

СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Рассальский А.Н., к.т.н., доц.
Запорожский национальный технический университет
Украина, 69063, Запорожье, ул. Жуковского, 64, ЗНТУ, кафедра "Электрические аппараты"
тел. (0612) 69-83-49, E-mail: Arassalsky@sterling.zp.ua

Приведені функціональні можливості і принципи побудови системи моніторингу силових трансформаторів, які застосовуються у даний час на ряді підстанцій РАТ "ЕС Росії".

Приведены функциональные возможности и принципы построения системы мониторинга силовых трансформаторов, применяемых в настоящее время на ряде подстанций РАО "ЕЭС России".

ВВЕДЕНИЕ

Силовые трансформаторы, автотрансформаторы и реакторы являются одними из основных элементов электрических сетей и систем.

Отказы в работе или аварийные отключения трансформаторов приводят к существенным убыткам. Применение системы мониторинга позволяет существенно повысить надежность работы трансформаторов.

При этом системы мониторинга применяются как для вновь изготавливаемых трансформаторов, так и для трансформаторов уже находящихся в эксплуатации.

Новые конструкции трансформаторов отличаются высокими удельными электромагнитными, тепловыми и механическими нагрузками. Это ведет к сокращению срока службы магнитных, изоляционных и конструктивных материалов. Одним из путей повышения надежности работы трансформатора является создание возможности постоянного контроля за изменениями основных параметров трансформатора в процессе эксплуатации и принятия своевременных мер по защите трансформатора при неблагоприятных результатах этих изменений.

Для трансформаторов, находящихся в эксплуатации, применение системы мониторинга обосновывается тем, что в настоящее время крайне необходимо продлить срок службы трансформаторов, находящихся в эксплуатации.

Учитывая общее состояние трансформаторного парка в энергосистемах РАО "ЕЭС России" [1], необходимо продлить срок службы уже установленных трансформаторов до экономически целесообразного. Кроме этого необходимо сократить эксплуатационные затраты на плановые ремонты действующих трансформаторов. Существенное сокращение затрат принесет переход от нормативно установленных сроков ремонта силовых трансформаторов к проведению ремонта в зависимости от их фактического состояния [2].

Основным инструментом внедрения этой концепции являются системы мониторинга, позволяющие отслеживать состояние трансформаторов в любой момент времени.

Система мониторинга непрерывно регистрирует основные параметры трансформатора в процессе эксплуатации и таким образом, предоставляет возможность фиксирования воздействий, влияющих на срок службы трансформатора. Автоматическая оценка этих данных делает возможным обнаружение приближаю-

щегося отказа на ранней стадии и своевременно выполнять техническое обслуживание, обусловленное состоянием объекта. Регистрация комплекса параметров (например, температурных режимов) позволяет делать выводы о допустимой нагрузке трансформатора.

2 ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА

2.1 Функциональная блок-схема системы

Система мониторинга с функциональной точки зрения условно может быть представлена в виде несколько блоков:

- блок измерения первичных параметров;
- блок обработки измеряемых параметров;
- блок архивирования, обработки и визуализации параметров;
- блок управления;
- блок обмена с системами верхнего уровня.

2.1.1 Блок измерения первичных параметров

Этот блок включает в себя комплекс датчиков, приборов и систем измерения и контроля параметров, которые вводятся в систему мониторинга для дальнейшего анализа, визуализации и архивирования.

Подбор датчиков, приборов и систем зависит от мощности, класса, напряжения трансформатора, его возраста и технического состояния. Опыт производства и эксплуатации систем мониторинга в условиях российских энергосистем позволяет рекомендовать следующий комплекс датчиков и приборов для получения первичной информации для анализа его состояния.

2.1.1.1 Измерение температур

Для анализа температурного режима трансформатора выполняется измерение температур верхних слоев масла, температуры масла на входе и выходе из охладителей, температуры окружающей среды, определение температуры наиболее нагретой точки обмотки.

Измерения температуры масла и окружающей среды выполняются датчиками РТ 100.

Температура наиболее нагретой точки обмотки фиксируется косвенным путем с помощью известного устройства АКМ Oil или Winding Temperature Indicator производства фирмы Qualitrol [3].

В настоящее время разработана методика расчета температуры наиболее нагретой точки по данным измерения в реальном масштабе времени в соответствии с рекомендациями МЭК 354-91 (рис.1).

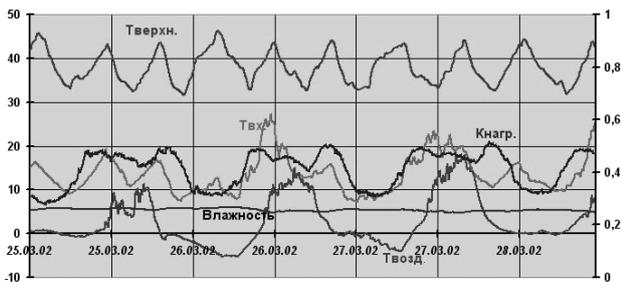


Рис.1. Изменение температуры верхних слоев масла, температуры масла на входе в бак, температуры окружающей среды и коэффициента нагрузки в течение трех суток работы трансформатора (ПС "Арзамасская 500")

По специальному заказу возможна установка оптоволоконных датчиков температуры типа WTS-22 производства фирмы LUXTRON [4] для прямого измерения температуры наиболее нагретой точки обмотки трансформатора. Эти датчики устанавливаются в процессе изготовления обмоток.

2.1.1.2 Измерение электрических параметров

Для контроля электрических параметров работающего трансформатора (тока, напряжения, мощности, энергии и др.) необходимых для анализа работы трансформатора применяется прибор PM (Power Monitor) производства фирмы Allen Bradley [5]. Это микропроцессорный прибор, производится в нескольких модификациях (в зависимости от заказываемой функциональности), позволяет измерять, контролировать, накапливать и передавать измеряемую информацию.

Этот прибор спроектирован для работы в энергосистемах и позволяет измерять и сохранять в цифровом виде целый ряд специальных параметров, например, осциллографировать токи и напряжения по заданной уставке, сохранять и передавать эти осциллограммы в цифровом виде, выполнять гармонический анализ формы кривых тока и напряжения (до 41 гармоники включительно согласно требованиям IEEE).

Этот прибор снабжен комплектом программы RSPower (разработчик – Rockwell Software) [6], которые служат для настройки, контроля и управления модулями Power Monitor. По существу это не прибор, а подсистема сбора и обработки электрических параметров, которая может использоваться автономно или в составе более сложных систем.

В системе мониторинга этот прибор (подсистема) выполняет роль прибора измерения токов, напряжений, мощностей, энергии, которые используются для анализа работы трансформатора.

Данные гармонического анализа формы напряжений служат для выполнения контроля превышения напряжения по ГОСТ 1516.3-96 и качества электроэнергии по ГОСТ 13109-97.

Осциллографирование аварийных процессов (рис.2) позволяет анализировать последующее состояние трансформатора и последующую работу систем трансформатора с учетом нагрузок в режиме короткого замыкания.

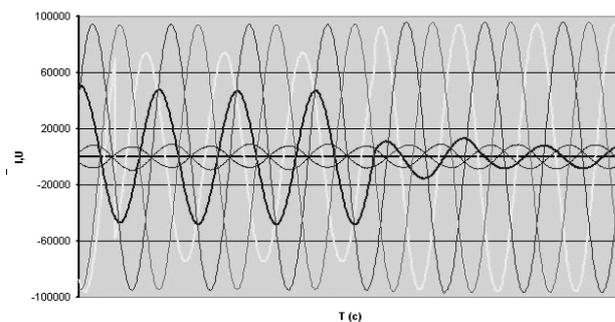


Рис.2. Однофазное короткое замыкание на ПС "Михайловская-330"

2.1.1.3 Контроль влажности масла

Контроль влажности масла в настоящее время выполняется подсистемой Domino (производство фирмы Doble Engineering Company) [7]. Подсистема Domino снабжена датчиком влажности масла и датчиком температуры масла, позволяет выполнять непрерывные измерения относительной влажности масла, пересчитывать эти данные в абсолютные величины. Контрольные функции подсистемы обеспечиваются двумя парами выходных релейных сигналов, которые могут срабатывать по заданным уставкам влажности масла.

2.1.1.4 Контроль содержания газов в масле

Одним из самых эффективных способов контроля состояния трансформатора в эксплуатации является измерение количества газов, растворенных в трансформаторном масле.

Значительная часть внутренних повреждений может быть определена проверкой состояния трансформаторного масла. Такие внутренние повреждения, как местные перегревы, частичные разряды (в масле или твердой изоляции), незначительные искрения контактных соединений и т.п., так или иначе, сказываются на состоянии трансформаторного масла.

В настоящее время в качестве подсистем анализа газов растворенных в трансформаторном масле используется система Hydran (производства General Electric) и Calisto (производства Morgan Shaffer).

Система контроля трансформаторного масла Hydran 201R [8] снабжена датчиком для определения количества растворенных газов в трансформаторном масле H201Ti (водород, окись углерода, ацетилен, этилен). Датчик представляет собой устройство на основе мембранной технологии и устанавливается на обратном трубопроводе охладителя в месте эффективного конвективного потока масла в специальном патрубке, ввариваемом в трубопровод.

Датчик подключается к контроллеру Hydran201Ci1, который устанавливается на боковой поверхности бака трансформатора. Программное обеспечение контроллера позволяет настраивать выходные сигнальные контакты на определенные значения содержания газов в масле.

В апреле 2003 года фирма GE анонсировала новый прибор Hydran M2, который измеряет влажность масла в дополнение к измерению содержания газа.

Система Callisto [9] измеряет содержание водорода, растворенного в масле, а также влагосодержа-

ние в масле. Эта система построена на основе непрерывного отбора части трансформаторного масла из бака трансформатора, прокачки его через внутреннюю систему прибора, в которой происходит определение содержания газа и влажности масла. Результаты измерения обрабатываются в контроллере устройства с встроенным программным обеспечением. На экран или в информационную подсистему выдаются уже обработанные данные содержания водорода и воды.

Система снабжена выходными релейными сигналами для контроля газосодержания и влагосодержания по заданным уставкам.

К сожалению, в настоящее время нет достоверных данных о том, какие газы являются основными, определяющими возникновение дефекта только водород или водород, окись углерода, ацетилен и этилен. В последнее время появилась информация [10], в которой измерение содержание углекислого газа, ацетилена и этилена представляется как «загрязнение» данных по содержанию водорода. По видимому, этот вопрос требует дополнительного исследования.

2.1.1.5 Контроль токов проводимости, ёмкости и тангенса угла диэлектрических потерь маслонаполненных вводов

Повреждение вводов трансформаторов 110 кВ и выше является наиболее распространенным видом повреждения. В настоящее время эксплуатируются негерметичные и герметичные маслонаполненные вводы. Как в герметичных, так и в негерметичных вводах возможно нарушение герметичности в зоне крепления верхней контактной шпильки.

Следствием этого является проникновение влаги из атмосферы в масло, увлажнение изоляции трансформатора.

В качестве системы контроля токов проводимости и тангенса угла диэлектрических потерь маслонаполненных вводов под рабочим напряжением используется система R1500 производства фирмы "Вибро-Центр" [11]. Система состоит из датчиков марки ДВ-1, закрепляемых на вводах, микропроцессорного модуля R1500 в защитном корпусе и соединительных кабелей.

Три сигнала с датчиков внутри прибора объединяются на нагрузочных сопротивлениях, соединенных в звезду. Благодаря применению фильтров прибор не чувствителен к наличию высших гармонических составляющих в напряжении с датчиков.

Определение тангенса угла потерь и емкости выполняются в двух режимах: определяется истинное значение, если на вход прибора подается опорное напряжение или определяет разброс величины тангенсов вводов относительно друг друга.

Передача информации в систему мониторинга осуществляется по интерфейсу RS-485.

2.1.2 Блок обработки измерительных параметров

Выходы вышеперечисленных датчиков и подсистем вводятся в модуль-концентратор, построенный на базе логического контроллера ControlLogix 5000 производства фирмы Allen Bradley [12]. Программируемый логический контроллер ControlLogix – контроллер открытой модульной архитектуры, отличается

повышенной надежностью, высоким быстродействием и широкими возможностями построения сетей сбора данных и управления различной структуры. Контроллеры комплектуются в виде набора модулей, включающих процессор, локальные модули ввода/вывода, адаптеры связи с удаленными устройствами ввода/вывода и другими устройствами в сети.

Программирование контроллеров осуществляется дистанционно с компьютера диспетчера.

Процессор имеет развитые средства диагностики состояния как собственного, так и модулей ввода/вывода.

В шасси контроллера установлен модуль 56SAM, являющийся PC совместимым контроллером с операционной системой Windows Embedded с установленным твердотельным флэш-диск, объемом 512МВ. В памяти контроллера хранятся все данные измерений текущих параметров трансформатора. Это своего рода "черный ящик", в памяти которого хранятся все эксплуатационные параметры трансформатора.

В модуле контроллера работают программы: определения временного превышения напряжения в соответствии с требованиями ГОСТ 1516.3-96, постоянного расчета температуры наиболее нагретой точки обмотки в соответствии с ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91), контроля состояния изоляции вводов (прогноз снижения характеристик изоляции), контроля эффективности системы охлаждения по анализу температур на входе и выходе из охладителя, расчета перегрузочной способности трансформатора по ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91), оценки срока службы трансформатора.

Результаты расчетов в режиме реального времени накапливаются, анализируются и в случае превышения заданных пороговых значений выдают сообщения обслуживающему персоналу. При этом сигналы должны квитироваться оператором и автоматически записываются в оперативный журнал.

Кроме измеряемых параметров в блок-концентратор вводятся все релейные сигналы штатного оборудования трансформатора: газового реле, отсечного клапана, датчика уровня масла в расширителе и РПН.

Эти сигналы хранятся с меткой времени и в случае превышения заданных пороговых значений выдают сообщения на экран монитора оператора и на панель сигнализации (при необходимости).

2.1.3 Блок архивирования, обработки и визуализации параметров

Обработка сигналов с блока концентратора выполняется программой RSView, средством для создания человеко-машинного интерфейса, производства фирмы Rockwell Software [13]. RSView использует открытые технологии в рамках платформы Microsoft Windows, такие как ODBC, OLE и DDE и, поэтому является открытой платформой. RSView обеспечивает взаимодействие между продуктами серии WINtelligent и продуктами Microsoft и обладает улучшенной функциональностью. Это обеспечивается за счет объектно-ориентированной анимационной графики, открытой базы данных в формате DBF и расширенными возможностями для построения графиков (трендов), тревог, создания производных (например, вычисляемых) тегов и детекторов событий.

RSView обладает способностью увязать в единое целое конфигурацию вводов/выводов для устройств, изготовленных другими фирмами. Для программируемых логических контроллеров Allen-Bradley RSView предлагает организацию связи через прямые драйверы устройств, обеспечивая наивысшую пропускную способность передачи данных.

RSView имеет уникальную систему драйверов связи. Она включает в себя динамическую оптимизацию обмена по сети и проверку ошибок индивидуально по каждому тегу. Важной особенностью является горячее резервирование драйверов связи. Все это создает надежную среду для гарантированного сбора данных.

Графические изображения также обладают способностью распознавать потери связи с драйвера устройств. Они отображают также ситуации пустыми полями данных, требуя вмешательства оператора.

RSView обеспечивает полную поддержку технологии OLE, которая позволяет свободно встраивать непосредственно в графические экраны RSView объекты, в качестве которых используют независимые приложения Windows. Все функции по редактированию такого объекта в полной мере доступны, т.к. они обеспечиваются не RSView, а встроенным приложением без каких-либо ограничений.

RSView поддерживает тревоги для цифровых и аналоговых тегов, которые можно поделить на 8 градаций по уровням и 8 категорий опасности. Аналоговые тревоги содержат механизмы для косвенных сравнений отношений тревог относительно других тегов RSView, тем самым, устраняя трудности работы с тревогами только на уровне снимаемых сигналов.

RSView позволяет выводить свободную таблицу тревог, которая позволяет быстро просматривать и находить тревоги. Свободная таблица тревог может быть выведена непосредственно, как самостоятельная подсистема RSView или может быть встроена в графический экран пользователя как объект OLE.

RSView имеет гибкий и развитый механизм обработки трендов (графиков). Тренды могут сниматься непосредственно в реальном масштабе времени, когда данные берутся из базы данных (ВД) тегов. Другой вид трендов – это исторический тренд, когда информация берется из архивных файлов, предварительно записанных регистратором данных.

Тренд может рисовать до 16-ти перьев (независимых сигналов) на одном экране.

2.1.4 Блок управления

В блоке управления в настоящее время реализованы функции управления системой охлаждения и управления устройством регулирования напряжением.

Управление системой охлаждения основано на анализе текущего температурного режима трансформатора и выполняется путем включения (отключения) охладителей (вентиляторов) с учетом реальной нагрузки трансформатора.

Кроме функции управления этой подсистемой осуществляется контроль эффективной работы охладителей, контроль времени и условной работы двигателей насосов и вентиляторов, контроль энергопотребления системы охладителей.

Управление системой охлаждения может выполняться как в автоматическом режиме так и в ручном –

выдача рекомендаций обслуживающему персоналу и управление с диспетчерского пункта.

Управление устройством регулирования напряжения реализовано пока для РПН типа MR производства фирмы REINHAUSEN.

Функция управления фактически сводится к расширению возможностей контроллера VC100, применяемого в РПН типа MR в качестве штатного устройства.

На экран оператора выводится текущее положение переключателя РПН, а также выведены кнопки управления "вверх/вниз", позволяющие нажатием кнопки на экране выполнить переключение.

Кроме этого реализована возможность передачи управления переключением РПН на дальний диспетчерский пункт МЭС.

В подсистеме управления РПН реализованы функции контроля работы РПА: ведется учет числа переключений, контролируется пусковой ток двигателя привода РПН, выполняется контроль уровня масла и давление в баке РПН.

В настоящее время ведется работа над возможностью установки устройства контроля газа и влаги в баке РПН и установки устройства очистки масла в баке РПН. Такой контроль необходим для трансформаторов, работающих в условиях резкопеременных нагрузок.

2.1.5 Блок обмена с системами верхнего уровня

Система мониторинга и управления трансформаторами в любом случае является информационной подсистемой общей автоматизированной системы управления подстанцией. Поэтому необходимая информация должна передаваться в АСУТП подстанции и на диспетчерский пункт энергосистемы. К сожалению, в настоящее время нет нормативных документов, определяющих состав, дискретность и форму информации, которую необходимо предоставлять в АСУТП подстанции о состоянии трансформаторов из базы данных системы мониторинга трансформаторов.

Передача данных состояния трансформатора соответствующим службам энергосистемы организована с помощью стандартной платформы Internet Explorer. Это ликвидирует необходимость устанавливать специальное программное обеспечение на каждый компьютер. Интернет-технология предоставляет возможность для организации визуализации на базе Web-сервера. Browser и другие инструменты для вывода HTML-документов являются бесплатным стандартным набором программного обеспечения на каждом компьютере. HTML является общепризнанным промышленным стандартом, который отличается гибкостью и надежностью.

Для передачи в ЦДПУ энергосистемы в контроллере организован Web-сервер, с помощью которого текущая информация из системы мониторинга передается на компьютер ЦДПУ энергосистемы [3]. Специалисты отделов эксплуатации и технического обслуживания имеют возможность анализировать состояние трансформатора, планировать текущие ремонты, а также получать информацию о допустимой нагрузке и определять критерии перегрузки.

Для передачи текущей информации в базу данных АСУТП подстанции в контроллере выделен порт для канала связи, по которому согласованная в техническом задании информация передается в базу данных АСУТП подстанции. Как правило, это информа-

ция о наработке отдельных узлов и всего трансформатора, позволяющая оценивать текущее состояние и ресурс трансформатора.

Эта информация крайне важна для анализа аварийных процессов в энергосистеме.

3 ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ

Системы мониторинга установлены на автотрансформаторы производства Запорожского трансформаторного завода на семи подстанциях МЭС Центра, на трех подстанциях МЭС Северо-Запада и на одной подстанции МЭС Волга (табл.1).

Таблица 1

Внедрение систем мониторинга силовых трансформаторов, изготовленных ООО "Стерлинг Групп"

№	Трансформатор	Подстанция	Энергосистема
1	АТДЦТН-250000/500/110-У1	ПС "Арзамасская"	МЭС Центра
2	АТДЦТН-200000/220/110-У1	ПС "Михайловская"	МЭС Центра
3	АТДЦТН-125000/330/110-І-У1	ПС "Бологое-1"	МЭС Центра
4	АТДЦТН-250000/330/220-У1	ПС "Талашкино"	МЭС Северо-Запада
5	АТДЦТН-125000/330/110-І-У1	ПС "Чудово"	МЭС Северо-Запада
6	АТДЦТН-125000/330/110-І-У1	ПС "Окуловская"	МЭС Северо-Запада
7	АТДЦТН-125000/330/110-І-У1 (з/з 125572/1)	ПС "Бологое-2"	МЭС Центра
8	АТДЦТН-125000/220/110-У1	ПС "Ключики"	МЭС "Волга"
9	ТДН-40000/110-У1 (2 шт.)	Испат-кермет	Казахстан
10	ТДН-63000/110-У1 (2 шт.)	Испат-кермет	Казахстан

В настоящее время создана комплексная распределенная система мониторинга для группы трех однофазных автотрансформаторов АОДЦТ-417000/750/500 производства Запорожского трансформаторного завода и группы трех реакторов РОМБС-110000/750/110 производства Московского трансформаторного завода для подстанции "Череповецкая-750" МЭС Центра. Система мониторинга реакторов разработана как типовая для реакторов производства Московского трансформаторного завода. Все данные системы мониторинга интегрированы в АСУ ТП подстанции.

Ведется разработка проектной документации для установки аналогичных систем на автотрансформаторы, находящиеся в эксплуатации (АТДЦТН-250000/500/110 подстанция "Радуга" МЭС Центра). Основной проблемой при этом является правильный подбор и установка датчиков для получения наиболее полной информации о состоянии трансформатора.

Разработана система мониторинга с сокращенной функциональностью, которая может успешно применяться для трансформаторов мощностью 40-63 МВА, напряжением 110 кВ для силовых подстанций предприятий. В этом случае возможно применение одной системы мониторинга для нескольких трансформаторов.

Весьма перспективной является работа по созданию системы мониторинга для специальных трансформаторов (преобразовательных, печных и т.п.), ра-

ботающих при резкопеременных нагрузках. Вести непрерывный контроль параметров таких трансформаторов необходимо для своевременного предупреждения аварийных ситуаций.

ВЫВОДЫ

- Опыт эксплуатации систем мониторинга силовых трансформаторов показал, что аппаратная база – семейство контроллеров Allen-Bradley, выбрана правильно. На этой аппаратной базе достаточно просто и надежно реализуются все специальные требования, необходимые для сбора, хранения, обработки и передачи информации о состоянии трансформатора в процессе эксплуатации.

- Разнообразные средства сетевых интерфейсов, которыми обеспечены эти контроллеры, позволяют строить системы с распределенными источниками информации, например, для групп однофазных трансформаторов и реакторов.

- Как показал опыт эксплуатации, сохранение данных работы трансформатора в базе данных контроллера в течение десяти лет позволяет надежно сохранять данные в случае отключения или перезагрузки компьютера оператора.

- Построение Web-сервера в контроллере позволяет надежно передавать информацию о состоянии трансформатора в удаленные рабочие места управления энергосистемой.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Рассальский А.Н. Системы мониторинга силовых трансформаторов. Доклад на 3-й международной конференции "Энергосбережение 2003"
- [2] Вопросы надежности и совершенствования эксплуатации энергетического оборудования. Энергопресс, электронный бюллетень № 3 (129) от 01.04.03.
- [3] AB QUALITROL AKM, www.qualitrolcorp.com
- [4] LUXTRON Corporation, www.luxtron.com/customerinfo/index.html
- [5] Power Monitor 3000. Publication 1404-UM001A-EN-P - July 2002, www.ab.com/PEMS/products.html
- [6] RSPower. ID 9398-P32TD- JUN00, http://www.ab.com/PEMS/downloads/RSPower32_Tech_Data_6-00.pdf
- [7] Moisture-in-Oil Sensors, DOMINO™, www.doble.com/products/products.htm
- [8] On-Line Monitoring of Transformer Key-Fault Gases, HYDRAN® 201R Model, www.gesyprotec.com
- [9] Dissolved Hydrogen and Water Monitor Model Calisto, CALISTO, www.morganschaffer.com/
- [10] W. VeDermid, A. Glodjo, and J.C. Bromley, "Analyses of Winding Failures in HVDC Converter Transformers", Proceedings EIC/EMCV, Cincinnati, Oct. 1999, pp. 653-657.
- [11] Система контроля токов проводимости и тангенса угла потерь маслонаполненных вводов под рабочим напряжением R-1500 (Вибро-Центр, г. Пермь), vibrocenter.ru/r1500.htm
- [12] ControlLogix. Publication 1756-SG001A-US-P—July 2000, www.rockwellautomation.com/
- [13] RSView32. Overview, www.software.rockwell.com/rsvview32

Поступила 15.09.2004