

Авторы:
Федоров Ю.А.,
Ассоциация «ИнТЭК»,

к.т.н. Шевцов В.М.,
г. Чебоксары, Россия.

НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА УСКОРЕННОЙ ДИАГНОСТИКИ РПН СИЛОВЫХ ТРЕХФАЗНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Аннотация: способы и устройства диагностики процесса переключения контактора РПН силовых трансформаторов 110 кВ и 220 кВ без вскрытия бака РПН иллюстрируются примерами применения и нахождения дефектов.

Ключевые слова: электроэнергетика, силовые трансформаторы, регуляторы напряжения под нагрузкой, диагностика без вскрытия РПН, осциллографирование.

Надежность электроснабжения промышленных предприятий, городов и сельского хозяйства во многом зависит от надежности силовых трансформаторов (СТ) электрических подстанций. Однако на сегодняшний день в энергосистемах России значительное количество СТ напряжением 110 и 220 кВ эксплуатируются более 25 лет. Потому актуально продление срока эксплуатации электрооборудования с длительным сроком эксплуатации, что обеспечивается в том числе полноценной и своевременной их диагностикой.

В общем количестве развивающихся дефектов в СТ неисправности регуляторов напряжения под нагрузкой (РПН) занимают второе место после неисправностей вы-

соковольтных вводов. В системе электроэнергетики России диагностику устройств РПН осуществляют методами, для которых необходимо вскрывать их баки и сливать трансформаторное масло [1, 2] (рис. 1). Потому эти испытания не допустимы при высокой влажности и отрицательной температуре окружающей среды: как правило, эти трудоемкие процессы проводятся в летний период при благоприятной погоде.

Таким образом, работы по поиску способов диагностики РПН СТ без вскрытия актуальны и имеют научно-практическую значимость.

Ниже изложены ускоренные способы диагностики РПН СТ и измерения активного сопротивления обмоток с выведенной нейтралью СТ. Их объединяет единый принцип использования для диагностики трехканального источника напряжения постоянного тока (ТИНПТ), благодаря чему ускоряются переходные процессы, возникающие при переключении РПН.

Оценка параметров процесса переключения контактов контактора РПН без его вскрытия

В работе [3-4] нами предложены способ диагностики переключения контактора РПН СТ без вскрытия бака РПН и устройство для его реализации (рис. 2). Получен Патент РФ на изобретение. Это техническое решение [3] включено в 2007 г. Роспатентом в базу данных «Перспективные изобретения». Позже за рубежом способ назван DRM-test (Dynamic Resistance Measurement-test) – метод динамического измерения сопротивления [5].

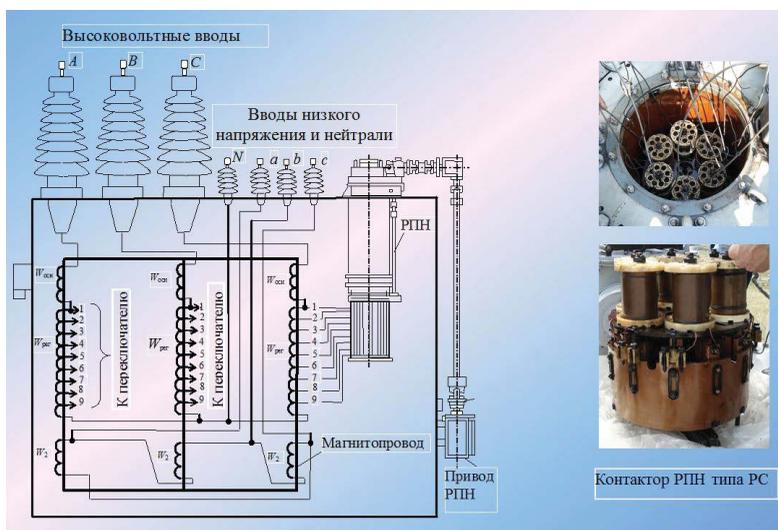


Рис. 1. Расположение РПН силового трансформатора 110/10 кВ



Федоров

Юрий Алексеевич

Дата рождения: 23.06.1964. В 1986 г. окончил электротехнический факультет ЧГУ им. И.Н. Ульянова, в 1995 г. — там же аспирантуру (руководитель — Шевцова В.М.). Заслуженный изобретатель Чувашской Республики, член РНК СИГРЭ. В настоящее время — заведующий испытательной лаборатории ЭМС Ассоциации «ИнТЭК».



Шевцов

Виктор Митрофанович

01.01.1939-31.01.2018. В 1961 г. окончил НПИ, в 1971 г. — аспирантуру Московского электротехнического института связи. Заслуженный изобретатель Чувашской Республики, член РНК СИГРЭ, профессор кафедры «ТОЭиРЗА» ЧГУ им. И.Н. Ульянова, руководитель технического отдела ООО НПП «ЭКРА».

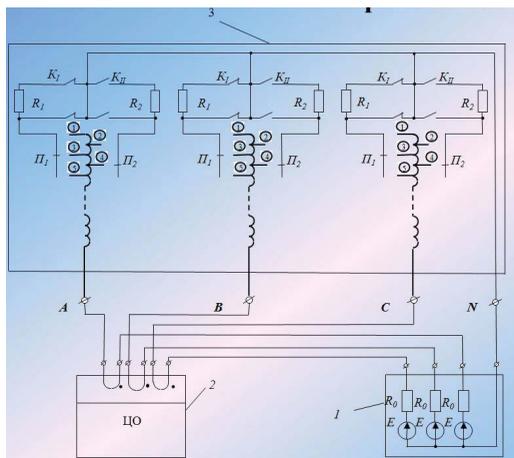


Рис. 2. Устройство для диагностирования переключения контактора РПН СТ:

1 — трехканальный источник напряжения постоянного тока; **2** — цифровой осциллограф; **3** — силовой трансформатор; K_1, K_2 — контактная система первого и второго плеча контактора соответственно; R_1, R_2 — токоограничивающие резисторы; Π_1, Π_2 — переключатели; E — ЭДС внешнего источника постоянного напряжения; R_0 — внутреннее сопротивление внешнего источника

Устройство для диагностирования переключения контактора РПН предусматривает подключение цифрового осциллографа и ТИНПТ непосредственно к вводам высоковольтной обмотки СТ и нейтрали. График осциллографируемого тока СТ изображен на рис. 3. Способ предусматривает нахождение на графиках тока участков монотонности. При этом кривая разбивается на пять интервалов времени. Для каждого положения контактора при переключении составлены RL-модели, параметры которых связаны с параметрами устройства (рис. 4). График тока сопоставлен с графиком, полученным традиционным способом.

На рис. 5 приводятся примеры осциллограмм исправного контактора РПН в СТ, эксплуатируемого с 1976 г.: до недавнего времени электросетевые организации для продления ресурса РПН переключали его крайне редко в ручном режиме, например, несколько раз в год.

На рис. 6-8 показано, как с помощью предложенного способа были локализованы дефекты в РПН типа РС-4 силового трансформатора ТМН-6300/110. Изображенный на рис. 7 редко встречающийся дефект определяется только методом осциллогра-

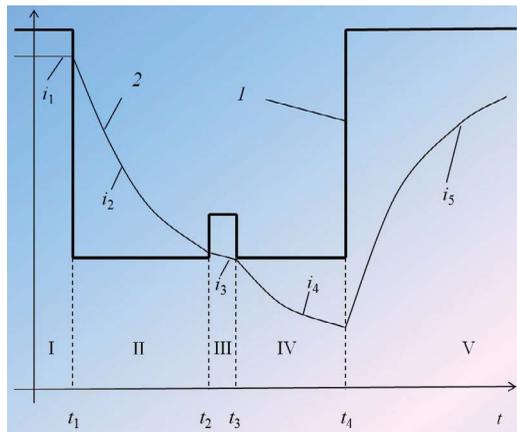


Рис. 3. Осциллограммы токов исправного контактора РПН: 1, 2 — для традиционного и предложенного способов

фирования после вскрытия бака РПН. На рис. 8 приводятся осциллограммы трех СТ 220/10 кВ подстанции «Абашево», где дефект контактора РПН обнаружен на трансформаторе, выпущенном заводом-изготовителем на 2 года позже двух аналогичных трансформаторов подстанции.

Оценка параметров процессов переключения контакторов РПН типа РНОА

Приведенный выше способ распространен нами и для диагностики однофазных РПН силовых автотрансформаторов 220 кВ [6]. РПН типа РНОА-110/1000 установлен на линейных выводах обмотки 110 кВ автотрансформатора 220 кВ. Каждая фаза имеет обособленный электрический привод РПН, потому синхронное переключение контактов контактора разных фаз практически невозможно.

Из-за влияния магнитопровода и неодновременности переключения данного типа РПН осциллографируемые токи искажаются настолько, что последующий анализ их может быть затруднен. В связи с этим предлагается способ существенного снижения магнитной связи путем создания на каждой фазе СТ взаимно компенсирующих магнитодвижущих сил путем расщепления осциллографируемого тока на два равных тока и проведения их по фазной обмотке в противоположных направлениях. На рис. 9 представлено устройство, реализующее указанный способ. Ниже на рис. 10 приводятся осциллограммы, с помощью которых был вы-

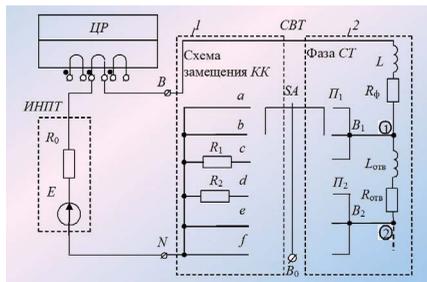


Рис. 4. Упрощенная схема замещения цепи «фаза – нейтраль» СВТ относительно высоковольтного ввода с подключаемым ИНПТ и ЦР: ИНПТ – источник напряжения постоянного тока с ЭДС E и активным сопротивлением R_0 ; ЦР – цифровой регистратор; СВТ – обмотка фазы В трансформатора с индуктивностью L , сопротивлением R_ϕ и контактором РПН; 1 – модель контактора РПН с токоограничивающими резисторами R_1, R_2 , представленная в виде пятипозиционного переключателя SA; 2 – модель обмотки фазы В трансформатора с индуктивностями $L, L_{отв}$, сопротивлениями $R_\phi, R_{отв}$ и переключателями Π_1, Π_2

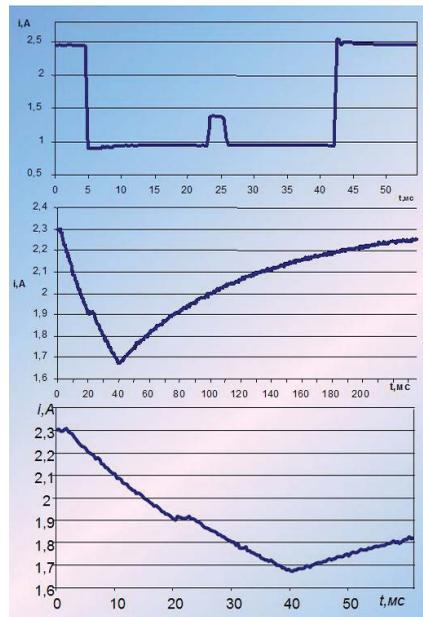


Рис. 5. Осциллограммы токов исправного контактора РПН. Подстанция «Заволжская» ОАО «МРСК Волги» – «Чувашэнерго»:
 • трансформатор типа ТДН-16000/110/10 (год изготовления – 1976);
 • РПН типа РС-4;
 • 1 – осциллограмма получена традиционным способом измерения;
 • 2, 3 – измерение предложенным способом; на третьем рисунке изображен фрагмент осциллограммы второго рисунка

явлен дефект в контакторе фазы С и оценена одновременность пофазного переключения РПН.

Способ контроля круговой диаграммы РПН СТ

При вводе в эксплуатацию новых трансформаторов и трансформаторов, прошедших капитальный ремонт, снимается круговая диаграмма РПН для оценки правильности и точности сочленения вертикального вала привода с переключателем и контактором. В традиционном способе снятия круговой диаграммы факт срабатывания контактов контактора определяется оператором на слух, а замыкание и размыкание контактов переключателя – визуально по загоранию и погасанию сигнальных ламп [1].

В работе [7-9] нами предложен способ автоматического построения круговой диаграммы и устройство для его реализации, с помощью которых определяются моменты срабатывания контактов переключателей и контактора с одновремен-

ной фиксацией углов поворота выходного вала привода РПН (рис. 11). На способ и устройство получен патент РФ на изобретение.

Способ позволяет не только полностью автоматизировать и ускорить процесс измерения, но и повысить точность измерения, избавиться от субъективизма традиционной методики, протоколировать результаты измерений, создать базу данных в электронном виде.

Для снятия круговой диаграммы РПН выполняют следующие операции. На отключенном от сети СТ из емкости контактора сливается трансформаторное масло и вскрывается его бак.

В цифровом осциллографе (ЦО) дискретные входы (D1-D6) обе-

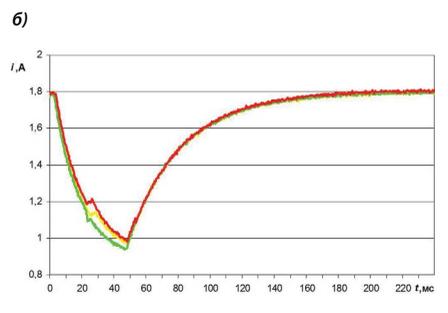
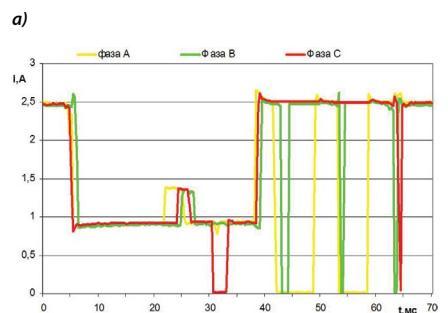
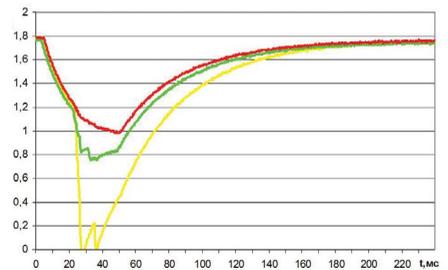


Рис. 6. ПС «Вурманкасинская» ОАО «МРСК Волги» – «Чувашэнерго»:
 • трансформатор типа ТДН-16000/110-76У1 (год изготовления – 1975);
 • РПН типа РС-4;
 • дефект – расщепление главных контактов контактора РПН фазы А после переключения; время расщепления превышает норму;
 • а) – измерение предложенным способом;
 • б) – измерение традиционным способом;
 • в) – измерения после ремонта РПН

спечивают ввод сигналов о состоянии переключателей. На вход D7 подаются выходные импульсы ДУПВ, а три аналоговых канала U_A, U_B, U_C позволяют вводить сигналы процесса переключения контактора РПН. В этой схеме перевод переключателя

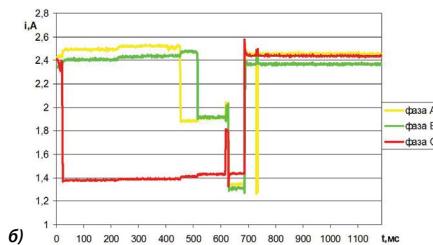
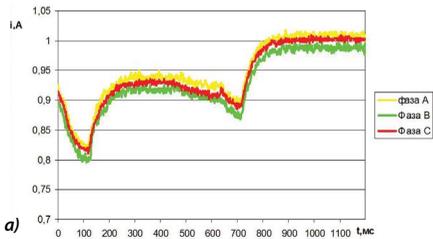


Рис. 7. ПС «Алтышевская» ОАО «МРСК Волги» – «Чувашиэнерго»:

- трансформатор типа ТМН-6300/110 (год изготовления – 1986);
- РПН типа РС-4;
- а) – измерение предложенным способом;
- б) – измерение традиционным способом

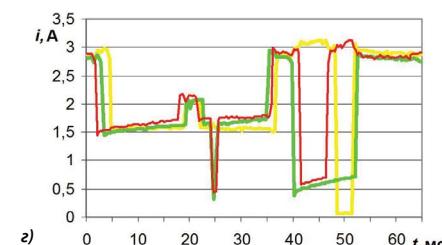
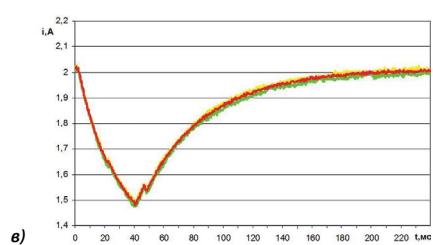
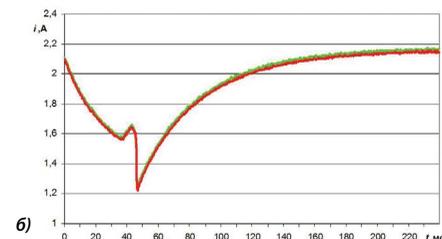
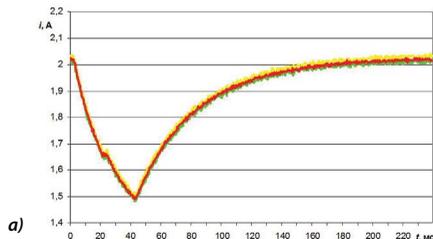


Рис. 8. ПС «Абашево» ВВ ПМЭС:

- энергоснабжение газокompрессорной станции газопровода «Уренгой - Помары - Ужгород»;
- трансформаторы Т-1, Т-2, Т-3 типа ТРДН-63000/220/10/10;
- годы изготовления: Т-1 и Т-2 1988, Т-3 1990;
- РПН типа РС-9;
- развивающийся дефект – расщепление главных контактов РПН фазы С силового трансформатора Т-3;
- а) – осциллограмма фазных токов Т-1;
- б) – осциллограмма фазных токов Т-2;
- в) – осциллограмма фазных токов Т-3;
- г) – осциллограмма фазных токов Т-3 (традиционный способ)

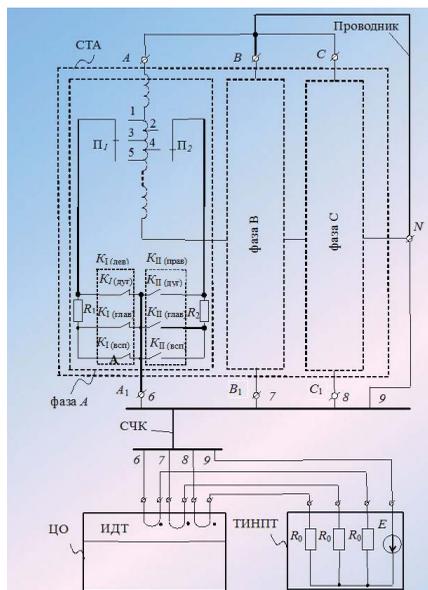


Рис. 9. ТИНПТ – трехканальный источник напряжения постоянного тока; ИДТ – измерительные датчики тока; ЦО – цифровой осциллограф; СЧК – соединительный четырехпроводный кабель; СТА – испытуемый силовой трехфазный автотрансформатор с РПН

теля РПН с одного в другое положение осуществляется посредством электропривода, а весь процесс измерения, регистрации и обработки выполняется автоматически встроенной программой ЦО. Датчик угла поворота соединяется с валом привода РПН, а электронный выход ДУПВ присоединяется к входу D7.

До начала переключения переключателя РПН и после его окончания напряжение на дискретных входах (D1–D6) равно ЭДС ИПН, так как оно подается непосредственно через замкнутые контакты контактора и переключателя. В момент переключения переключателя происходит размыкание цепей одного

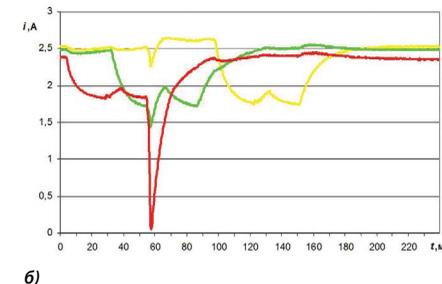
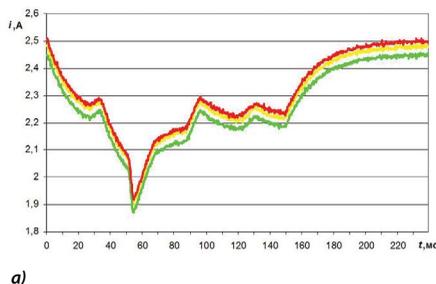
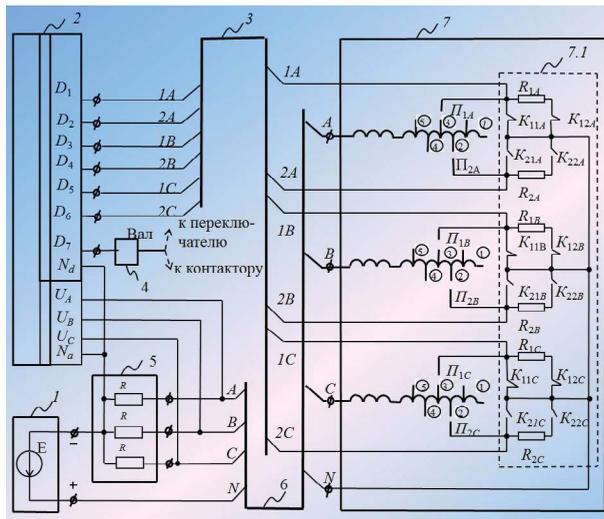


Рис. 10. Зависимости фазных токов i от времени t , полученные для РПН типа РНОА-110/1000 автотрансформатора АТДЦН 125000/220/110/10 ПС «Тюрьема» без устранения (а) и с устранением (б) влияния магнитной связи



Рис. 11. Устройство для снятия круговой диаграммы СТ:

- 1 – источник постоянного напряжения;
- 2 – цифровой осциллограф;
- 3 – шестипроводный кабель;
- 4 – датчик угла поворота вала;
- 5 – блок активных сопротивлений;
- 6 – четырехпроводный кабель;
- 7 – силовой трансформатор с РПН; 7.1 – контактор РПН;
- K_{11x} – главный контакт левого плеча контактора;
- K_{12x} – дугогасительный контакт левого плеча контактора;
- K_{21x} – главный контакт правого плеча контактора;
- K_{22x} – дугогасительный контакт правого плеча контактора;
- R_{1x} – токоограничивающий резистор левого плеча контактора;
- R_{2x} – токоограничивающий резистор правого плеча контактора, где x – фазы А, В, С



из плеч переключателя, и потому происходит кратковременный разрыв цепи питания соответствующего дискретного входа ЦО, при этом напряжение на нем становится равным нулю. С учетом этого в ЦО определяется интервал переключения соответствующего переключателя РПН. Одновременно с входа D7 поступают импульсы с ДУПВ, по количеству которых в ЦО измеряется угол поворота вала.

Для регистрации момента переключения контактора используются три аналоговых входа U_A , U_B ,

U_C ЦО, на каждом из которых напряжение в момент переключения совпадает по форме с осциллограммой тока (рис. 3). ЦО принимает за момент начала процесса переключения контактов контактора РПН момент начала снижения напряжения на входах U_A , U_B , U_C . На рис. 12 приводится пример круговой диаграммы РПН типа РС-9 трансформатора типа ТРДН-63000/220/10/10 (заводской №1411938), снятой при переключении из третьего в четвертое положение РПН. На рис. 13 приводится пример экрана сред-

ства измерения после снятия круговой диаграммы, которая позволяет персоналу оперативно принять решение о корректности сочленения вала привода с переключателем (избирателем) и контактором.

Измерение активного сопротивления обмоток силовых трансформаторов с выведенной нейтралью

Активное сопротивление обмоток трансформатора измеряется методом падения напряжения либо мостовым методом [1]. При измерении сопротивления распространенным мостовым методом затрачивается значительное время, так как после подключения каждой фазы требуется время для установления тока в измерительном приборе (например, для СТ 110/10 кВ это время достигает 30 минут). Активное сопротивление каждой фазы поочередно измеряется на всех положениях РПН. После измерения сопротивлений в фазах рассчитывается относительное отклонение сопротивления, которое сравнивается с нормой в 2%, и при превышении нормы после многократных переключений РПН, рекомендованных нормативными документами, измерения повторяются. Многократные переключения РПН приводят к нормальному значению относительного отклонения сопротивления, например, из-за разрушения оксид-

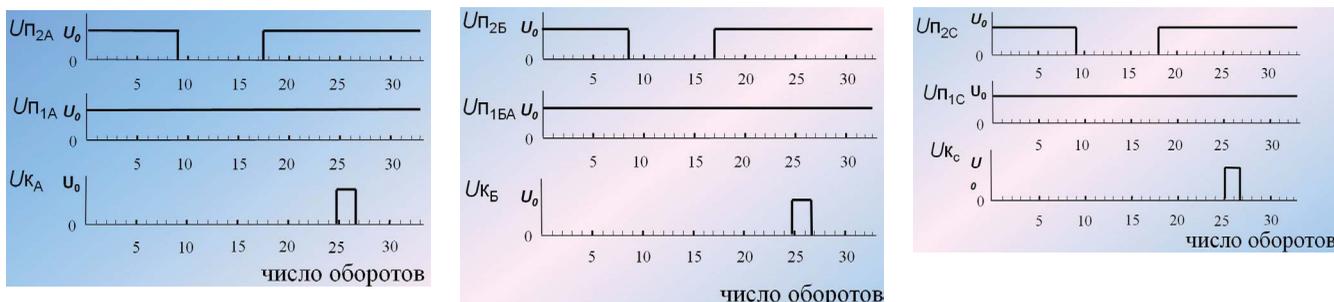


Рис. 12. Круговая диаграмма РПН типа РС-9, снятая при переводе переключателя с 3-го на 4-е положение:

$U_{п1x}$ – положение нечетных контактов переключателей; $U_{п2x}$ – положение четных контактов переключателей; $U_{кx}$ – положение контактов контактора, где x – фазы А, В, С (1 – контакты замкнуты, 0 – контакты разомкнуты)



ных пленок контактов избирателя РПН. Поэтому измерение активных сопротивлений обмотки 110 кВ СТ 100/10 кВ мостовым методом занимает до нескольких часов в случае повторения работ по приведению в соответствие отклонения сопротивления с последующим измерением.

В работе [10] нами предложены трехфазный измеритель активного сопротивления методом падения напряжения (рис. 14), на который получен патент РФ на изобретение. В устройстве цифровой осциллограф одновременно измеряет токи и напряжения каждой фазы, далее вычисляет сопротивление обмоток трех фаз путем деления усредненного напряжения на усредненный ток соответствующих фаз, вычисляет процентное отклонение сопротивления фаз и выдает полученные значения на экран осциллографа. До установления токов в фазах оператор наблюдает на экране осциллографа плавное изменение сопротивления и уменьшение процентного отклонения. При установлении токов в фазах СТ значения сопротивлений и процентное отклонение стабилизируются.

Так как в данном устройстве используется трехканальный источник напряжения постоянного тока,

то процесс установления фазного тока при включении источника и переключении РПН многократно быстрее (рис. 3), чем в традиционной схеме мостового метода измерения. Переходный процесс, показанный выше, обусловлен не огромной индуктивностью фазной обмотки, значительно меньшей индуктивностью рассеяния фазной обмотки 110 кВ СТ [11]. Кроме того, при этом факт превышения относительного отклонения сопротивления от нормы обнаруживается незамедлительно.

Выводы

1. В статье приводятся примеры применения предложенных авторами способов и устройств диагностики преимущественно РПН силовых трансформаторов.

2. Способы и устройства предполагают использование специализированного осциллографа, архитектура которого незначительно отличается от архитектуры типового цифрового регистратора аварийных процессов [12].

3. Способы и устройства не включены в нормативные документы РФ по диагностике неисправно-

стей СТ в процессе эксплуатации, и следовательно, практически не применяются, однако получили распространение за пределами РФ [13].

Литература:

1. Сборник методических пособий по контролю состояния электрооборудования. Раздел 2. Методы контроля состояния силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих и дугогасящих реакторов. – Москва, ОРГРЭС, 1997 г., 100 с.
2. Якобсон И.Я. Наладка и эксплуатация переключающих устройств силовых трансформаторов. – М.: Энергоатомиздат, 1985. 120 с.
3. Федоров Ю.А., Михеев Г.М., Шевцов В.М., Баталыгин С.Н. Способ оценки в силовых трехфазных трансформаторах параметров процесса переключения контактов контактора быстродействующего регулятора под нагрузкой без его вскрытия и устройство для его осуществления // Патент РФ на изобретение №2290653 МПК G01R 29/20. Б.И.№ 36 от 27.12.2006 г.
4. Михеев М.Г., Федоров Ю.А., Шевцов В.М., Баталыгин С.Н. Диагностика устройств регулирования напряжения силовых трехфазных трансформаторов – Электрические станции. – 2006. – №4. – С. 54-61.
5. Seitz P.P., Quak B., Erbrink J.J., Gulski E., Leich R., Seitz Instrum. AG. Advanced on-site diagnosis of power transform//«Condition Monitoring and Diagnosis» International Conference. Beijing, 2008, pp. 471-474.
6. Федоров Ю.А., Михеев Г.М., Шевцов В.М. Способ устранения влияния не одновременности переключения однофазных РПН силовых трехфазных автотрансформаторов на осциллографируемые токи контактов контакторов и устройство для его осуществления // Патент РФ на изобретение № 2316778 в Б.И. № 4 10.02.2008 г.
7. Михеев Г.М., Федоров Ю.А., Баталыгин С.Н., Шевцов В.М. Способ снятия в силовых трансформаторах круговой диаграммы регулятора под нагрузкой и устройство для ее осуществления // Патент РФ на изобретение № 2304345 в Б.И. № 22 10.08.2007.
8. Михеев М.Г., Федоров Ю.А., Баталыгин С.Н., Шевцов В.М. Цифровой метод контроля круговой диаграммы РПН силовых трансформаторов. – Электротехника. – 2007. – №1. – С.11-17.
9. Mikheev G.M., Fedorov Yu.A., Batalygin S.N., and Shevtsov V.M. Digital Control Method of Circle Chart Testing of the On-Load Regulator of Power Transformers. Russian Electrical Engineering (Elektrotehnika) ISSN 1068-3712, Vol. 78, No. 1, 2007, pp. 10-16.
10. Михеев Г. М., Федоров Ю.А., Баталыгин С.Н., Шевцов В.М. Устройство для измерения сопротивления постоянноному току обмоток трехфазного силового трансформатора с выведенной нейтралью // Патент РФ на изобретение № 2281523 МПК G01R 31/06. Б.И. №22 10.08.2006 г.
11. Федоров Ю.А., Шевцов В.М. Способы и устройства ускоренной диагностики контактора РПН силовых трехфазных трансформаторов. – ЭЛЕКТРО. – 2009. – №6.
12. Шевцов В.М., Федоров Ю.А. Алгоритмы и структуры типового (серийного) аварийного цифрового регистратора для электроэнергетики// Тезисы докладов НТК ДНДЭ-95. Чебоксары: Изд-во Чуваш. унта, – 1995, – С. 43-45.
13. Testing and diagnostics of power transformers. Brochure. OMICRON L2673, 2016

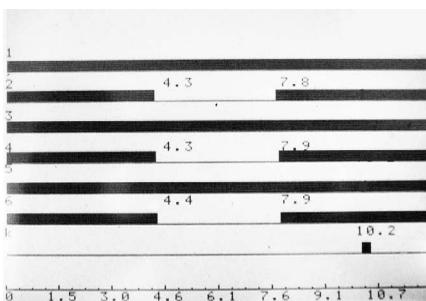


Рис. 13. Пример фрагмента экрана средства измерения с круговой диаграммой РПН, которая показывает, как переключение контактов избирателя производится в диапазоне от 4,3 до 7,9 оборотов приводного вала рукоятки, далее на 10,2 оборотах приводного вала переключаются контакты контактора РНП СТ 110/10 кВ

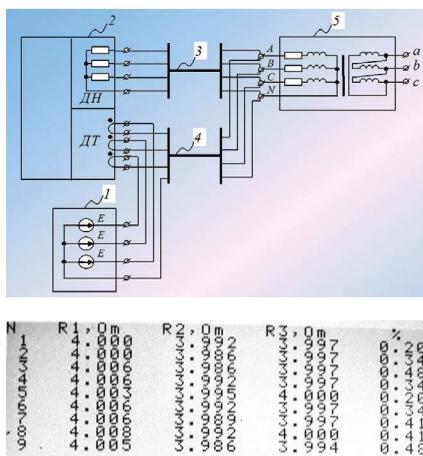


Рис. 14. Схема устройства и фрагмент экрана средства измерения, где в табличной форме визуализированы активные сопротивления и относительные отклонения сопротивлений для 9 положений РПН трансформатора 110/10 кВ