điện xenlulô được tẩm kỹ dầu cách điện. Trong nhiều thập kỷ qua, nhờ cải tiến công cụ thiết kế và công nghệ chế tạo, người ta đã giảm đáng kể được tổn thất, sử dụng vật liệu một cách tối ưu, nhờ đó giảm được kích thước máy và giá thành chế tạo. Với mức thời gian trung bình giữa hai sự cố (mean time between failure - MTBF) là trên 100 năm, máy biến áp được xem là loại thiết bị có độ tin cậy cao.

Tuy nhiên, đội ngũ máy biến áp ở Bắc Mỹ hiện đang ngày một già cỗi (tuổi trung bình của máy là khoảng 30 năm, nhiều máy còn trên 50 năm). Điều này tự nó đã làm tăng rủi ro sự cố, nhưng kèm theo đó lại là xu hướng ép buộc các máy biến áp phải mang tải cao hơn, trước sức ép kinh tế trong điều kiện hệ thống điện đã được tự do hóa. Mặt khác, áp lực kinh tế cũng đòi hỏi phải kéo dài tuổi thọ máy biến áp đồng thời cắt giảm chi phí bảo trì. Thật may mắn là đa phần những yêu cầu đối nghịch này xem ra vẫn có thể đáp ứng được nếu áp dụng rộng rãi công nghệ đỉnh cao về phương pháp theo dõi loại thiết bị lạc mốt này. Theo dõi trực tuyến liên tục cho phép phát hiện sớm hiện tượng xuống cấp cách điện có nguy cơ dẫn tới sự cố. Phát hiện sớm sự xuống cấp cách điện máy biến áp sẽ giúp giảm thiểu sự cố nghiêm trọng có thể dẫn tới cắt điện ngoài kế hoạch và yên tâm hơn trong trường hợp cho máy làm việc quá tải định mức.

Các loại hình sự cố

Hệ thống theo dõi toàn diện phải bao quát những loại sự cố khác nhau có thể xảy ra trong máy biến áp. Các nguyên nhân chính gây nên sự cố có thể được tóm tắt như sau:

Lão hóa cách điện

Theo thời gian, và dưới tác dụng của nhiệt độ, mạch phân tử cách điện dây

quấn máy biến áp dần bị đứt, làm giảm độ bền cơ học của giấy cách điện. Độ ẩm trong giấy và khí ôxy trong dầu cách điện cũng là những yếu tố thúc đẩy quá trình xuống cấp này. Giảm đặc tính cơ học dẫn đến nguy cơ phá hủy cách điện dây quấn khi máy biến áp chịu tác động của lực điện động do dòng ngắn mạch gây nên. Những rạn nứt trong cách điện của cuộn dây làm giảm cường độ điện môi và có thể dẫn đến phóng điện mặt ngoài khi có điện áp quá độ, thậm chí ngay cả trong điều kiện làm việc bình thường. Những hiện tượng này có thể được theo dõi liên tục nhờ thuật toán dựa trên các đặc tính của máy biến áp kết hợp với việc sử dụng những giá trị đo được về nhiệt độ dầu, dòng tải và hàm lượng ẩm trong dầu.

Suy giảm độ bền điện môi

Với máy biến áp mới, cường độ điện môi của kết cấu cách điện được xác định bằng các thử nghiệm điện môi để xác định độ dư an toàn của độ bền cách điện máy biến áp so với các điều kiện vận hành dự kiến. Độ dư an toàn này có thể bị suy giảm do bị nhiễm bẩn nước, các phần tử phụ phẩm của sự xuống cấp dầu, hoặc sự xuất hiện các bọt khí tự do thoát ra từ cách điện ướt quá bão hòa. Sự xuống cấp này có thể dẫn đến hiện tượng phóng điện theo chu kỳ trên bề mặt cách điện. Việc đánh giá yếu tố này đòi hỏi phải theo dõi liên tục các lượng cực nhỏ phụ phẩm khí do phóng điện tạo ra và hòa tan trong dầu.

Điểm phát nóng cục bộ

Độ ổn định nhiệt của máy biến áp được chứng minh một phần bằng thử nghiệm nhiệt thực hiện khi mua máy, nhưng cũng còn có thể căn cứ vào quá khứ vận hành của máy. Khi máy biến áp lão hóa dần, các điểm nóng có thể sẽ phát triển do có những điểm kết nối không chặt hoặc việc làm mát bị suy giảm cục bộ do có sự chuyển vị cuộn dây máy biến áp hay trương nở cách điện. Các điểm phát nóng bất thường trên dây dẫn hoặc trong kết cấu cách điện sẽ làm phát sinh khí hòa tan vào trong dầu. Có thể phát hiện các điểm nóng cục bộ này nhờ bộ cảm biến đặt đâu đó dọc theo đường tuần hoàn dầu.

Bộ điều chỉnh điện áp

Đa số các máy biến áp đều được trang bị cuộn điều chỉnh và bộ điều chỉnh điện áp để thay đổi tỉ số biến áp sao cho phù hợp với điều kiện vận hành. Trên thực tế, đó là cơ cấu cơ khí duy nhất chuyển động bên trong máy biến áp và theo thời gian sẽ bị hư mòn.

Trên các tiếp điểm động có thể hình thành lớp màng mỏng làm giảm bề mặt tiếp xúc. Điện trở tiếp xúc tăng dần sẽ dẫn đến tăng nhiệt độ và hiện tượng tạo khí, và sự xuống cấp không thể đảo ngược của các tiếp điểm. Nói chung, bộ điều chỉnh điện áp có liên quan đến một tỉ lệ lớn các sự cố máy biến áp. Để khắc phục, người ta đã phát triển nhiều phương pháp theo dõi tình trạng cơ khí của chúng nhằm cảnh báo sớm người vận hành máy biến áp.

Giảm thiểu số lần cắt điện

Một phương cách giảm thiểu rủi ro cắt điện là tạo ra độ dư thừa năng lực biến áp. Trong tiến trình phát triển, từ các công ty công ích phục vụ các khách hàng cố định chuyển sang các công ty tư nhân hoạt động trên thị trường tự do, có thể nhận thấy xu hướng hiện nay là sự thay đổi từ chỗ né tránh rủi ro chuyển sang quản lý rủi ro. Trước đây ở nhiều công ty điện lực, lưới truyền tải thường được trang bị dư thừa máy để dự phòng trường hợp một máy biến áp bị sự cố vẫn đảm bảo được phụ tải mà không gây căng thẳng quá mức lên các máy biến áp còn lại. Ngày nay, yêu cầu thực tế về kinh tế buộc các công ty phải khai thác tốt hơn các thiết bị hiện có. Xu hướng hiện nay là lượng hóa giá trị của rủi ro sự cố bằng cách xem xét xác suất xuất hiện sự kiện và hậu quả dự kiến về mặt kinh tế của sự kiện này. Theo cách này, có thể lượng hóa lợi ích dự kiến thu được nhờ cải tiến hệ thống theo dõi nhằm giảm xác suất xảy ra sự cố nghiêm trọng.

Theo dõi trực tuyến máy biến áp lực không phải là vấn đề hoàn toàn mới. Ngay từ thuở ban đầu, máy biến áp đã được trang bị một số cơ cấu cơ bản. Trong số các kết cấu này phải kể đến bộ chỉ thị nhiệt độ dây quấn máy biến áp. Dạng chung nhất, cơ cấu này bao gồm một bầu cảm biến nhiệt độ, được cài bên trong một ống đặt trong lớp dầu cách điện phía trên cùng của máy biến áp. Bao quanh bầu này là bộ gia nhiệt. Một phần dòng tải được dẫn qua bộ gia nhiệt này. Dòng tải sẽ khiến bầu cảm biến nhiệt độ đọc được nhiệt độ dầu cộng với số gia nhiệt độ mà theo thiết kế sẽ bằng độ tăng nhiệt cao nhất của dây quấn so với nhiệt độ của lớp dầu trên cùng. Chất lỏng trong bầu dãn nở qua một ống mao dẫn nối với một đồng hồ có thang đo được trang bị các tiếp điểm có thể điều chỉnh trong phạm vi dải vận hành. Một thiết bị truyền thống khác, đó là ống thu khí đặt bên trên thùng dầu máy biến áp, dùng để thu các bọt khí tạo ra trong dây quấn máy biến áp hoặc trong hệ thống cách điện.

Hệ thống Intellix mo150

Ngày nay, nhờ có máy vi tính và khả năng truyền tải dữ liệu, người ta có thể theo dõi liên tục trong phạm vi lớn hơn rất nhiều. Dòng sản phẩm Intellix do công ty GE Energy phát triển là ví dụ điển hình của hệ thống này. Hệ thống được thiết kế để đo liên tục một số thông số quan trọng như nhiệt độ dầu, dòng tải, điện áp đặt vào, hàm lượng nước trong dầu, khí hòa tan trong dầu, nhiệt độ của bộ điều chỉnh điện áp và trạng thái của bộ tản nhiệt. Các mô hình toán học chuyển đổi liên tục các dữ liệu thô thành các thông số có nghĩa, cho phép phát hiện những diễn biến đáng lo ngại xảy ra trong máy biến áp.

Nhiệt độ trên từng dây quấn máy biến áp được tính toán có tính đến dòng tải, nhiệt độ dầu, các đặc trưng của máy biến áp và hằng số thời gian của nhiệt

độ dây quấn. Quá trình lão hóa cách điện được tính toán tùy theo loại giấy cách điện được sử dụng, hàm lượng ẩm và kiểu hệ thống dãn nở dầu.
Hàm lượng nước trong cách điện rắn được tính từ hàm lượng ẩm trong dầu, nhiệt độ cách điện và hằng số thời gian khuếch tán giữa dầu và giấy. Đây là thông số rất quan trọng đối với cách điện dây quấn máy biến áp, vì nó ảnh hưởng đến tốc độ lão hóa và qui định nhiệt độ tới hạn giải phóng các bọt khí tự do khi máy bị quá tải. Hàm lượng ẩm trong màn chắn cactông giữa các dây quấn cũng là thông số tối quan trọng. Hàm lượng nước trong vùng này có thể cao hơn rất nhiều so với trong dây quấn do có sự chênh lệch nhiệt độ. Hàm lượng nước này tác động trực tiếp lên độ bền điện của bộ phận chịu ứng suất cao này.
Phép đo kết hợp khí hyđrô và ôxit cacbon (CO) hòa tan trong dầu cách điện được phân tích liên tục để sớm phát hiện dấu hiệu phóng điện hoặc phát nóng cục bộ trên dây quấn, dây đấu nối hoặc thùng dầu máy biến áp.
Nhiệt độ trong khoang bộ điều chỉnh điện áp được theo dõi để phát hiện những trường hợp hỏng hóc và cho phép can thiệp trước khi xảy ra phóng điện bề mặt.
Hiệu quả của hệ thống làm mát được đánh giá liên tục bằng việc so sánh nhiệt độ thực của dầu với giá trị tính toán dựa theo đặc tính kỹ thuật của hệ thống làm mát, phụ tải thực tế và điều kiện nhiệt độ môi trường xung quanh. Cũng có thể nâng cao độ nhạy của hệ thống làm mát bằng cách kết nối hệ thống điều khiển với phụ tải, nhiệt độ cuộn dây máy biến áp và nhiệt độ dầu.
Bộ điều khiển điện tử
Trạm điều khiển Intellix được thiết kế với các đặc tính kỹ thuật sau:
• Gồm các bộ vi xử lý hoàn toàn theo kỹ thuật số;
• Hiển thị chữ và số, điều khiển phông cuốn;
• Dung lượng đủ để chứa trên 100 ngày dữ liệu quá khứ ngắn hạn, trên 3.700 bản ghi chép sự kiện và trên 4.900 ngày hoạt động trong quá khứ;
• Vỏ bọc NEMA 4X bằng thép không gỉ;
• Giao thức trao đổi thông tin: DNP 3 (kết nối nối tiếp);
• Dễ dàng lắp đặt, cấu hình và đưa vào hoạt động;
• Phần mềm giao diện người-máy bằng đồ họa (graphical user interface - GUI), thân thiện với người dùng;
• Tự động thu thập dữ liệu;
• Kết nối thường xuyên (qua DNP 3.0);
• Có tỉ lệ tương tác và hiển thị dữ liệu;
• Có kho lưu trữ dữ liệu (có thể nhập, xuất);
• Có khả năng kết nối thông tin từ xa qua mạng LAN và modem.
Khả năng kết nối thông tin từ xa được đảm bảo bằng một mođem hoặc một fiber-modem để truyền dữ liệu từ máy biến áp đến thiết bị đầu cuối ở xa

(RTU) trong phòng điều khiển trạm biến áp.
Hệ thống này có thể được cung cấp kèm theo một màn hình tinh thể lỏng (LCD) đồ họa chiếu sáng lưng (backlit). Bảng hiển thị tại chỗ cũng bao gồm các phím tiếp xúc để người dùng có thể lướt qua toàn bộ dữ liệu có sẵn, quan sát các số đo và tính toán đang diễn ra. Sử dụng bàn phím, người dùng cũng có thể cấu hình lại báo hiệu hệ thống và các điểm kiểm tra.
Một phiên bản sản phẩm Intellix được thiết kế với độ bền tăng cao để thực hiện chức năng bảo vệ. Bộ Intellix này có thể tác động để tách máy biến áp ra khỏi vận hành nếu nhiệt độ dây quấn máy biến áp vượt quá ngưỡng chỉnh định.
Các thiết bị theo dõi này được chế tạo để vận hành liên tục ngoài trời trong môi trường khắc nghiệt của các trạm cao áp. GE chào bán hệ thống theo dõi Intellix MO150, gồm một hệ thống cảm biến tích hợp, các mô hình phân tích và các đặc tính xử lý dữ liệu, để có thể ứng phó với phần lớn các chế độ sự cố thường gặp. Hệ thống này được thiết kế để tạo ra các công cụ đánh giá trạng thái chủ yếu nhằm quản lý hiệu quả và sử dụng tối ưu một thành phần trọng yếu trong trạm biến áp. GE khẳng định rằng với việc sử dụng hệ thống này, có thể biến điều kỳ vọng trở thành hiện thực, đó là cắt giảm chi phí bảo trì đồng thời kéo dài tuổi thọ, với mức độ vững tin cần thiết để vượt qua tình trạng quá tải, và nhờ đó phát huy đầy đủ năng lực của máy biến áp