

УДК 621.316.926; 543.275.1

Д.М.Д. ДЖАСІМ, Б.І. НЕВЗЛІН (канд. техн. наук, доц.),
А.І. СИРЦОВ (канд. техн. наук, доц.), Д.В. ПОЛОВИНКА (канд. техн. наук, доц.)
«Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля»
el-mex@rambler.ru

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОВІСТУ МАСЛА ТА ІЗОЛЯЦІЇ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ

Пропонується метод контролю вологовістості трансформаторного масла низькочастотним вимірюванням його добротності ($\text{tg}\delta$). Метод дозволяє проводити безперервний моніторинг зволоження масла поряд з іншими ізоляційними параметрами силових трансформаторів.

Ключові слова: силовий трансформатор, трансформаторне масло, контроль вологовістості, добротність, рівняння регресії, датчик вологості, мікропроцесор, моніторинг параметрів.

Постановка проблеми. Якісний контроль вологовістості в трансформаторному маслі (ТМ) сучасними методами і приладами в процесі експлуатації є актуальним, оскільки забезпечує високу експлуатаційну надійність силового трансформатора (СТ), що є важливою практичною задачею.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій. Дослідження трансформаторного масла і вплив на його властивості різних факторів, у тому числі вологи, методи контролю наведені у багатьох роботах, найбільш відомими з яких є праці Р.А. Липштейна, М.І. Шаховича [1], Н.І. Черножукова, С.Е. Крейна [2] та інших. Сучасна експлуатаційна практика, разом з тим, потребує методів і засобів безперервного контролю параметрів ТМ, що забезпечують безвідмовну експлуатацію СТ.

Формулювання цілей статті. Підвищення точності контролю вологості ТМ і ізоляції СТ за рахунок використання багатофакторного аналізу його параметрів і визначення граничних норм, а також розробка мікропроцесорного приладу контролю вологовістості в маслі і моніторингу його параметрів для попередження відмов ізоляції в СТ.

Викладення основного матеріалу. Технічні вимоги до ТМ нормуються державними стандартами, проте вони не містять норм за вмістом вологи. Регламентация в цьому випадку здійснюється побічно по ряду показників – густини, температури спалаху, в'язкості, вмісту КОН, діелектричної міцності і ряду інших. Тому, актуальним є питання багатофакторного аналізу впливу вологи на основні і, передусім, електроізоляційні властивості ТМ і визначення граничних норм вологовістості.

Визначення вологовістості в ТМ передбачається нині стандартизованими методами. Це метод візуального контролю (ГОСТ 1547), гідро кальцієвий метод (ГОСТ 7822) і метод кулонометричного титрування, відомий як метод Фішера. Перший з них є суб'єктивним і дозволяє визначити тільки факт вмісту вологи в ТМ. Інші методи є досить громіздкими і трудомісткими, вимагають відбору проб масла та є епізодичними.

В зв'язку з цим є актуальною розробка методу і приладу контролю вологості, на базі сучасних розробок в області мікропроцесорної техніки, які забезпечать достатню точність вимірювань.

Для забезпечення експлуатаційної надійності СТ такий контроль доцільно зробити безперервним – як постійний моніторинг основних параметрів ТМ, які включають вологовістості, в процесі роботи трансформатора з використанням вже відомих діагностичних комплексів.

Використання приладу безперервного моніторингу вологості дозволить своєчасно виявити небезпечну концентрацію вологи ТМ і запобігти відмовам, пов'язаним з пробоями і руйнуванням ізоляційних конструкцій.

Нині розробляються і застосовуються методи контролю ізоляції без виведення устаткування з експлуатації, під робочою напругою, що дозволяє підвищити ефективність діагностування, а також автоматизувати процес контролю. При цьому існують два варіанти: рання діагностика і сигналізація граничних станів.

Як відомо, прямі методи визначення інтенсивності старіння ТМ, що придатні для експлуатаційних умов, відсутні. Тому застосовуються непрямі методи контролю. Для цієї мети використовуються параметри ізоляції, значення яких визначаються процесами, що відбуваються в діелектриках (поляризація, абсорбція, іонізація, провідність і інші). До таких параметрів відносяться: комплексна провідність ізоляції, діелектричні втрати, сміність, добротність, інтенсивність часткових розрядів. В якості критерію бракування при діагностуванні приймається вихід значень контрольованих параметрів за встановлені межі.

Для контролю СТ без виведення їх з роботи використовуються спеціальні діагностичні комплекси типу КИН-750, які дозволяють автоматично вимірювати комплексну провідність ізоляції, $\text{tg}\delta$, сміність ізоляції і часткові розряди.

Метою виявлення факторів, що впливають на старіння ТМ і визначення критеріїв такого впливу було проведено визначальні випробування на базі Луганського об'єднання електромереж (ЛЕО). Для факторного аналізу в якості початкових даних були вибрані: температура спалаху – $t_{\text{всп}}$ (°C); реакція водної витяжки – Х (г/мг/КОН); кислотне число – k (КОН/г); вміст води в маслі – ψ (% маси, г/т); пробивна напруга – E (кВ/мм).

Встановлені кореляційні взаємозалежності цих факторів, яке має вигляд

$$E = 0,145 + 68,89 \cdot x + 551,8 \cdot k + 0,872 \cdot t - 22407 \cdot \psi$$

Аналіз коефіцієнтів рівняння регресії (3) показує, що найбільш значущим фактором, що впливає на зниження електричної міцності ТМ, є вологовміст. Вплив інших факторів представляється значно менш істотним.

Встановлено, що гранично допустимою є вологість, що складає 0,005%, при якій E знижується до гранично допустимого значення - 30 кВ/мм.

Проаналізована залежність діелектричних втрат від вологовмісту. Встановлено, що діелектричні втрати викликаються електрофоретичною і, головним чином, іонною електропровідністю ТМ. Остання зростає через те, що вода і розчинні в маслі домішки дисоціюють на вільні іони. Наявність в маслах розчиненої води не підвищує $\text{tg}\delta$, оскільки вона знаходиться в молекулярному стані. В протилежність цьому емульсивна вода істотно підвищує $\text{tg}\delta$ із-за електрофоретичної провідності, тобто на діелектричні втрати впливає стан присутньої в маслі води. Ріст $\text{tg}\delta$ викликає емульсія води, яка має малі розміри часток. Таким чином, $\text{tg}\delta$ необхідно вважати основним показником в характеристиці нового ТМ і відносно важливим для експлуатаційних масел.

За рекомендацією МЕК для нового ТМ при 90°C $\text{tg} < 5 \cdot 10^{-3}$. Для експлуатаційних масел допускається $\text{tg}\delta < 15\%$ для трансформаторів з напругою до 150 кВ. Ці значення необхідно вважати критеріями оцінки якості ТМ.

У основі запропонованого способу контролю знаходиться спосіб низькочастотного контролю добротності параметра $\text{tg} \delta$.

Вимірювання добротності трансформаторного масла, що знаходиться в перетворювачі, здійснюється шляхом визначення заряду, що накопичується перетворювачем з трансформаторним маслом, як показано на рис. 1.

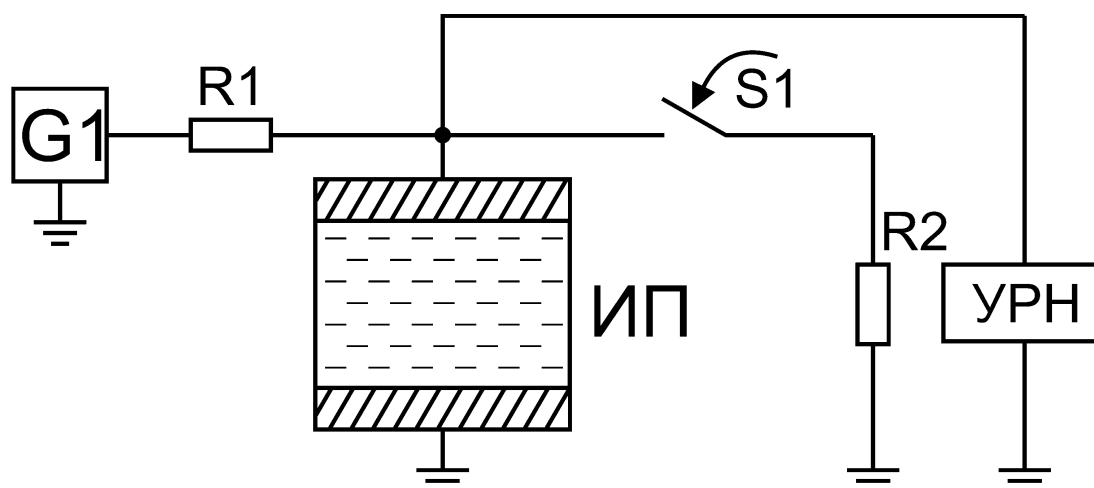


Рисунок 1 – Схема вимірювання добротності

Принцип дії цієї схеми полягає в наступному. Генератор $G1$ генерує прямокутні імпульси з частотою $f1$ які поступають на вимірювальний перетворювач ВП через високопрецизійний опір $R1$. З моменту подачі першого імпульсу на ВП ведеться циклічний вимір напруги на ВП пристроєм реєстрації напруги ПРН. Процес заряду триває до появи негативного фронту імпульсу, після якого формується пауза і відбувається паралельне підключення високопрецизійного резистора $R2$ ключем SA . При цьому починається процес розряду ВП через $R2$, для якого також ведеться циклічний вимір напруги на ВП. Цей процес триває до появи позитивного фронту імпульсу генератора. Потім усе повторюється в циклі.

Запропонована конструкція вимірювального перетворювача, яка виконана у вигляді коаксіального проточного конденсатора, при цьому напруга на ВП, наповненому трансформаторним маслом, змінюватиметься по кривій 1, як показано на рис. 2.

При цьому пристрій ВРН, що вимірює напругу на ВП, повинен вимірювати поточну напругу з частотою набагато вище за частоту генератора $G1$ щоб отримати ступінчасту криву 2, яка максимально близько повторювала б криву 1. Резистори $R1$ і $R2$ обмежують напругу в діапазоні від 95 до 100% напруги генератора $G1$.

Добротність вимірювального перетворювача з ТМ залежить від відношення активної провідності до реактивної. Таким чином, для визначення добротності необхідно виміряти ємнісну і активну складові провідності ВП з трансформаторним маслом. Для цього на початку необхідно отримати залежності напруги заряду і напруги розряду від часу $U_z=f(t)$ і $U_p=f(t)$. Вимір цих залежностей проводиться відповідно до схеми, показаної на рис. 1.

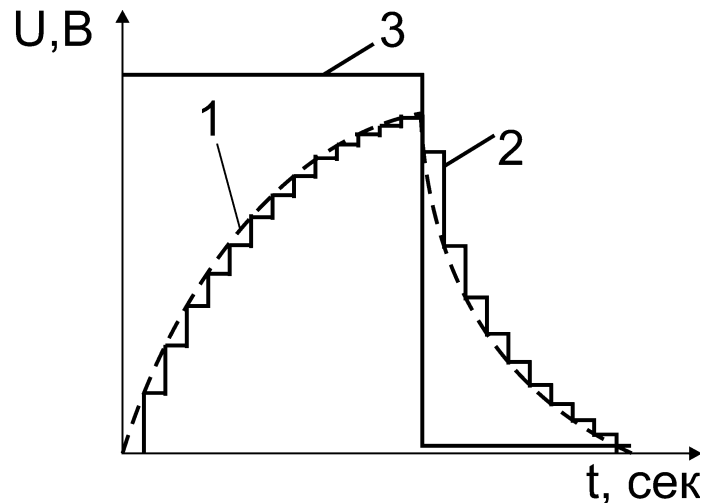


Рисунок 2 – Осцилограми заряду і розряд ємності ВП

1 – напруга на ВП; 2 – напруга, що виміряна ПРН; 3 – напруга з виходу генератора G1.

З урахуванням ряду допущень було розроблено схеми заміщення процесів заряду і розряду ВП с ТМ і розраховані їх параметри.

По цих параметрах перетворювача обчислюється добротність при частоті генератора G1 рівній 1 Гц.

Контроль напруги заряду і розряду ємності ВП повинен відбуватися з частотою набагато більшою, ніж частота генератора G1. Враховуючи складність процесу обробки отриманої інформації, виникає необхідність в заміні аналогового інформаційного сигналу (постійна напруга) - цифровим і робити подальші обчислення за допомогою мікропроцесорного пристрою. Окрім цього використання мікропроцесорного пристрою дозволяє використовувати прилад для контролю вологості масел з різними характеристиками, виконувати функцію генератора G1 а також тривалий час зберігати результати вимірювань і передавати їх на пристрої більше високого рівня.

З урахуванням вищевикладеного складена блок-схема приладу контролю вологості ТМ із застосуванням мікропроцесорної системи (рис. 3).

Після обчислення вологості результат періодично виводиться на пристрій індикації, що є алфавітно-цифровим рідкокристалічним індикатором. Управління приладом контролю вологості ТМ здійснюється за допомогою клавіш на панелі управління, що є матричною клавіатурою. За допомогою клавіатури оператор, що управляє роботою приладу, може задавати тип досліджуваного ТМ, передавати результати контролю на персональний комп'ютер, робити тестування на наявність несправностей, зберігати і переглядати результати контролю.

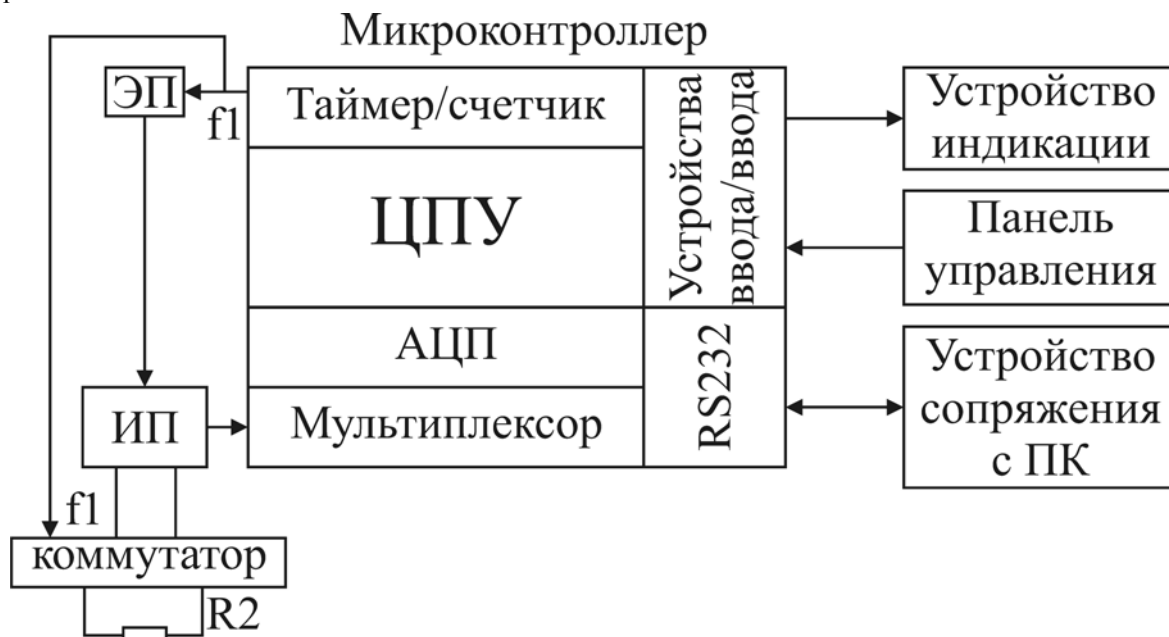


Рисунок 3 – Блок-схема приладу контролю вологості ТМ

Виходячи із запропонованого методу визначення вологості ТМ за величиною добротності розроблений алгоритм роботи приладу. При цьому враховані порядок контролю параметрів ВП з вологим ТМ, дії мікропроцесорної системи на аналогові блоки, її зв'язок з персональним комп'ютером, запит завдань на проведення контролю вологості від оператора і введення градувальних характеристик (коефіцієнтів), що управляють.

У приладі контролю вологості трансформаторного масла МПС повинна виконувати наступні функції:

1. Перетворення постійної напруги в цифровий код.
2. Управління процесом контролю вологості трансформаторного масла.
3. Обчислення добротності і розрахунок вологості.
4. Виведення результату контролю вологості на індикатор.
5. Зберігання даних контролю вологості при відключенні живлення.
6. Зберігання градувальних характеристик для різних типів трансформаторних масел при відключеному живленні.
7. Перегляд збережених результатів контролю на індикаторі.
8. Внесення в пам'ять градувальних характеристик оператором і можливість їх виправлення.
9. Контроль стану приладу і сповіщення про неполадки.

Використання мікропроцесорної системи дозволяє виконувати розрахунок добротності за величиною контрольованої напруги заряду ВП, тривалий час зберігати результат контролю і безліч градувальних характеристик, виконувати управління і контроль аналогової частини приладу.

За розробленою схемою був виготовлений макет приладу і проведено його лабораторне тестування.

Прилад найраціональніше використовувати в системах безперервної технічної діагностики ізоляційних параметрів СТ.

Висновки. 1. Використання приладу безперервного моніторингу вологості дозволить своєчасно виявити небезпечну концентрацію вологи ТМ і запобігти відмовам, пов'язаним з пробоями і руйнуванням ізоляційних конструкцій.

2. Побудовано рівняння множинної регресії впливу різноманітних факторів на пробивну напругу ТМ.

3. Використання мікропроцесорної системи дозволяє виконувати розрахунок добротності за величиною контрольованої напруги заряду ВП, тривалий час зберігати результат контролю і безліч градувальних характеристик, виконувати управління і контроль аналогової частини приладу.

4. Запропоновано спосіб контролю вологовмісту ТМ низькочастотним вимірюванням його добротності ($\text{tg}\delta$).

5. Запропоновано мікропроцесорний прилад, що забезпечує безперервний контроль вологовмісту ТМ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Липштейн Р.А. Трансформаторное масло / Р.А. Липштейн, М.И. Шахович.– М.: Энергоатомиздат, 1983.– 296 с.

2. Черножуков Н.И. Химия минеральных масел / Н.И. Черножуков, С.Э. Кпейн, Б.В. Лосиков.– М.: Гостоптехиздат, 1959. – 415 с.

3. А.И. Сырцов. Влияние влаги на свойства трансформаторного масла / Б.И. Невзлин, А.И. Сырцов, Д.М.Д. Джасим // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. «Електротехніка і енергетика». – 2011. – вып.11. – С.385-387.

4. Д.В. Половинка. Устройство контроля влажности трансформаторного масла / Д.В. Половинка, А.И. Сырцов, Б.И. Невзлин, Д.М.Д. Джасим // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії інформатизації.– 2012. – №1(26). – С.25-33.

REFERENCES

1. Lipsteyn R.A., Shahovitsh M.I. *Transformatornoe maslo* [The Transformer Oil]. Moscow: "Energoatomizdat", 1983. 296 p.

2. Tchernojukov N.I., Kresn S.E., Losikov B.V. *Himiya mineralnyh masel* [The Chemistry of Mineral Oil]. Moscow: Gostoptechizdat, 1959. 415p.

3. Syrtsov A.I., Nevzlin B.I., Polovinka D.V., Jasim J. M. Jasim. The Influence of Moisture to the Property of the Transformer Oil. Donetsk: The Scientific Work of Donetsk National Technical University. Ser. "Elektrotehnika and energetics". 2011; 385-387.

4. Polovinka D.V., Syrtsov A.I., Nevzlin B.I., Jasim J. M. Jasim. The Control Moisture Apparatus of the Transformer Oil. The Work of Luhansk Department of International of Informatization Academy. 2012; № 1 (26): 25-33.

Д.М.Д. ДЖАСИМ, Б.И. НЕВЗЛИН, А.И. СЫРЦОВ, Д.В. ПОЛОВИНКА
Восточноукраинский национальный университет им. В.Даля

Усовершенствование метода контроля влажности масла и изоляции силовых трансформаторов. Предложен метод определения влажности по его добротности. В основе предлагаемого способа контроля находится преобразование параметра добротности ($\text{tg } \delta$) в измерительном преобразователе в высокочастотный информационный сигнал. Для этого предложена конструкция измерительного датчика-преобразователя в виде коаксиального проточного конденсатора. На основе метода разработаны схема и алгоритм микропроцессорного прибора контроля влагосодержания ТМ с достаточной точностью. Прибор позволяет вести мониторинг контроля уровня влаги непосредственно в процессе эксплуатации СТ, что повышает его эксплуатационную надежность.

Ключевые слова: силовой трансформатор, трансформаторное масло, контроль влагосодержания, добротность, уравнения регрессии, датчик влажности, микропроцессор, мониторинг параметров.

JASIM J. M. JASIM, B. NEVZLIN, A. SYRISOV, D. POLOVINKA
«Volodymyr Dahl East Ukrainian National University»

The Improvement of the Method Moisture Control of Oil and Insulation of Power Transformers. The work is devoted to the improvement of methods of controlling the moisture content in transformer oil and the creation of the device, which allows to conduct this monitoring continuously during operation of power transformers. There are many researches providing us sufficient information about the negative effects of moisture on the electrical properties of the transformer oil and insulation about methods of control on its parameters. Simultaneously there are no control methods that allow us monitoring the moisture content with sufficient accuracy during the exploitation of Power Transformers. In addition there are no criteria of limits for moisture content. In order to identify factors influencing the aging of the oil, to determine the criteria for this effect and to develop recommendations to improve the operational reliability of the Power Transformers conducted data collection and processing of information about the parameters of the Transformer oil. Based on the standard test of Transformer oil defined interdependence correlation parameters of Transformer oil and installed the most significant influences, the main of which is moisture. It is designed the mathematical model in the form of multiple regression equation depending of the breakdown voltage of the Transformer oil on the factors studied. It is established maximum allowable value of moisture and good quality of Transformer oil. It is proposed a method for determination of moisture content on its quality. Based on the method it is developed scheme and algorithm of microprocessor device of moisture control with sufficient accuracy. This device allows us to monitor the control of moisture levels directly in the exploitation of Power Transformer, which increases its operational reliability.

Key words: power transformer, transformer oil, control of moisture, quality, correlation relations, regression equation, detector of moisture, algorithm of device, microprocessor, monitoring and controlling of parameters.