

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГЛАВНОЙ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

А.С. Серебряков

ORCID: 0000-0002-7455-2348 e-mail: a.sereb@mail.ru

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
Княгинино, Россия

Д.А. Семенов

ORCID: 0000-0002-9228-6864 e-mail: xxxmy@mail.ru

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
Княгинино, Россия

Е.А. Сбитнев

ORCID: 0000-0002-7114-6934 e-mail: evgenij.sbitnev@yandex.ru

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
Княгинино, Россия

А.В. Сидорова

ORCID: 0000-0003-3135-1914 e-mail: smanya11.05@mail.ru

Нижегородский государственный инженерно-экономический университет
Княгинино, Россия

Описывается один из методов диагностики главной изоляции масляных трансформаторов, позволяющий оценить его остаточный ресурс. Техническая эксплуатация трансформаторов показала, что, кроме ресурса изоляции, необходимо знать причины его снижения. Представлены результаты испытаний двух различных по назначению и конструкции трансформаторов в трех этапах – без бака и масла; без масла с баком; в баке с залитым маслом. По результатам этих испытаний выявлено, что быстрая экспонента характеризует старение трансформаторного масла. Исходя из этого, можно своевременно предотвратить отказ трансформатора либо вывод его в ремонт.

Ключевые слова: быстрая экспонента, возвратное напряжение, диагностика, напряжение саморазряда, остаточный ресурс, трансформаторы.

Для цитирования: Серебряков А.С., Семенов Д.А., Сбитнев Е.А., Сидорова А.В. Техническая диагностика главной изоляции силовых трансформаторов. Определение остаточного ресурса // Интеллектуальная Электротехника. 2023. № 4. С. 108-122. DOI: 10.46960/2658-6754_2023_4_108

TECHNICAL DIAGNOSTICS OF POWER TRANSFORMERS MAIN INSULATION. DETERMINATION OF REMAINING RESOURCE

A.S. Serebryakov

ORCID: **0000-0002-7455-2348** e-mail: **a.sereb@mail.ru**
Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics
Knyaginino, Russia

D.A. Semenov

ORCID: **0000-0002-9228-6864** e-mail: **xxxmy@mail.ru**
Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics
Knyaginino, Russia

E.A. Sbitnev

ORCID: **0000-0002-7114-6934** e-mail: **evgenij.sbitnev@yandex.ru**
Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics
Knyaginino, Russia

A.V. Sidorova

ORCID: **0000-0003-3135-1914** e-mail: **smany11.05@mail.ru**
Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics
Knyaginino, Russia

Abstract. The paper describes one of the methods of diagnostics of the main insulation of oil transformers, which allows to estimate its residual life. Technical operation of transformers has shown that in addition to the insulation resource, it is necessary to know the reasons for its decline. The results of tests of two transformers of different purpose and design in three stages are presented – without a tank and oil; without oil with a tank; in a tank with filled oil. According to the results of the analysis of these tests, it was revealed that a fast exponent characterizes the aging of transformer oil. It is possible to prevent the failure of the transformer in a timely manner or its withdrawal for repair based on these results.

Key words: diagnostics, fast exponent, return voltage, residual life, self-discharge voltage, transformers.

For citation: A.S. Serebryakov, D.A. Semenov, E.A. Sbitnev and A.V. Sidorova. “Technical diagnostics of power transformers main insulation. Determination of remaining resource”, *Smart Electrical Engineering*, no. 4, pp. 108-122, 2023.

DOI: 10.46960/2658-6754_2023_4_108

1. Введение

Совершенствование методов оценки технического состояния силовых трансформаторов остается одной из актуальных задач [1]. Техническую диагностику силовых маслонаполненных трансформаторов могут представлять модели, позволяющие идентифицировать бездефектное состояние по ряду различных диагностических параметров, среди которых:

- параметры схемы замещения (по изменению активного сопротивления обмоток судят о целостности электрических цепей и состоянии контактных соединений) [2];
- однородная статистика многолетних наблюдений за характеристиками бумаги и масла [3];
- периодический хроматографический анализ растворенных в масле газов (ХАРГ) [4];
- модель двухэтапного алгоритма выявления характера прогнозируемого дефекта и оценка технического состояния маслонаполненного силового трансформатора в условиях нечеткости, неопределенности и неполноты об объекте диагностики [5];
- высоковольтные испытания изоляции [6];
- физико-химический анализ жидкого диэлектрика [7].

Все модели имеют свои преимущества и недостатки.

Техническое состояние силовых трансформаторов и остаточный ресурс их работы наиболее объективно можно определить, измеряя такие диагностические параметры, как напряжение саморазряда и возвратное напряжение [8]. С этой целью авторами были проведены испытания разных трансформаторов при помощи устройства для диагностики электрической изоляции УДЭИ-1 [9]. Это устройство служит для диагностики главной изоляции трансформаторов, тяговых электродвигателей и кабелей с пропитанной бумажной изоляцией (ПБИ). По результатам измерения определяется остаточный ресурс испытываемых объектов.

2. Цели и задачи исследования

Прибор УДЭИ-1 включает в себя регулируемый высоковольтный источник питания от 500 до 2500 В, высоковольтные реле, датчик тока и датчик напряжения, который управляется ноутбуком с помощью разработанного авторами программного обеспечения.

В [9] показано, как с помощью УДЭИ-1 снимаются диагностические параметры высоковольтной изоляции – напряжение саморазряда U_c и возвратное напряжение U_v , по которым определяется остаточный ресурс изоляции трансформаторов. С целью углубления исследований и выявления возможной причины снижения ресурса нами было проведено исследование кривых напряжения саморазряда U_c и возвратного напряжения U_v , при ис-

питании разных трансформаторов: масляного распределительного герметизированного трансформатора ТМГ-100/35/0,4, после капитального ремонта и нового печного трансформатора ЭТЦПК 7500/10-У2.

III. Материалы и методы

Испытания первого трансформатора ТМГ-100/35/0,4 проводились при подаче высокого напряжения 2500 В на сторону ВН при заземленной НН в три этапа: 1 – без бака и масла; 2 – без масла с баком; 3 – в баке с залитым маслом. В результате испытаний были получены реальные зависимости U_c и U_B первого трансформатора (рис. 1).

Остаточный ресурс τ_c изоляции по напряжению саморазряда для трансформатора ТМГ-100/35/0,4 рассчитывался по формуле [9]:

$$\tau_c = \frac{u_{c15}}{30}, \quad (1)$$

где u_{c15} – значение напряжения саморазряда, измеренное на 15-й секунде; 30 В – уменьшение напряжения саморазряда, измеренное на 15-й секунде.

Остаточный ресурс в годах для режимов 1, 2 и 3 (рис. 1, а) при изменении напряжения саморазряда будет равен:

$$\tau_{c.1} = \frac{490}{30} = 16,3; \quad \tau_{c.2} = \frac{625}{30} = 20,8; \quad \tau_{c.3} = \frac{850}{30} = 28,3.$$

Ресурс по возвратному напряжению рассчитывался по формуле:

$$\tau_B = \frac{u_{B, \max} \cdot t_{\max}}{200}, \quad (2)$$

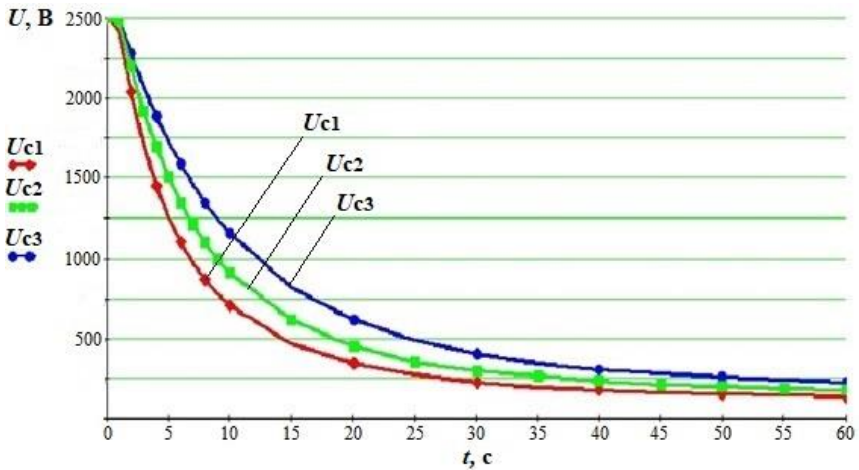
где $u_{B, \max} \cdot t_{\max}$ – произведение максимального возвратного напряжения $u_{B, \max}$ на время t_{\max} возникновения этого максимума.

Остаточный ресурс в годах для режимов 1, 2 и 3 (рис. 1, б) по возвратному напряжению будет равен:

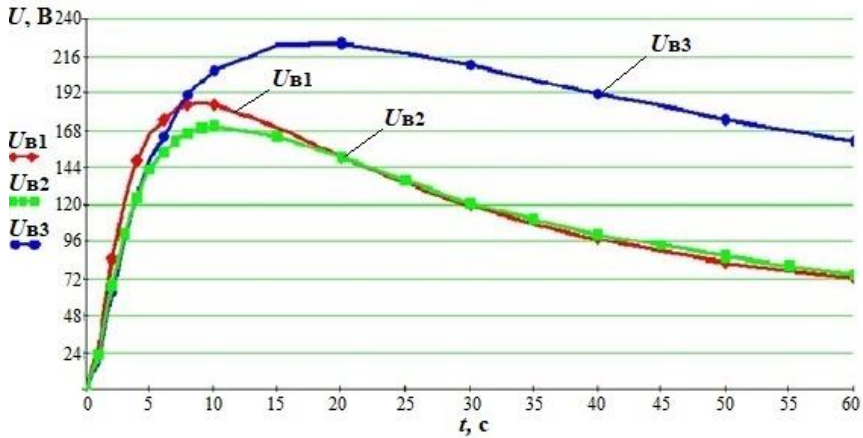
$$\tau_{B1} = \frac{186 \cdot 9}{200} = 8,37; \quad \tau_{B2} = \frac{174 \cdot 10}{200} = 8,7; \quad \tau_{B3} = \frac{226 \cdot 20}{200} = 22,6.$$

Ожидаемый ресурс рассчитывался по формуле:

$$\tau = \sqrt{\tau_{C3} \cdot \tau_{B3}} = \sqrt{28,3 \cdot 22,6} = 25,3.$$



(a)



(б)

Рис. 1. Результаты измерений трансформатора ТМГ-100/35/0,4: кривые напряжения саморазряда в трех режимах испытания (а); кривые возвратного напряжения в трех режимах испытания (б)

Fig. 1. Measurement results of the transformer TMG-100/35/0.4: self-discharge voltage curves in three test modes (a); return voltage curves in three test modes (b)

Аналогичным образом был испытан второй трансформатор ЭТЦПК 7500/10-У2.

Печной трансформатора ЭТЦПК 7500/10-У2 является специальным трансформатором. Он предназначен для обеспечения стабильного и надежного питания дуговых сталеплавильных электропечей промышленного назначения.

Трансформатор допускает эксплуатацию в течение длительного времени при максимальной нагрузке. Система охлаждения с принудительной циркуляцией воды и масла обеспечивает эффективное рассеивание тепла. Изменение уровня напряжения возможно дистанционным путем. Число положений переключателя – 12. Ввиду указанных особенностей конструкции электропечного трансформатора несколько отличаются и его диагностические параметры.

Испытания проводились при подаче высокого напряжения на сторону ВН, при заземленной стороне НН в следующие три этапа: 1 – без бака и масла до просушки изоляции после сборки; 2 – без бака и масла после просушки; 3 – в баке с маслом. В результате были получены реальные зависимости U_c и U_b второго трансформатора при разных этапах испытаний, показанные на рис. 2, а и б соответственно.

Остаточный ресурс τ_c изоляции по напряжению саморазряда для трансформатора ЭТЦПК 7500/10-У2, как показали проведенные исследования, следует рассчитывать по формуле [9]:

$$\tau_c = \frac{u_{c15}}{50}, \quad (3)$$

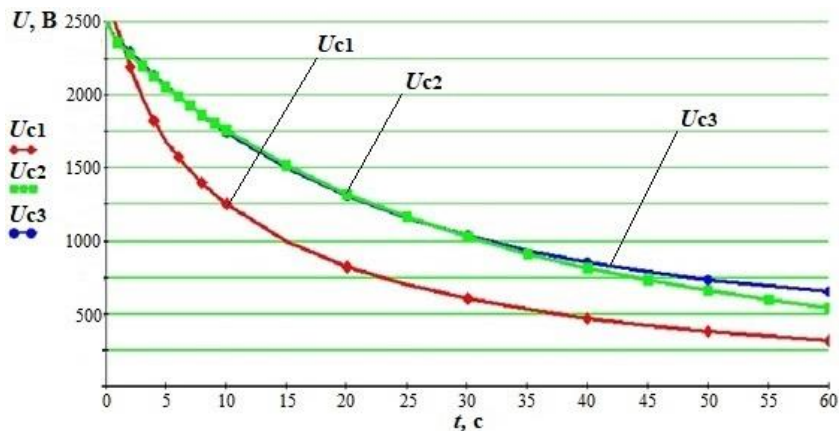
где u_{c15} – величина напряжения саморазряда, измеренная на 15 секунде; 50 В – уменьшение напряжения саморазряда на 15-й секунде за один год.

Остаточный ресурс в годах для режимов 1, 2 и 3 (рис. 2, а) при изменении напряжения будет равен:

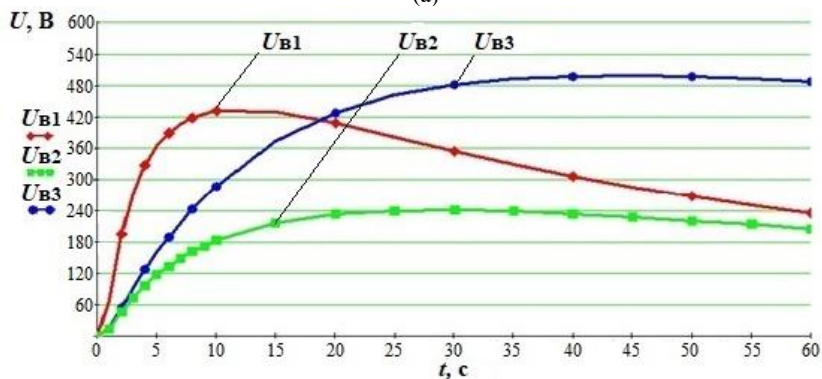
$$\tau_{c.1} = \frac{1000}{50} = 20; \quad \tau_{c.2} = \frac{1500}{50} = 30; \quad \tau_{c.3} = \frac{1500}{50} = 30.$$

Ресурс по возвратному напряжению следует рассчитывать по формуле:

$$\tau_b = \frac{u_{b, \max} \cdot t_{\max}}{660}. \quad (4)$$



(a)



(б)

Рис. 2. Результаты измерений трансформатора ЭТЦПК 7500/10-У2: кривые напряжения саморазряда в трех режимах испытания (а); кривые возвратного напряжения в трех режимах испытания (б)

Fig. 2. Measurement results of the ETCPC 7500/10-U2 transformer: self-discharge voltage curves in three test modes (a); return voltage curves in three test modes (b)

Остаточный ресурс в годах для режимов 1, 2 и 3 (рис. 2, б) по возвратному напряжению будет равен:

$$\tau_{B1} = \frac{430 \cdot 10}{660} = 6,5; \tau_{B2} = \frac{240 \cdot 30}{660} = 10,9; \tau_{B3} = \frac{500 \cdot 40}{660} = 30,3.$$

Ожидаемый ресурс рассчитывался по формуле:

$$\tau = \sqrt{\tau_{c,3} \cdot \tau_{в3}} = \sqrt{30 \cdot 30,3} = 30,1.$$

Приведенные формулы позволяют определить остаточный ресурс главной изоляции трансформатора. Значения остаточного ресурса, определенные по напряжению саморазряда и по возвратному напряжению для трансформаторов с маслом, практически совпадают.

Как показал опыт эксплуатации, не всегда бывает достаточно знать только остаточный ресурс главной изоляции трансформаторов. Необходимо знать и причину снижения ресурса для ее устранения [10]. Дальнейшие исследования заключались в том, чтобы разложить кривые саморазряда на составляющие, как это показано в [9].

По ранее проведенным исследованиям [9] было установлено, что главная изоляция трансформатора может быть представлена трехслойной моделью. Соответственно, кривая саморазряда в этом случае описывается тремя составляющими экспонентами – медленной, средней и быстрой. Исходя из этого, можно предположить, что каждая экспонента соответствует определенному слою изоляции трансформатора [9], а именно маслу, трансформаторной бумаге и компаундам.

По результатам разложения кривой саморазряда на экспоненциальные составляющие можно провести более глубокую диагностику изоляции.

Напряжение саморазряда будет равно сумме напряжений на отдельных слоях изоляции, т.е. будет равно сумме трех экспонент – медленной, средней и быстрой:

$$U_c = U_{01} e^{-\frac{t}{\tau_1}} + U_{02} e^{-\frac{t}{\tau_2}} + U_{03} e^{-\frac{t}{\tau_3}}, \quad (5)$$

где $\tau_1 = R_1 C_1$, $\tau_2 = R_2 C_2$, $\tau_3 = R_3 C_3$ – постоянные времени саморазряда слоев изоляции, т.е. постоянные времени экспонент – медленной, средней и быстрой; U_{01} , U_{02} , U_{03} – напряжения на слоях в начальный момент времени саморазряда.

Кривые напряжения саморазряда U_c первого трансформатора, показанные на рис. 1, при подаче испытательного напряжения 2500 В аппроксимируются суммой следующих экспонент (рис. 3):

– при 1 этапе испытания без бака и масла (рис. 3, а):

$$U_c = 252 \cdot e^{-\frac{t}{95,6}} + 1358 \cdot e^{-\frac{t}{8,3}} + 812 \cdot e^{-\frac{t}{2,8}}.$$

– при 2 этапе без масла с баком (рис. 3, б):

$$U_c = 336 \cdot e^{-\frac{t}{94}} + 1827 \cdot e^{-\frac{t}{8,2}} + 322 \cdot e^{-\frac{t}{2,4}}.$$

– при 3 этапе в баке с залитым маслом (рис. 3, в):

$$U_c = 554 \cdot e^{-\frac{t}{67}} + 1946 \cdot e^{-\frac{t}{8,4}}.$$

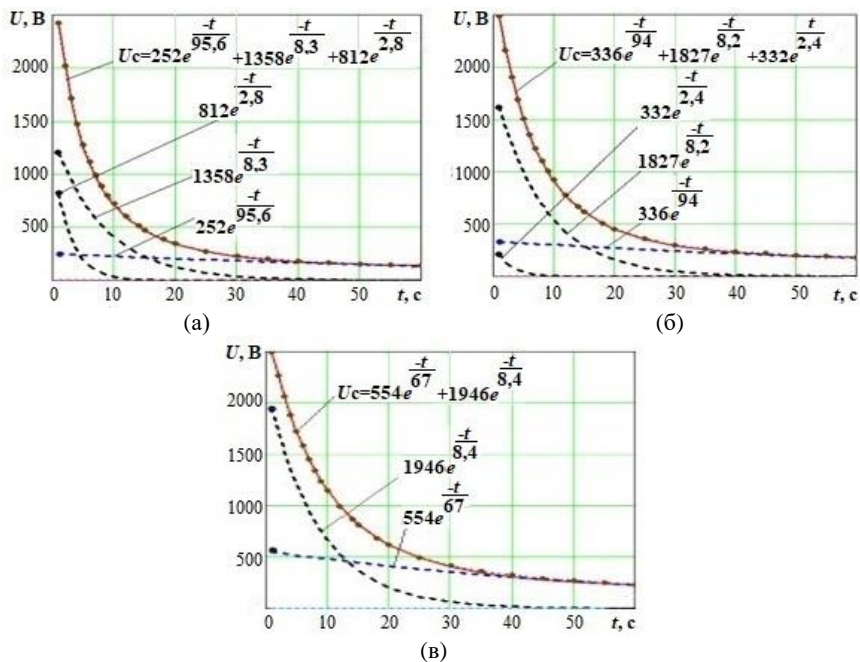


Рис. 3. Кривые напряжения саморазряда U_c трансформатора ТМГ-100/35/0,4: при 1 этапе испытания без бака и масла (а); при 2 этапе без масла с баком (б); при 3 этапе в баке с залитым маслом (в)

Fig. 3. Self-discharge voltage curves of the U_c transformer TMG-100/35/0.4: at the 1st stage of the test without a tank and oil (a); at the 2nd stage without oil with a tank (b); at the 3rd stage in a tank filled with oil (v)

В результате аппроксимации кривой напряжения саморазряда U_c второго трансформатора, показанной на рис. 2, были получены суммы следующих экспонент (рис. 4):

– при 1 этапе испытания без бака и масла до просушки изоляции после сборки (рис. 4, а):

$$U_c = 830 \cdot e^{-\frac{t}{59,9}} + 1195 \cdot e^{-\frac{t}{11,9}} + 728 \cdot e^{-\frac{t}{3,1}}.$$

– при 2 этапе без бака и масла после просушки (рис. 4, б):

$$U_c = 1443 \cdot e^{-\frac{t}{57,9}} + 931 \cdot e^{-\frac{t}{17,2}} + 63,2 \cdot e^{-\frac{t}{7,5}}.$$

– при 3 этапе в баке с маслом (рис. 4, в):

$$U_c = 874,6 \cdot e^{-\frac{t}{151,2}} + 1581 \cdot e^{-\frac{t}{18,5}}.$$

Экспериментальные исследования показали, что, несмотря на разницу в конструкции двух трансформаторов, в напряжении саморазряда появляется общая закономерность. Она заключается в том, что кривые напряжения саморазряда содержат три ярко выраженные экспоненты: быструю с постоянной времени $\tau_1 = 0,5 \div 8$ с; среднюю с постоянной времени $\tau_2 = 8 \div 20$ с и медленную с постоянной времени $\tau_3 = 5,5 \div 155$ с.

На рис. 3 и 4 видно, что быстрая экспонента присутствует, когда нет масла, а после заливки масла она исчезает – это говорит об влиянии масла на эту экспоненту. Можно сделать вывод, что при увеличении быстрой экспоненты ухудшаются свойства масла, и значит, для повышения остаточного ресурса достаточно провести регенерацию или замену масла. Если в процессе эксплуатации происходит уменьшение средней и медленной экспоненты, это говорит о разрушении изоляции обмотки и барьера между обмотками.

По проведенным исследованиям видно, что напряжение саморазряда у трансформатора без бака и масла до просушки ниже, чем после просушки и при наличии масла. На рисунках хорошо отражено, как параметр напряжение саморазряда увеличивается после просушки и после заливки масла.

IV. Результаты

Проведенный анализ показал (рис. 5), как влияет изменение состояния изоляции на быструю экспоненту. Следовательно, по ее величине можно судить о состоянии масла в баке трансформатора, т.е. нужно знать быструю экспоненту. Нужны приборы, которые позволяют это сделать, например, прибор УДЭИ-1.

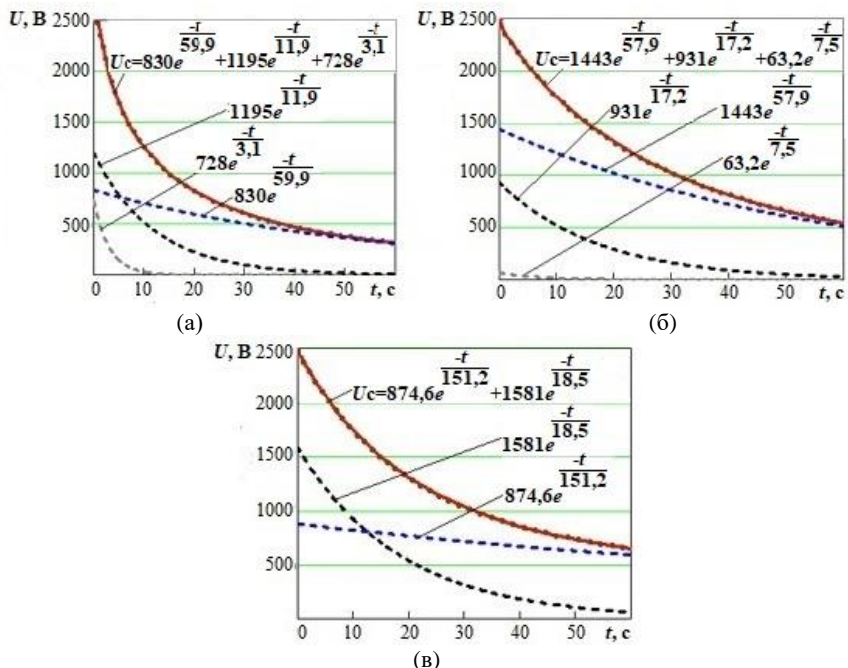


Рис. 4. Кривые напряжения саморазряда U_c трансформатора ЭТЦПК 7500/10-U2: без бака и масла до просушки изоляции после сборки (а); без бака и масла после просушки (б); в баке с маслом (в)

Fig. 4. Self-discharge voltage curves of the U_c transformer ETСPC 7500/10-U2: without tank and oil before drying the insulation after assembly (a); without tank and oil after drying (b); in a tank with oil (v)

В. Заключение

1. Быстрая экспонента характеризует старение трансформаторного масла. Соответственно, возникает необходимость разложения полученных кривых напряжения саморазряда на составляющие экспоненты, дающие новую информацию о состоянии слоев изоляции. Большинство существующих приборов не дает возможность измерения быстрой экспоненты, поскольку она быстро затухает.

2. По возвратному напряжению видно, что диагностический параметр произведение максимального возвратного напряжения на время возникновения этого максимума ($U_{\text{Вмакс}} \cdot t_{\text{макс}}$) всех ниже, а после просушки этот параметр увеличивается, также это произведение увеличивается в разы

после заливки масла, что снова говорит о влиянии масла на данный параметр, соответственно по произведению максимального значения возвратного напряжения и времени возникновения этого максимума можно судить не только об остаточном ресурсе но и о качестве масла.

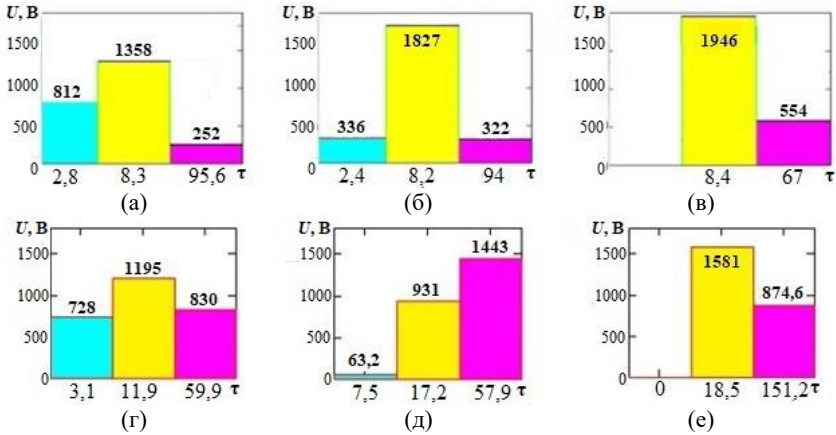


Рис. 5. Гистограммы распределения напряжений на слоях изоляции для двух трансформаторов: распределительного трансформатора ТМГ-100/10/0,4 – без бака и масла (а); без масла с баком (б); в баке с залитым маслом (в); электропечного трансформатора ЭТЦПК 7500/10-У2 – без бака и масла до просушки изоляции после сборки (г); без бака и масла после просушки (д); в баке с маслом (е)

Fig. 5. Histograms of voltage distribution on insulation layers for two transformers: distribution transformer TMG-100/10/0.4 – without tank and oil (a); without oil with tank (b); in tank with filled oil (v); electric furnace transformer ETSPK 7500/10-U2 – without tank and oil before insulation drying after assembly (г); without tank and oil after drying (д); in the oil tank (e)

На основе данной информации можно своевременно предотвратить отказ трансформатора и точно установить, достаточно ли будет заменить масло для восстановления ресурса трансформатора, или же трансформатор требует перемотки.

© Серебряков А.С., 2023

© Семенов Д.А., 2023

© Сбитнев Е.А., 2023

© Сидорова А.В., 2023

Поступила в редакцию 04.05.2023

Принята к публикации 27.05.2023

Received 04.05.2023

Accepted 27.05.2023

Библиографический список

- [1] Назарычев А.Н., Мельникова О.С., Сулыненков И.Н. Диагностика главной изоляции силовых трансформаторов по статистическому критерию электрической прочности масла // *Электричество*. 2022. № 9. С. 22-32. DOI: 10.24160/0013-5380-2022-9-22-32
- [2] Дорожко С.В. Диагностика однофазного силового трансформатора в рабочем режиме // *Известия высших учебных заведений. Электромеханика*. 2015. № 1. С. 49-50. DOI: 10.17213/0136-3360-2015-1-49-52
- [3] Керимкулов Н.Н., Левин В.М. Идентификация параметров бездефектного состояния маслонаполненных трансформаторов // *Научный вестник Новосибирского государственного технического университета*. 2016. № 4 (65). С. 194-206. DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-194-206
- [4] Макашева С.И., Пинчуков П.С. Мониторинг состояния масляной изоляции тяговых трансформаторов на основе анализа растворенных газов // *Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона*. 2021. № 2 (27). С. 57-62.
- [5] Дагаева М.В., Каташёва Д.В., Каташёв А.С., Кирпичников А.П. Нечеткая экспертная система диагностики маслонаполненных силовых трансформаторов // *Вестник Технологического университета*. 2018. Т. 21. № 2. С. 148-154.
- [6] Шонин Ю.П. Оценка технологического состояния силовых масляных трансформаторов // *Библиотека электротехника*. 2019. № 12 (252). С. 3-90.
- [7] Высогорец С.П. Прогнозирование остаточного ресурса масел силовых трансформаторов на основе анализа качества жидкого диэлектрика // *Надежность и безопасность энергетики*. 2016. № 1 (32). С. 50-54.
- [8] Серебряков А.С. *Трансформаторы*. М.: МЭИ, 2013. – 360 с.
- [9] Серебряков А.С., Семенов Д.А. Определение оставшегося ресурса главной изоляции распределительных трансформаторов // *Электротехника*. 2013. № 6. С. 2-8.
- [10] Irungu G.K., Akumu A.O., Munda J.L. Transformer condition assessment using dissolved gas analysis, oil testing and evidential reasoning approach // 2015 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC), Jun. 07-10, 2015, Seattle, WA, USA: IEEE, 2015. P. 145-149. DOI: 10.1109/ICACACT.2014.7223490

References

- [1] A.N. Nazarychev, O.S. Mel'nikova and I.N. Sulynenkov, "Diagnostics of power transformer main insulation according to the oil dielectric strength statistical criterion", *Electricity*, no. 9, pp. 22-32, 2022. DOI: 10.24160/0013-5380-2022-9-22-32
- [2] S.V. Dorozhko, "Diagnosis of a single phase power transformer in operating mode", *Bulletin of Higher Educational Institutions. Electromechanics*, no. 1, pp. 49-50, 2015. DOI: 10.17213/0136-3360-2015-1-49-52

-
- [3] N.N. Kerimkulov and V.M. Levin, "Identification of faultless condition parameters of oil-filled transformers", *Science Bulletin of the Novosibirsk State Technical University*, vol. 4, no. 65, pp. 194-206, 2016. DOI: 10.17212/1814-1196-2016-4-194-206
- [4] S.I. Makasheva and P.S. Pinchukov, "Traction transformer oil insulation monitoring on the bases of dissolved gas analysis", *Transport of the Asia-Pacific Region*, vol. 2, no. 27, pp. 57-62, 2021.
- [5] M.V. Dagaeva, D.V. Katsyova, A.S. Katsyov and A.P. Kirpichnikov, "Fuzzy expert system of oil-filled power transformer diagnostics", *Herald of Technological University*, vol. 21, no. 2, pp. 148-154, 2018.
- [6] Yu.P. Shonin, "Otsenka tekhnologicheskogo sostoyaniya silovykh maslyanykh transformatorov [Assessment of the technological state of power oil transformers]", *Electrical Engineering Library*, vol. 12, no. 252, pp. 3-90, 2019 (in Russian).
- [7] S.P. Vysogorets, "Prognozirovaniye ostatochnogo resursa masel silovykh transformatorov na osnove analiza kachestva zhidkogo dielektrika [Predicting the residual life of power transformer oils based on the analysis of the quality of liquid dielectric]", *Reliability and safety of energy*, vol. 1, no. 32, pp. 50-54, Jan. 2016 (in Russian).
- [8] A.S. Serebryakov, *Transformatory [Transformers]*. Moscow: MPEI, 2013 (in Russian).
- [9] A.S. Serebryakov and D.A. Semenov, "Opredeleniye ostavshegosya resursa glavnoy izolyatsii raspredelitel'nykh transformatorov [Determination of the remaining resource of the main insulation of distribution transformers]", *Elektrotehnika*, no. 6, pp. 2-8, Jun. 2013 (in Russian).
- [10] G.K. Irungu, A.O. Akumu and J.L. Munda, "Transformer condition assessment using dissolved gas analysis, oil testing and evidential reasoning approach", in *proc. 2015 IEEE Electrical Insulation Conference (EIC)*, Jun. 07-10, 2015, Seattle, WA, USA, pp. 145-149. DOI: 10.1109/ICACACT.2014.7223490

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ
INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Серебряков Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, г. Княгинино, Российская Федерация.

Aleksandr S. Serebryakov, D. Sci. (Eng.), professor of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russian Federation.

Семенов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, г. Княгинино, Российская Федерация.

Dmitriy A. Semenov, Cand. Sci. (Eng.), associate professor of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russian Federation.

Сбитнев Евгений Александрович, старший преподаватель Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, г. Княгинино, Российская Федерация.

Evgeniy A. Sbitnev, senior lecturer of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russian Federation.

Сидорова Анна Владимировна, старший преподаватель Нижегородского государственного инженерно-экономического университета, г. Княгинино, Российская Федерация.

Anna V. Sidorova, senior lecturer of the Nizhny Novgorod State University of Engineering and Economics, Knyaginino, Russian Federation.