

تنبؤ العمر المتبقي لزيت محولات محطة كهرباء الناصرية الحرارية ذات (15.75 kV/ 400 kV)

^١ م.د.وارد صايل وارد، ^١ أ.م.د.باقر تركي عطية، ^٢ م.م.سمير عبد حجابي والمهندس عماد علاوي محسن

^١ قسم الكهرباء، المعهد التقني الشطرة، الجامعة التقنية الجنوبية، ذي قار، العراق

^٢ قسم السيارات، المعهد التقني الشطرة، الجامعة التقنية الجنوبية، ذي قار، العراق

Predict the Lifetime for (15.75 kV/400 kV) Transformers Oil of NASIRIYAH Power Plant

Abstract

The Nasiriyah thermal power plant considered to be within the aging stations of the Iraqi electric power grid which reflected on the performance of operating transformers. Recently, several cases of repeated transformer damage have been reported, which reinforce the need to investigate the causes behind that since the transformer ultimate importance in reliable power supplies for the consumers. As a result of that a priority of investigation have grown to calculate the remaining default life of transformer oil due to its vital role in the processes of insulation and cooling.

In this work, the lifetime for transformer oil of the Nasiriyah thermal power plant (15.75 kV/ 400 kV) four transformer that are similar in specification and different in loading values has been investigated. Some oil samples was drawn from the oil used in each transformer in order to conduct measuring tests of variables values (flashpoint, breakdown voltage, viscosity, acidity). All tests have been carried out at high voltage and chemical laboratories. The obtained result showed a widely change in the acidity values, coupled with its entry into bad oil classification, while it shows acceptable change with standard specification for remaining variables. An acidity limit of (0.3 mg KOH/g oil) has been recorded as a major variables to calculate oil lifetime according to the international (IEC-296) standard. Technique for acceleration test has been developed and employed to develop oil lifetime equation by testing the oil samples in high varying temperatures (130 °C, 140 °C, 150 °C) with continuous monitoring of the acidity limit.

The obtained results show the validity of these proposed equations to calculate the oil lifetime after their compliance with the four transformer loading rates. The results also show a presence of a serious decline in oil life time at the prevailing operating temperatures for all transformers especially for the highest load rate transformer (AT4) for range between (50 °C- 60 °C). For example, the lifetime prediction of transformer (AT4) a temperature of 60 °C is 3.5 years. A set of recommendations are suggested in order to evade transformer failure. It has been concluded that the oil used in transformer (AT4) should be replaced. Extra oil should be added to (AT1, AT2, AT3) transformers.

Keywords: Transformer oil, Degradation, Acidity, Predication, Lifetime.

الخلاصة:

تعتبر محطة الناصرية الحرارية من ضمن المحطات المتقدمة في منظومة الطاقة الكهربائية العراقية الذي انعكس بدوره في الوقت الحاضر على أداء المحولات العاملة فيها، حيث سجلت عدة حالات متكررة لتلف هذه المحولات مما ندى الحاجة لتحري المسببات نظرا لأهميتها القصوى في وثوقية تجهيز الطاقة للمستهلك، وعلية تنامت أولوية التقصي عن المتبقي من العمر الافتراضي لزيت هذه المحولات لما تتمتع به من دور حيوي في عمليتي العزل والتبريد. تم في هذا البحث تخمين العمر المتبقي لزيت محولات محطة كهرباء الناصرية الحرارية ذات (15.75 kV/400 kV) والبالغ عددها أربع محولات متشابهة في مواصفاتها ومختلفة في قيم تحميلها، حيث تم سحب عينة من الزيت المستخدم في كل محولة بهدف إجراء فحوصات لقياس قيم متغيرات عديدة مثل (نقطة الوميض، الفولتية الانهيار، اللزوجة، الحموضة). تم إجراء جميع الفحوصات في مختبرات الضغط العالي، الكيميائي. بينت النتائج المستحصلة تغيرا واسعا في قيم الحموضة مقترنا مع دخوله حيز تصنيف الزيت الردي، كما أظهرت أيضا تغيرا مقبولا ضمن المواصفات المسموح بها لبقية المتغيرات. تم الاعتماد على محدد الحموضة والبالغ (0.3 mg KOH/g oil) وحسب المواصفة العالمية المعمول بها حاليا

(IEC-296) كمتغير رئيسي لاحتساب عمر الزيت المتبقي. تم تطوير تقنيته للفحص المعجل وتوظيفها في استنباط معادلة الزمن المتبقي من خلال وضع عينات الزيت المأخوذة بدرجات حرارية عالية (130 °C, 140 °C, 150 °C) مع المراقبة المستمرة لقيم محدد الحموضة بهدف إيجاد المعادلات اللازمة لاحتساب العمر المتبقي لزيت كل محولة. لقد أكدت النتائج المستحصلة صلاحية هذه المعادلات المقترحة لاحتساب عمر الزيت المتبقي بعد توافرها مع معدلات تحميل المحولات الأربعة العاملة، كما لوحظ أيضا وجود انحدار خطيرا في قيم أعمار الزيت المتبقية عند درجات الحرارة التشغيلية السائدة وخصوصا للمحولة (AT4) الأكثر تحميلا. أوصى البحث بعدة توصيات ضرورية لازمة لتحاشي تلف المحولات العاملة في المحطة بضمنها ضرورة استبدال زيت المحولة (AT4) باعتبار كون نتائجها الأكثر خطورة وإضافة كمية مناسبة من الزيت للمحولة (AT1) و(AT2) و(AT3) باعتبار ان نتائجها كانت اقل خطورة.

كلمات رئيسية : زيت المحولات، التقادم، الحموضة، تنبؤ، العمر المتبقي.

1. المقدمة

في الزيت من خلال استحداث موديل رياضي بالاعتماد على تقنية العناصر المحددة (Finite Element) واحادية وثنائية الابعاد وتمثيلها باستخدام برنامج (Matlab) وذلك لفهم آلية تقادم الزيت. في المصدر [2] اجري الباحثون عدة فحوصات تشخيصية لتحديد حالة العزل كدالة للزمن عبر اجراء تحليل نوعية الغازات المتحللة في الزيت بضمنها (CH₂, CO, CO₂)، اجريت الدراسة على ثمان محولات متشابهة المواصفات لاحدى شبكات القدرة الهندية. في المصدر رقم [10] استحدث الباحثون موديل حراريا لاحتساب درجة حرارة النقطة الساخنة (Hot-Spot Temperature) وبالاعتماد على بيانات قيم درجة حرارة المحيط (Ambient Temperature) وقيم التحميل المفرط (Overloading) ومواصفات المحولات المستخدمة، استخدمت النتائج المستحصلة لاجاد افضل نظام تبريد للمحولات عند التحميل المفرط. طبقت هذه الطريقة على (28) محولة ذات (400 kV/ 220 kV). طور الباحثون في المصدر رقم [4] موديل رياضي لاحتساب مقدار الخسارة في العمر الافتراضي لزيت المحولات بالاعتماد على مقدار التغير في درجة حرارة الزيت والمحيط وعدة حالات من الحمل. تم الاستفادة من النتائج المستحصلة لتفسير آلية انتقال الحرارة في المحولات. قورنت النتائج المستحصلة مع عدة طرق اخرى وطبقت الطريقة المقترحة على ثمان محولات ذات (500 kV/ 220 kV). اجري الباحثون في المصدر رقم [6] دراسة لبيان مدى تأثير التقادم على قيم خصائص زيت المحولات ((الفيزيائية، الكيميائية، الكهربائية)) وبأستخدام طرق فحص دولية متعددة. طبقت الدراسة على ستة محولات مختلفة في (معدلات التحميل، فترة الخدمة، ظروف العمل) وسجلت نتائج خصائص الزيت عبر فترة زمنية بلغت احدى عشر سنة والتي تضمنت عملية اضافة واستبدال الزيت وحسب حالة كل محولة. درس الباحثون في المصدر رقم [9] بشكل مفصل تأثير كل من (محتوى الرطوبة، الأوكسجين، رقم الحموضة) على الية تقادم ورق عزل المحولات مختبريا وذلك عبر اخذ مجموعة مقاطع من هذا الورق وغسها في زيت مقادم ذو رقم حموضة عالي ومن ثم تعريضها لدرجات حرارة عالية تحاكي ظروف التشغيل الحقيقية. ناقش الباحثون امكانية الاستفادة من النتائج المستحصلة في وضع استراتيجية افضل لصيانة المحولات. في المصدر رقم [11] استعرض الباحثون آلية جديدة لجدولة الصيانة الوقائية لمحولات القدرة بهدف ايجاد الفاصل الزمني المناسب لاجراء عملية الصيانة، أستعين بالبيانات المسجلة مسبقا (درجة حرارة المحيط، معدلات التحميل، نسب الغازات المتحللة، تاريخ حدوث الاعطال) بهدف وضع تصور واضح حول حالة العزل الانية ليتم الاستفادة منه في عملية اتخاذ القرار المناسب حول عملية الصيانة اللاحقة والتحميل الامثل للمحولة. اقترح الباحثون تطوير المرحل الخاص بتحسس قيمة التيار ليتضمن ايضا قراءة درجة المحيط والزيت ومن ثم ربطه بمعالج يستقبل هذه البيانات ويحسب عمر المحولة المتبقي. اجري الباحثون في المصدر رقم [12] دراسة لبيان تأثير كل من العمر المتبقي ومعدل التحميل على ماهية الغازات المتحللة في محولات القدرة. طبقت الدراسة على محولات

تعتبر محولات القدرة من أهم العناصر الأساسية في أنظمة الطاقة الكهربائية لما لها من دور حيوي في عمليتي النقل والتوزيع والذي يتطلب عملها بشكل آمن ومستقر. تعد اعطال المحولات من بين أكثر أسباب الانقطاعات المتكررة في تجهيز الطاقة ولتفترات طويلة مما يؤثر بشكل خطير ومباشر على استقرار النظام ووثوقية تجهيز الطاقة للمستهلك بالإضافة الى خسائر المادية الكبيرة في حالة تلف تلك المحولات باعتبارها باهظة الكلفة. لقد اصبح من الضروري جدا مراقبة عمل المحولات عن كثب بهدف الكشف والتخمين المبكر لنوع العطل المحتمل في بداية نشوءه وتحديد مسبباته [1, 2]. يستخدم الزيت المعدني (Mineral Oil) في محولات القدرة لتأدية مهمة العزل والتبريد ويتعرض خلالها لعدة مؤثرات على شكل أجهادات حرارية وكهربائية وميكانيكية تؤدي مع مرور الزمن الى تقادمه ومن ثم فشله المتمثل بتلف المحولة. لقد تنامت معدلات تحميل محولات القدرة مع التزايد المضطرد في معدلات الاستهلاك والارتفاع القياسي في درجات حرارة المحيط (Ambient Temperature) والذي انعكس على زيادة درجة حرارة الزيت وانقياده للتقادم السريع المتمثل بانخفاض قيمة العمر الافتراضي المتبقي [2, 3, 4]. يعد الزيت المعدني من ضمن أكثر المشتقات النفطية كلفة والمستحصلة عبر عملية تصفية معقدة لتحويل النفط الى نوعية الزيت المستهدفة وضمن المواصفات المطلوبة، حيث تصلح فقط نسبة (3%) من النفط الخام عبر العالم لاستحصال هذا النوع من الزيوت [5].

تجرى عادة مجموعة من الفحوصات الدورية لزيت المحولات لغرض قياس قيم عدة خواص ولعل اهمها (اللزوجة، نقطة الوميض، رقم الحموضة، فولتية الانهيار)، ان استخدام تركيب من هذه الفحوصات التشخيصية يمكننا من معرفة التغيرات الطارئة على حالة الزيت وتحديد نوعيتها ومسبباتها وبالتالي معرفة سرعة تقادم الزيت التي تفيدنا في كل من عمليتي تحديد امكانية استخدام الزيت لاطول فترة ممكنة واتخاذ القرار المناسب فيما يخص اضافة الزيت او استبداله في حال الضرورة لتجنب العطل المفاجئ للمحولة [6, 7]. ان تعرض الزيت للحرارة يفقده استقراره ويسرع من عملية تقادمه والمتمثل بانحدار خصائصه الكهربائية وكفاءته في عملية التبريد وينتج عن ذلك نواتج التقادم (Ageing Products) المتمثلة بالحوامض الكربوكسيلية (Carboxylic Acids) والرواسب الطينية الناتجة عن تحلل الزيت والتي تضر الجزء الصلب من العزل المتمثل بورق المحولات [3, 7, 8, 9].

لقد عكف العديد من الباحثين على دراسة آلية تقادم الزيت وتطوير مجموعة من الموديلات الرياضية والفحوصات التشخيصية (Diagnostic Tests) بهدف تحديد المسببات الرئيسية لانحدار قيم خصائصه الكهربائية والكيميائية، ففي المصدر رقم [3] اقترح الباحث موديل حراريا (Thermal Model) لتمثيل محولات القدرة عبر بارامترات محتسبة من خلال بيانات فحص ارتفاع الحرارة (Temperature Rise Test) وبالاعتماد ايضا على (IEEE Loading Guide) ليضع بعدها دليل عمل مناسب لامكانية التحميل المفرط لمحولات القدرة العاملة في احدى المحطات الرئيسية ذات (236 kV- 69 kV). اجري الباحثون في المصدر رقم [7] دراسة احصائية لمسببات الاعطال في محولات القدرة لاحدى شبكات الطاقة الروسية ذات (110 kV). أظهرت الدراسة وجود نسبة عالية من الاعطال بلغت (25%) بسبب عدم اجراء الفحوصات التشخيصية اللازمة لدراسة الية تقادم الزيت بالإضافة الى الاخطاء الحادثة أثناء عمليات الصيانة. وضع الباحثون عدة اجراءات تساعد في أطالة العمر الافتراضي لعزل تلك محولات، كما طور الباحثون في المصدر رقم [1] طريقة للمراقبة الانية والكشف المبكر لاحتساب محتوى الرطوبة (Moisture Content)

(High Correlation) بين محتوى جزيء (CO) و تقادم المحولة. كما أظهرت الدراسة ان المحولة ذات التحميل الاعلى تقوم بانتاج جزيئات (CO) و (CO₂) اكثر من المحولة ذات التحميل الاقل. أما في المصدر رقم [13] استخدم الباحثون كل من طريقة الطاقة المفعلة (Activation Energy) والمواصفة القياسية IEC 60216-1/2001 لاحتساب العمر المتبقي لمحولات قدرة تستخدم زيتا نباتيا (Vegetable Oil). اقترح الباحثون في المصدر رقم [14] طريقة تجديد (Regeneration) لزيت محولات القدرة المتقادم من خلال معاملتها بالكربون المنشط (Activated Carbon) المستنبط من المخلفات الزراعية. أظهرت الدراسة تحسن ملحوظا في

تنبؤ العمر المتبقي لزيت محولات محطة كهرباء الناصرية

ذات (15.75 kV/ 400 kV) الحرارية

خصائص فولتية الانهيار والزوجة ونقطة الوميض. استعرض الباحثون في المصدر رقم [15] طريقة لتقييم نوعية زيت محولات القدرة باستخدام الأشعة تحت الحمراء والرنين المغناطيسي النووي (Nuclear Magnetic Resonance).

وارد صايل وارد،¹ يباقر تركي عطية،² سمير عبد حجابي، عماد علاوي محسن

صورة رقم (١) تبين احدى عمليات سحب عينة الزيت لمحولة (15.75 kV/ 400 kV)

3.1.1 فحص قيمة فولتية الانهيار (Break Down Voltage Test)

تم اجراء فحص قيم فولتية الانهيار لعينات زيت المحولات الاربعة في مختبر الضغط العالي التابع للمحطة وعبر استخدام الجهاز (ANM-80) الروسي المنشأ الذي يوفر لنا امكانية قياس فولتية الانهيار لغاية (100 kV)، تتمثل عملية الفحص بتفريغ عينة الزيت وبحجم (0.5 L) في حوض صغير مزود بكرات معدنية يفصل بينهما مسافة (2.5 mm) ليتم بعدها زيادة قيمة الفولتية المسلطة عبر لوحة التحكم وصولا الى الفولتية التي عندها ينهار الزيت. تبين الصورة رقم (٢) عملية تفريغ احدى عينات الزيت في جهاز الفحص مع احدى القراءات المستحصلة من فحص قيم فولتية الانهيار لعينة من زيت المحولات (15.75 kV/ 400 kV)، كما يبين الشكل رقم (١) قيم فحص فولتية الانهيار لعينات زيت المحولات الاربعة ومنه نلاحظ ان قيم فولتية الانهيار كانت جميعها ضمن المواصفة (IEC-296) التي تنص على ان لا تقل قيم فولتية الانهيار عن (50 kV)، كما لاحظنا ايضا عند المقارنه بين القيم الاربعة المستحصلة وجود تغيرا طفيفا فيما بينها وصل في اكبرها حالاته الى (5 kV) وعلى الرغم من الاختلاف الكبير في معدلات التحميل للمحولات الاربعة، بالاضافة الى تناسب قيم فولتية الانهيار عكسيا مع معدلات التحميل فكلما ازداد الحمل على المحولة انخفضت قيمة فولتية انهيار الزيت.

2. الهدف من البحث

تعد محطة كهرباء الناصرية الحرارية من أقدم محطات شبكة الطاقة الكهربائية العراقية حيث دخلت الى الخدمة الفعلية منذ العام 1980. تلعب المحولات العاملة في المحطة دورا رئيسيا في عملية تجهيز الطاقة لخطوط الضغط الفائق ذات (400 kV) وعليه اصبح من الضروري اتخاذ الإجراءات الاحترازية لحماية هذا النوع من المحولات من جميع انواع العوارض بضمنها تلك الناتجة عن فشل زيت المحولات والذي يعد من اهم اسباب تلفها. حيث سجلت حالة احتراق احدى محولات (15.75 kV/6.3 kV) (UT3) الروسية المنشأ في صيف العام 2010 ليتم استبدالها بمحولة كورية المنشأ.

يستهدف البحث دراسة عدة متغيرات لخصائص الزيت المستخدم حاليا في محولات محطة كهرباء الناصرية الحرارية ذات (15.75 kV/400 kV) والبالغ عددها أربع محولات روسية المنشأ وباستيعابية (250 MVA) لكل محولة بهدف رؤية مدى تطابقها مع المواصفة العالمية المعمول بها حاليا (IEC-296) [16]، وتخمين (تنبؤ) عمر الزيت المتبقي لكل محولة على حده بهدف طرح التوصية المناسبة واللائمة للحفاظ على ديمومة عملها.

3. النتائج والمناقشة 3.1 فحوصات زيت المحولات

تكتسب عملية الفحص الدوري لمواصفات زيت المحولات اهمية عالية في عملية اتخاذ القرار المناسب والخاص بمدى صلاحية الزيت المستخدم للعمل الامن وبتوثوقية عالية، حيث اعتمدت مؤخرا المواصفة العالمية الواسعة الاستخدام

(IEC-296) كمواصفة قياسية لزيتوت المحولات العاملة في محطات شبكة الطاقة الكهربائية العراقية، ان هدفا من اجراء هذه الفحوصات لا يقتصر فقط على دراسة مدى مطابقة الزيت للمواصفات المذكورة انفا بل يستهدف ايضا الكشف عن اكثر المحددات تغيرا في المحولات الاربعة وبدلالة المقارنة فيما بينها بمعدلات التحميل ليتم لاحقا الاعتماد على هذا المحدد في عملية ايجاد المعادلات الخاصة بتنبؤ العمر المتبقي لزيت المحولات. يبين الجدول رقم (١) المواصفات الخاصة بمحولات محطة كهرباء الناصرية الحرارية ذات (15.75 kV/ 400 kV).

تم سحب عينه بحجم (٥) لتر من زيت كل من المحولات الاربعة ذات (15.75 kV/ 400 kV) في منتصف شهر تموز صيف العام 2016 بهدف نقل تلك العينات لكل من المختبرات (الضغط العالي، الكيمياء) التابعة لمحطة الناصرية الحرارية ويهدف اجراء فحوصات زيوت المحولات الاساسية وهي (فولتية الانهيار، نقطة الوميض، اللزوجة، الحموضة). يبين الجدول رقم (٢) معدلات التحميل للمحولات الاربعة ودرجة حرارة الزيت ساعة الذروة ذلك اليوم، كما تبين الصورة رقم (١) عملية سحب عينة الزيت لاحدى المحولات.



صورة رقم (٢) تبين عملية تفريغ زيت المحولات في جهاز الفحص واحدى القراءات المستحصلة لفولتية الانهيار



