

# ЛИКВИДАЦИЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЙ В «МЕРТВОЙ ЗОНЕ» РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ЭНЕРГООБЪЕКТОВ

**АВТОРЫ:**

ЖУКОВ А.В.,  
К.Т.Н.,  
ОАО «СО ЕЭС»

ВОРОБЬЁВ В.С.,  
ИНЖ.,  
ОАО «СО ЕЭС»

РАСЩЕПЛЯЕВ А.И.,  
ИНЖ.,  
ОАО «СО ЕЭС»

МАКСИМОВ Б.К.,  
Д.Т.Н.,  
ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ»

АРЦИШЕВСКИЙ Я.Л.,  
К.Т.Н.,  
ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ»

БОРИСОВ Р.К.,  
К.Т.Н.,  
ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ»

КУЗИН А.С.,  
ИНЖ.,  
ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ»

**К**омпоновочные решения распределительных устройств (РУ) ряда электростанций таковы, что короткие замыкания (КЗ) в некоторых их местах ликвидируются только действием устройства резервирования отказа выключателя («мертвая зона»). При такой

длительности КЗ нарушается динамическая устойчивость генераторов электростанций. Для решения указанной задачи разработана релейная защита «мертвой зоны», позволяющая ликвидировать КЗ с временем действия основных защит электросетевых элементов РУ.

**Ключевые слова:** динамическая устойчивость, «мертвая зона», релейная защита «мертвой зоны».



Пример КЗ в «мертвой зоне» распределительного устройства 330 кВ энергообъекта

## ВВЕДЕНИЕ

Наличие «мертвых зон» в распределительных устройствах энергообъектов обусловлено разнесением мест установки выключателей и трансформаторов тока.

Короткие замыкания в «мертвых зонах» ликвидируются только действием устройства резервирования отказа выключателя. Например, КЗ в точке К1 (рис. 1) находится в зоне действия дифференциальной защиты шин (ДЗШ1). Действием ДЗШ1 отключаются все выключатели СШ1 (в том числе Q1). КЗ в точке К1 ликвидируется действием УРОВ, установленном на отключенном выключателе Q1, путем отключения выключателей Пр.1.

При проведении расчетов устойчивости энергосистемы (согласно «Методическим указаниям по устойчивости энергосистем») учитывается нормативное возмущение, включающее отключение электросетевого элемента при различных видах коротких замыканий с действием устройства резервирования отказа выключателя. Учет нормативного возмущения при ликвидации КЗ в «мертвой зоне» про-

исходит со временем, превышающим двойную выдержку времени устройства резервирования отказа выключателя. При такой длительности нормативного возмущения может нарушаться динамическая устойчивость генерирующего оборудования электростанций даже с учетом возможности применения противоаварийной автоматики.

Для решения указанной задачи возможны следующие варианты:

- установка дополнительных комплектов трансформаторов тока со второй стороны каждого выключателя;
- установка выключателей со встроенными с двух сторон трансформаторами тока;
- изменение компоновочных решений распределительных устройств электростанций, исключающих наличие «мертвых зон»;
- строительство дополнительных сетевых элементов в схемах выдачи мощности крупных электростанций.

Указанные варианты являются чрезвычайно затратными и долговременными мероприятиями.

ОАО «СО ЕЭС» совместно с ФГБОУ ВПО «НИУ МЭИ», ООО «НПФ ЭЛНАП» и ФГБОУ ВПО «ИГЭУ» разработана сверхбыстродействующая релейная защита «мертвой зоны» (РЗМЗ), позволяющая ликвидировать КЗ с временем действия основных быстродействующих защит электросетевых элементов распределительных устройств, что, как правило, позволяет сохранять динамическую устойчивость без применения противоаварийной автоматики.

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА УСТРОЙСТВА РЗМЗ

Структурная схема устройства РЗМЗ представлена на рис. 2.

Передающие модули (А1, А2) предназначены для формирования и передачи на потенциал земли информативного сигнала о факте наличия КЗ в зоне, ограниченной местами установки двух полукомплектов передающих модулей на каждой фазе

## ПРИМЕР РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ЭНЕРГООБЪЕКТА

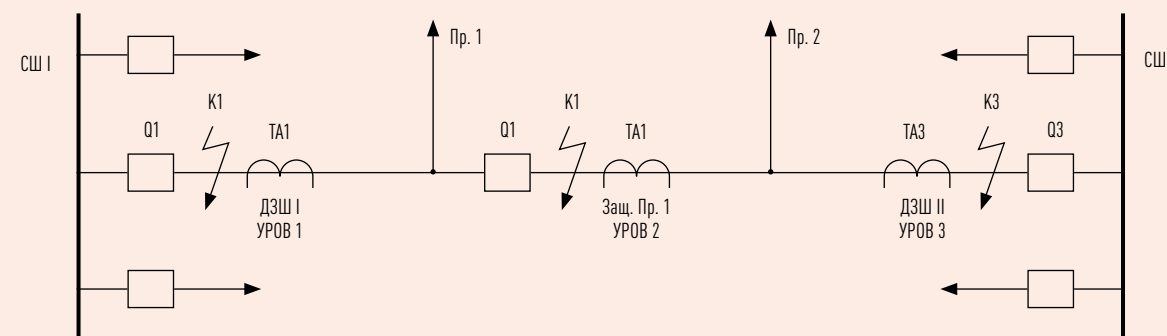


Рис. 1

## СТРУКТУРНАЯ СХЕМА РЗМЗ

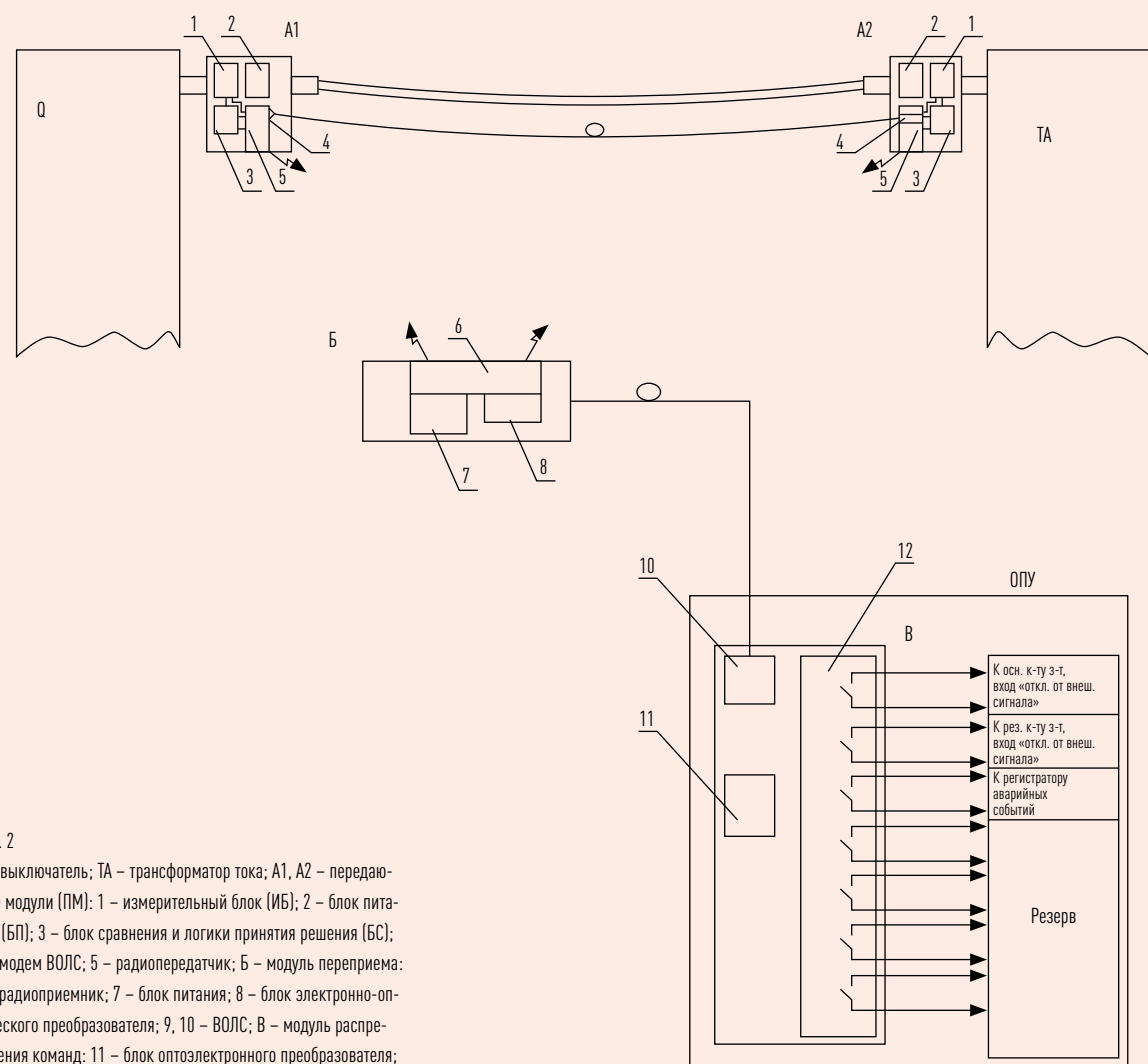


Рис. 2  
Q – выключатель; TA – трансформатор тока; A1, A2 – передающие модули (ПМ): 1 – измерительный блок (ИБ); 2 – блок питания (БП); 3 – блок сравнения и логики принятия решения (БС); 4 – модем ВОЛС; 5 – радиопередатчик; 6 – модуль переприема; 7 – радиоприемник; 8 – блок питания; 9 – блок электронно-оптического преобразователя; 10 – ВОЛС; В – модуль распределения команд; 11 – блок оптоэлектронного преобразователя; 12 – блок питания; 13 – реле-размножитель контактов

по концам «мертвой зоны». Таким образом, для защиты каждой фазы «мертвой зоны» необходима установка двух передающих модулей, всего шесть на одну «мертвую зону».

Передающий модуль (рис. 3) состоит из следующих блоков:

- измерительный блок (ИБ). Состоит из датчика тока и нуль-индикатора, который работает

как компаратор при смене знака тока, протекающего через датчик тока; блок питания (1). Состоит из трансформатора отбора мощности от первичного провода, элемента аккумуляции энергии и стабилизирующего элемента. Необходим для автономной работы передающего модуля; блок сравнения (БС).

Сравнивает знаки тока по двум концам «мертвой» зоны и выдает сигнал о несовпадении фаз в двух передающих модулях одной фазы; блок ЭОП/ОЭП (модем ВОЛС). Состоит из электронно-оптического преобразователя — ЭОП (преобразует сигнал от нуль-индикатора измерительного блока

## ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ ПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ



Рис. 3

## ОПЫТНЫЙ ОБРАЗЕЦ МОДУЛЯ ПЕРЕПРИЕМА



Рис. 4

в оптическую форму для передачи на другой конец «мертвой» зоны по оптоволокну) и оптоэлектронного преобразователя — ОЭП (преобразует оптический сигнал, получаемый с противоположного конца «мертвой» зоны в электронную форму для передачи в блок сравнения);

– блок ЭРП (радиопередатчик). Состоит из электронно-радиопреобразователя (ЭРП) и направленной антенны. Необходим для передачи сигнала-команды о несовпадении фаз токов по двум концам «мертвой» зоны на потенциал земли.

Все блоки находятся в специальном корпусе, защищающем от воздействия окружающей среды и электромагнитных полей.

Два передающих модуля одной фазы связаны между собой ВОЛС, который находится внутри проводника (оптический кабель, вмонтированный в фазный провод — ОКФП).

Модуль переприема предназначен для сбора информации, поступающей от передающих радиосистем всех передающих модулей «мертвой» зоны (2 шт. на фазу, всего 6 шт.) и последующей передачи этой информации по оптическому каналу связи в модуль распределения команд.

Модуль переприема состоит из следующих блоков:

- блок РЭП (радиоприемник). Состоит из радио-электронного преобразователя и шести направленных приемных антенн;
- блок ЭОП. Состоит из электронно-оптического преобразователя — ЭОП;
- блок питания. Состоит из элемента стабилизации напряжения и элемента аккумуляции энергии.

Модуль переприема расположен на потенциале земли под проводами «мертвой» зоны (в районе шкафа местного управления выключателем).

Модуль распределения команд предназначен для согласования действия РЗМЗ с комплексом РЗА защищаемого элемента, к которому относится «мертвая зона». Модуль распределения команд устанавливается на релейном

## ЛОГИКА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЗМЗ С СУЩЕСТВУЮЩИМ КОМПЛЕКСОМ РЗА

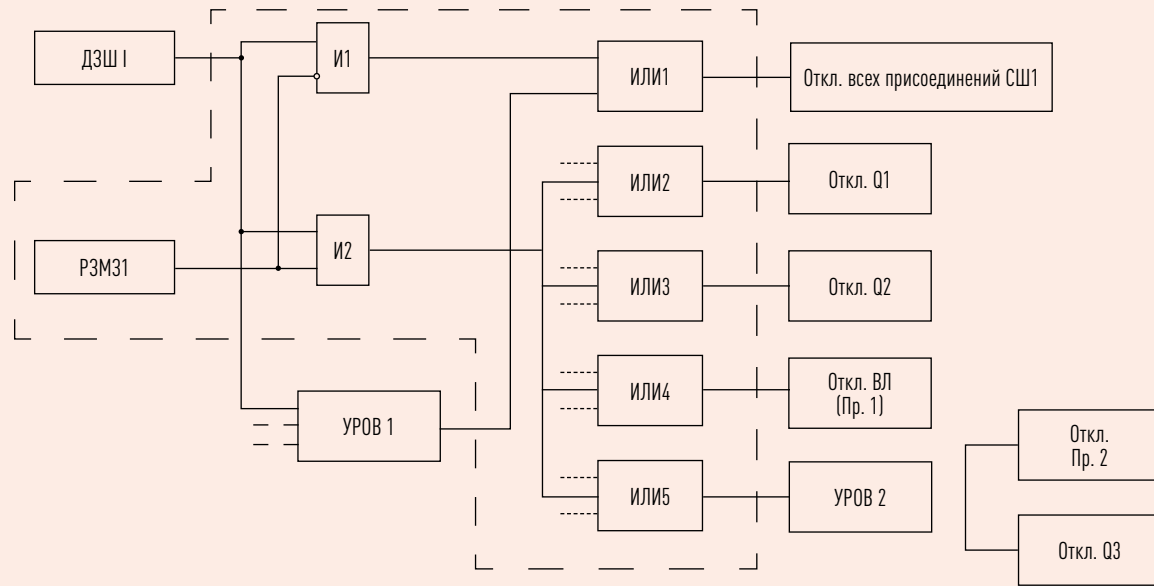


Рис. 5

щите, принимает сигнал-команду о срабатывании РЗМЗ от модуля переприема и ретранслирует ее с помощью замыкания выходных реле в виде дискретного сигнала типа «сухой контакт» на устройства РЗА (защиты элемента, к которому относится «мертвая» зона, РАС и иные устройства).

Модуль распределения команд состоит из следующих блоков:

- блок оптоэлектронного преобразователя. Необходим для создания напряжения срабатывания реле-размножителя контактов;
- блок питания. Состоит из элемента стабилизации напряжения и элемента аккумуляции энергии;
- реле-размножитель контактов. Служит непосред-

ственно для интеграции устройства РЗМЗ в существующий комплекс РЗА.

## ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ РЗМЗ

Информация о положительном или отрицательном мгновенном значении тока с выхода ИБ поступает в БС. В свою очередь с противоположного конца «мертвой» зоны приходит аналогичный сигнал о направлении тока после ряда преобразований сигнала посредством модемов ВОЛС (ЭОП-ВОЛС-ОЭП), который также поступает в блок сравнения.

В случае если мгновенные значения тока имеют разные знаки в течение времени больше 1,0 мс, формируется сигнал-команда «короткое замыкание в «мертвой» зоне».

Этот сигнал-команда поступает в радиопередатчик для передачи по радиоканалу на потенциал земли в модуль переприема (рис. 4).

Питание передающего модуля является автономным и осуществляется от блока питания и трансформатора отбора мощности.

Модуль переприема принимает возможные сигналы-команды от всех шести передающих модулей «мертвой зоны» по радиоканалам. Радиоприемник преобразует полученные сигналы-команды в электрический сигнал для последующего преобразования в оптическую форму посредством ЭОП.

Далее сигнал-команда по оптическому волокну передается в здание ОПУ в модуль распределения команд, посредством которого осуществляется интеграция устройства РЗМЗ в существующий комплекс РЗА.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЗМЗ С СУЩЕСТВУЮЩИМ КОМПЛЕКСОМ РЗА ЭНЕРГООБЪЕКТА

На рис. 5 в упрощенном виде представлена схема, обеспечивающая взаимодействие устройства РЗМЗ с существующим комплексом РЗА (для примера РУ на рис. 1). Новые элементы, вводимые в схему, выделены пунктиром:

И1 — элемент, обеспечивающий блокирование действия ДЗШ1 на отключение всех присоединений к данной СШ при срабатывании РЗМЗ1;

И2 — элемент, обеспечивающий формирование сигналов на отключение выключателей Q1 и Q2 при срабатывании РЗМЗ1;

ИЛИ1 — элемент, обеспечивающий отключение всех присоединений к СШ1 при действии УРОВ1.

Остальные элементы ИЛИ обеспечивают передачу различных команд при срабатывании РЗМЗ1.

При возникновении повреждений вне «мертвой зоны» РЗМЗ1 не действует и, следовательно, не вносит изменений в работу существующего комплекса РЗА.

Ликвидация повреждений в точках К2 и К3 при установке РЗМЗ2 и РЗМЗ3 осуществляется аналогично.

## ИСПЫТАНИЯ ОПЫТНЫХ ОБРАЗЦОВ УСТРОЙСТВА РЗМЗ

При реализации РЗМЗ в соответствии со структурной схемой, представленной на рис. 3, необходимо было выполнить несколько практических и научно-исследовательских задач, в частности размещение электронных блоков в области сильных электромагнитных полей

## ИСПЫТАНИЯ ПЕРЕДАЮЩИХ МОДУЛЕЙ НА ЭМС В ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛАБОРАТОРИИ НИУ МЭИ

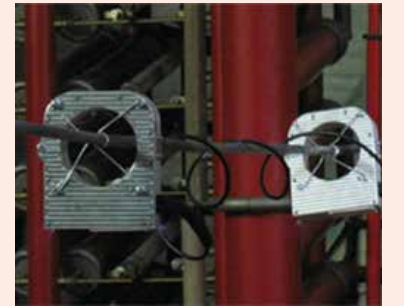


Рис. 6

потребовало проведения исследований в области электромагнитной совместимости. Несложные расчеты показывают, что вблизи поверхности провода при токе короткого

## ИСПЫТАНИЯ УСТРОЙСТВА РЗМЗ НА ПАК RTDS



Научно-образовательный центр «Надежность и эффективность РЗА, ПА и телекоммуникаций в интеллектуальной и электроэнергетической системе с активно-адаптивными сетями»



Рис. 7

замыкания  $I_{кз} = 20$  кА интенсивность магнитной компоненты электромагнитного поля превышает  $2 \cdot 10^5$  А/м, напряженность электрической компоненты на поверхности провода превышает  $10^6$  В/м. Моделирование электромагнитного поля показало, что выполнить полноценное экранирование от таких воздействий довольно сложно. Массивный электромагнитный экран, выполненный из ферромагнитных материалов, будет иметь недопустимые массогабаритные показатели. Задача электромагнитной совместимости была решена следующим образом. Электрическая компонента электромагнитного поля экранирована электростатическим экраном, магнитная компонента только частично скомпенсирована электромагнитным экраном. Действие нескомпенсированной части электромагнитного поля на электронные компоненты и проводники исключено специальным расположением плат их элементов. Также при подборе элементной базы учитывалась их стойкость к электромагнитным воздействиям.

Опытные образцы устройства РЗМЗ прошли цикл испытаний на правильность функционирования на программно-аппаратном комплексе RTDS Научно-образовательного центра «Надежность и эффективность РЗА, ПА и телекоммуникаций в интеллектуальной электроэнергетической системе с активно-адаптивными сетями» НИУ МЭИ (рис. 7). Была создана цифровая модель электрической схемы ОРУ 500 кВ и в различных схемно-режимных ситуациях проверялась правильность функционирования устройства РЗМЗ.

Проведенные исследования показали, что при возникновении КЗ в зоне действия защиты суммарная задержка ограничивается временем  $1 \div 3$  мс. Такое время задерж-

## ПЕРЕДАЮЩИЙ МОДУЛЬ УСТРОЙСТВА РЗМЗ, УСТАНОВЛЕННЫЙ НВА ОРУ 220 КВ



Рис. 8

ки стало возможным благодаря использованию в качестве измерительного преобразователя пояса Роговского, в отличие от трансформатора тока он не подвержен насыщению, преобразует весь спектр частот, включая постоянную составляющую. Кроме того, в модуле распределения команд использованы промежуточные реле, выполненные на основе полупроводниковой оптоэлектронной развязки с временем действия менее 50 мкс.

Изготовленные образцы прошли весь цикл испытаний на электромагнитную совместимость по ГОСТ Р 51317.6.5-2006, а также по специально разработанным программам, учитывающих уникальные особенности эксплуатации РЗМЗ в части установки передающих модулей на потенциал провода и не предусмотренных ГОСТ Р 51317.6.5-2006 (воздействие коронных разрядов; воздействие высокочастотных импульсов, вызванных

коммутацией силового оборудования; воздействие импульсов перенапряжений и импульсов тока молнии). Также образцы РЗМЗ успешно прошли цикл испытаний на воздействие климатических внешних факторов в соответствии с требованиями ГОСТ 15150-69, на воздействие внешних механических факторов по ГОСТ 17516.1-90, на соответствие требованиям ГОСТ 14254-96 степени защиты IP X6.

## ОПЫТНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

Опытные образцы устройства РЗМЗ были установлены на ОРУ 220 кВ ПС 500 кВ «Нижегородская» присоединения ВЛ 220 кВ «Нижегородская — Нагорная I» и выведены в работу с действием на сигнал.

В процессе опытной эксплуатации индикация, установленная в прие-

мо-передающем модуле, показывала непрерывную связь между передающими и принимающими радиомодулями.

За время опытной эксплуатации случаев короткого замыкания в защищаемой зоне не было, ложных срабатываний защиты не зафиксировано. На высоковольтных частях устройства видимого коронного разряда и слышимых разрядов электричества не наблюдалось.

По результатам проведенной опытной эксплуатации устройства РЗМЗ безотказно проработало более 8760 часов.

По результатам бесперебойной работы устройства РЗМЗ во время опытной эксплуатации (более 8760 часов) комиссия решила: **Устройство РЗМЗ признать прошедшем опытную эксплуатацию и готовым к проведению приемки устройства.**

## ПЕРСПЕКТИВЫ

В настоящее время устройство РЗМЗ успешно прошло комплекс испытаний и опытную эксплуатацию на действующем объекте электроэнергетики, решен вопрос о серийном производстве РЗМЗ на предприятиях фирмы ООО НПП «ЭКРА».

В 2015–2016 гг. запланирована опытная эксплуатация серийных образцов устройств РЗМЗ на ОРУ 750 кВ Смоленской АЭС и ОРУ 750 кВ Калининской АЭС ОАО «Концерн Росэнергоатом».

## ВЫВОД

Разработанная релейная защита «мертвой зоны» является альтернативным решением по обеспечению сохранения

динамической устойчивости генерирующего оборудования энергообъектов при КЗ в «мертвой зоне» по отношению к мероприятиям, реализация которых требует существенных капитальных затрат при строительстве (модернизации) объектов электроэнергетики.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Отчет НИР Гос. регистрация 01200962470 «Исследование вопросов ликвидации коротких замыканий в «мертвой» зоне распределительных устройств электростанций с целью обеспечения динамической устойчивости энергоблоков». В 3 т. — М.: ГОУ ВПО «МЭИ (ТУ)», 2009.
2. Патент на изобретение № 2446534 «Устройство для защиты от коротких замыканий в «мертвой зоне» открытых распределительных устройств объектов энергетики». // Шульгинов Н.Г., Жуков А.В., Воробьев В.С., Максимов Б.К., Арцишевский Я.Л., Расщепляев А.И., Кузин А.С. Заявка № 2011117119 Приоритет изобретения 04 мая 2011 г. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 марта 2012 г.
3. Патент на изобретение № 2508585 «Устройство для защиты от коротких замыканий в «мертвой» зоне открытых распределительных устройств объектов электроэнергетики высокого и сверхвысокого напряжения — на участках между трансформаторами тока и выключателями» // Шульгинов Н.Г., Жуков А.В., Воробьев В.С., Максимов Б.К., Арцишевский Я.Л., Расщепляев А.И., Кузин А.С., Борисов Р.К., Лебедев В.Д. Заявка № 2012147501 Приоритет изобретения 08 ноября 2012. Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 27 февраля 2014 г. ■

# СИСТЕМА МОНИТОРИНГА ПЕРЕХОДНЫХ РЕЖИМОВ

готова к работе



РМУ ЭНИП-2, ES PDC, ГЛОНАСС/GPS, UPS, подсистема диагностики