

ШКАФ ДЛЯ ЧАСТИЧНОГО ЗАЗЕМЛЕНИЯ НЕЙТРАЛИ СЕТЕЙ 6–10 кВ

А.О. Добродей¹, М.Г. Приходько², Е.Н. Куртикова²

УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», г. Гомель, Республика Беларусь¹
ОАО «Ратон», г. Гомель, Республика Беларусь²

Аннотация. В статье рассмотрены варианты заземления нейтрали сетей 6–35 кВ. Разработана конструкция шкафа для резистивного заземления нейтрали сети 6–10 кВ в составе ячеек КРУ (шкаф частичного заземления нейтрали). Разработаны схемы главных и вторичных цепей шкафа. Представлены описание разработанного шкафа, перечень его основного электротехнического оборудования и его 3D модель. Приведено сравнение технических характеристик разработанного шкафа и существующих шкафов других производителей.

Ключевые слова: резистивное заземление нейтрали сети, ячейка КРУ, шкаф частичного заземления нейтрали (шкаф ЧЗН).

Введение. Основной проблемой повышения надежности работы сетей напряжением 6–35 кВ является оптимизация режима заземления нейтрали, который определяет характер переходных процессов при пробое фазной изоляции на землю и гашении заземляющей дуги, вероятность возникновения и величину перенапряжений, уровень изоляции оборудования, схему построения релейной защиты от замыканий на землю, бесперебойность электроснабжения и безопасность персонала.

В мировой практике в сетях среднего напряжения используются четыре варианта заземления нейтрали сети: изолированная; заземленная через дугогасящий реактор (ДГР); заземленная через резистор; глухозаземленная; параллельное включение ДГР и резистора.

Анализ мировой практики эксплуатации сетей 6–35 кВ показал, что в отличие от Беларуси, где используется режим изолированной нейтрали (примерно 80 % сетей) и режим заземления через дугогасящий реактор (примерно 20 %), в других странах чаще всего применяется заземление нейтрали через резистор или ДГР [1].

Сети с изолированной или компенсированной через ДГР нейтралью имеют ряд недостатков: при металлическом однофазном

замыкании на землю (ОЗЗ) напряжение на неповреждённых фазах повышается до линейного, что требует выполнения фазной изоляции на линейное напряжение; появляются значительные дуговые перенапряжения [2]; также вероятны феррорезонансные перенапряжения [3]; в случае резонансной настройки ДГР исключается возможность создания простой, надёжной и селективной защиты, способной выявить повреждённые присоединения; повышается опасность поражения людей и животных из-за длительного существования в сети ОЗЗ.

Для предотвращения этих нежелательных воздействий на изоляцию электрооборудования в настоящее время признано целесообразным проводить модернизацию системы заземления нейтрали сетей 6–35 кВ путем заземления её через резистор.

При ОЗЗ в сетях с заземлённой через резистор нейтралью в повреждённом присоединении, кроме суммарного ёмкостного тока, протекает активный ток, обусловленный включением в цепь тока нулевой последовательности активного сопротивления резистора. Это дает возможность определить повреждённое присоединение и незамедлительно принять меры по устранению повреждения.

Кроме того, заземление нейтрали через резистор позволяет снижать уровень дуговых, феррорезонансных и коммутационных перенапряжений, также способствует повышению уровня электробезопасности в результате быстрого отключения повреждённого присоединения.

В зависимости от соотношения сопротивлений резистора R_N и ёмкостного сопротивления сети X_C резистивное заземление нейтрали условно разделяют на низкоомное $R_N \leq X_C$ и высокоомное $R_N > X_C$ [2].

Низкоомное резистивное заземление нейтрали применяется в случаях, когда ОЗЗ должно быть селективно отключено в течение минимально возможного времени. Высокоомное – применяется в случаях, когда сеть должна иметь возможность длительной работы в режиме ОЗЗ до обнаружения места ОЗЗ и устранения повреждения.

Наиболее распространен метод включения резистора в нейтраль сети через специальный трансформатор (ТЗН) со схемой соединения обмоток $Y0/\Delta-11$ [2]. Самым удобным способом реализации данного метода заземления являлся бы шкаф частичного заземления нейтрали, который можно установить в любом свободном месте распределительного устройства или по торцам секций комплектного распределительного устройства (КРУ). Для реализации резистивного заземления нейтрали российские и зарубежные производители предлагают шкафы заземления нейтрали с различными техническими характеристиками [4–8]. В Республике Беларусь в настоящее время нет производителей данного вида шкафов, поэтому его разработка

является актуальной.

Основная часть. При проектировании комплектного устройства частичного заземления нейтрали (ЧЗН) необходимо учесть основные технические требования к ячейкам КРУ.

КРУ должны изготавливаться в соответствии с требованиями ГОСТ 14693-90 [10] или техническими условиями на КРУ конкретных типов по рабочей конструктивной документации и типовым схемам главных и вспомогательных цепей.

КРУ должны изготавливаться для работы в условиях климатических факторов по ГОСТ 15543 и ГОСТ 15150, в отношении нагрева при длительной работе в нормальном режиме должны удовлетворять требованиям ГОСТ 8024 и ГОСТ 10434.

Шкафы КРУ должны быть устойчивы к воздействию сквозных токов короткого замыкания, должны обладать достаточной механической прочностью, обеспечивающей нормальные условия работы без деформаций или повреждений элементов шкафов, препятствующих их нормальной работе.

Конструкция шкафов КРУ должна быть выполнена так, чтобы обеспечивалось нормальное функционирование приборов измерения, управления, а также не происходило срабатывание схем защиты, приводящее к отключению выключателя и срабатыванию соответствующих схем сигнализации при возможных сотрясениях элементов шкафов от работы выключателей и разъединителей и перемещениях выкатного элемента.

Схемы вспомогательных цепей КРУ должны быть, как правило, выполнены применительно ко всем видам рабочего тока вспомогательных цепей: постоянного, переменного, выпрямленного.

Срок службы КРУ – не менее 25 лет (при условии проведения техобслуживания и (или) замены аппаратуры, устанавливаемой в технических условиях и указываемой в эксплуатационной документации на КРУ конкретных типов).

При возникновении внутри КРУ короткого замыкания с открытой электрической дугой конструкция КРУ должна обеспечивать локализацию воздействия электрической дуги в пределах шкафа или монтажной единицы путем применения в КРУ специальных мер по ограничению времени действия дуги до величины не более 0,2 с.

Шкафы КРУ, как правило, должны быть оборудованы клапанами сброса давления в сочетании с датчиками дуговой защиты и схемами, имеющими блокировку от ложных отключений КРУ, например, по наличию тока короткого замыкания или падения напряжения в КРУ.

Конструкция шкафов КРУ должна обеспечивать защиту

обслуживающего персонала от случайного прикосновения к токоведущим и подвижным частям, и защиту оборудования от попадания твердых инородных тел в соответствии со степенью защиты.

Все токоведущие части главных цепей шкафов КРУ, которые могут оказаться под напряжением после выведения выкатного элемента в ремонтное положение, должны ограждаться автоматически закрывающимися защитными шторками, имеющими приспособление для их запиравания [10, 11].

Разработка шкафа частичного заземления нейтрали будет осуществляться по типовой схеме главных цепей (рисунок 1) с учетом выше приведенных требований.

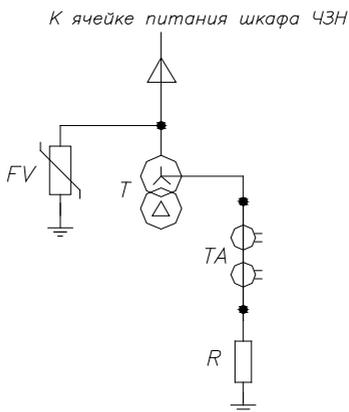


Рисунок 1 – Схема главных цепей шкафа ЧЗН.

Заземление нейтрали через резистор осуществляется подключением к сборным шинам, каждой секции в одной точке дополнительного заземляющего трансформатора, обмотка высокого напряжения которого соединена в звезду с выделенной нейтралью. В цепь нейтрали подключается измерительный трансформатор тока, нейтраль заземляется через блок резисторов. Обмотка низкого напряжения соединена в треугольник и в схеме не участвует. К выводам высокого напряжения подключается ограничитель перенапряжения (ОПН). Таким образом, шкаф ЧЗН включает следующие составные элементы: силовой заземляющий трансформатор, трансформатор тока, резистор, ОПН.

В качестве заземляющего трансформатора предлагается использовать силовой трансформатор со схемой соединения обмоток «звезда с нулем». В проектируемой ячейке устанавливается наиболее распространенный трансформатор, используемый для включения

резистора в нейтраль сети, типа ТСНЗ со схемой соединения обмоток $Y0/\Delta-11$. ТСНЗ – трехфазный сухой трансформатор с естественным воздушным охлаждением предназначен для создания искусственной нейтрали в сетях напряжением 6 и 10 кВ [12].

Для заземления нейтрали предлагается использовать высоковольтный резистор типа РЗ производства ООО «Болид» г. Новосибирск, предназначенный для защиты оборудования от дуговых и феррорезонансных перенапряжений путем частичного заземления нейтрали сети 6, 10 кВ. Резисторы типа РЗ номиналом 50–300 Ом предназначены для установки в шкафах КРУ, длительность их работы в режиме ОЗЗ ограничена и определяется быстродействием релейной защиты [13]. Также возможна установка резистора другого производителя.

Проектируемый шкаф ЧЗН включает в себя два отсека: отсек подключений и релейный отсек. В отсеке подключений находится перечисленное выше высоковольтное оборудование.

Шкаф ЧЗН состоит из металлического каркаса, на котором установлена дверь и размещен высоковольтный отсек, на фасадной двери введено смотровое окно, имеется внутренний контур заземления, релейный отсек представляет собой шкаф управления, установленный в передней верхней части металлокаркаса шкафа ЧЗН.

Разрабатываемый шкаф частичного заземления нейтрали предназначен для присоединения к секции любого распределительного устройства напряжением 6–10 кВ, включая комплектные распределительные устройства серии РТН (производства ОАО «Ратон»), а также КРУ других производителей. Шкаф ЧЗН может быть установлен по торцам секции КРУ или стоять отдельно в помещении РУ.

Пример принципиальной схемы частичного заземления нейтрали сети 6(10) кВ с применением комплектных устройств серии КРУ/РТН представлен на рисунке 2.

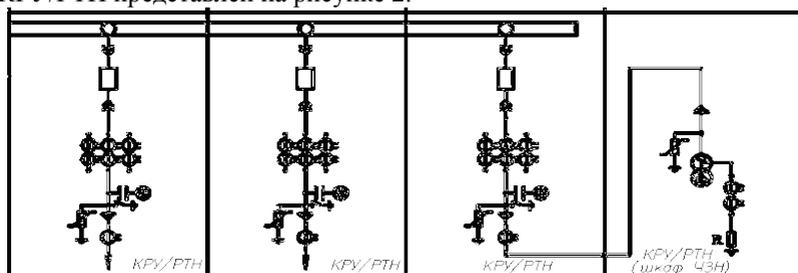


Рисунок 2 – Принципиальная схема частичного заземления

нейтрали сети 6(10) кВ с применением КРУ/РТН

Основные технические характеристики разрабатываемого шкафа частичного заземления нейтрали представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные технические характеристики шкафа ЧЗН.

Наименование параметра		Значение параметра	
Номинальное напряжение сети, кВ		6	10
Технические параметры трансформатора	Тип	ТСНЗ (возможен другой тип)	
	Номинальная мощность, кВА	Определяется заказчиком	
	Номинальное напряжение, кВ	6/0,4	10/0,4
	Напряжение к.з., %	5,5	
	Схема соединения обмоток	Y/Δ	
Технические параметры резистора	Тип резистора	РЗ (возможен другой тип)	
	Активное сопротивление, Ом	100	150
	Допустимые токи через резистор при ОЗЗ	40 А в течении 1,5 с 5 А в течении 1 ч 3,5 А в течении 2 ч	
Тип ограничителя перенапряжения		Определяет заказчик	
Тип трансформатора тока		Определяет заказчик	
Габаритные размеры шкафа, мм (ширина x глубина x высота)		950 x 1430 x 2500	
Масса комплектного устройства, кг		900	

Согласно схеме главных цепей шкафа ЧЗН (рисунок 1) в цепь нейтрали силового трансформатора устанавливается однофазный двухобмоточный трансформатор тока, первая обмотка – резервная, вторая – измерительная.

В цепи измерения подключается устройство измерительное ЦП8501/14, предназначенное для измерения силы тока или напряжения переменного или постоянного тока [14].

В отсек управления устанавливается устройство дуговой защиты с волоконно-оптическим датчиком Орион-ДЗ, предназначенное для фиксации момента возникновения дуги в шкафах КРУ и выдачи сигнала управления в цепи автоматики и релейной защиты [15].

Схема электрическая принципиальная вторичных цепей шкафа частичного заземления нейтрали представлена на рисунке 3.

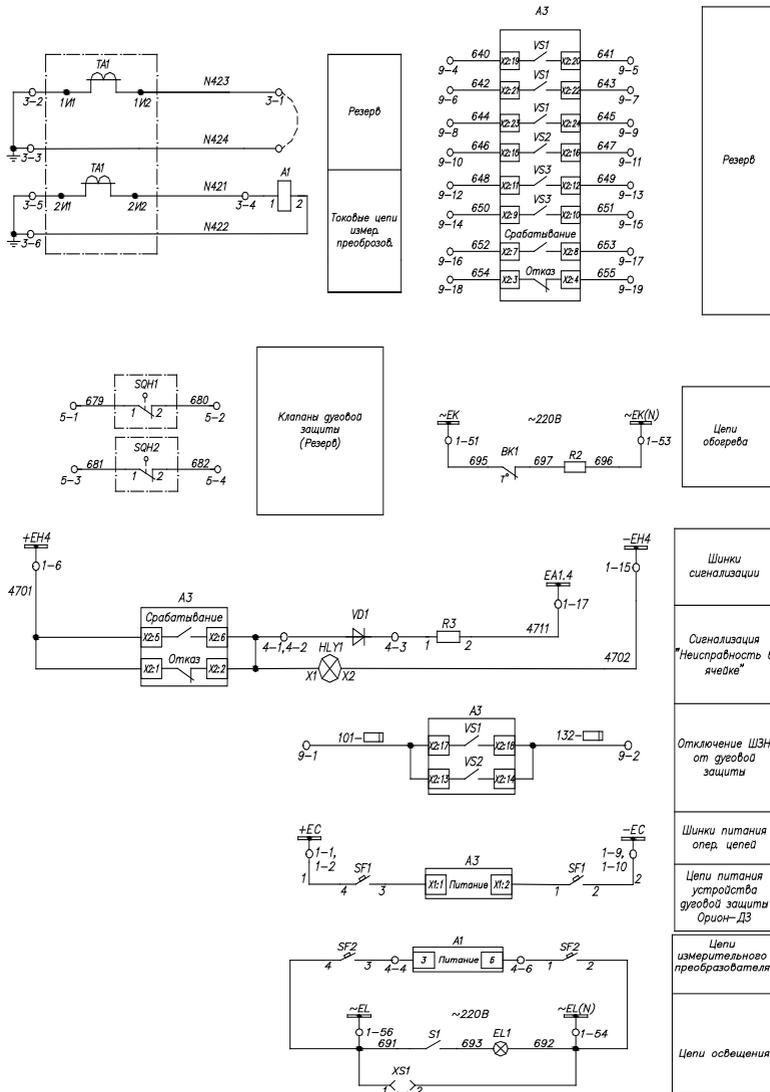


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная вторичных цепей шкафа ЧЗН

Источник освещения для наблюдения за оборудованием устанавливается в шкафу управления с задней стороны вверху фасада

разрабатываемого шкафа. Для поддержания температуры в помещении за счет управления исполнительными устройствами (приборы охлаждения, теплообменники), а также для сигнализации предельных значений температуры в цепи обогрева устанавливается термостат.

С использованием системы КОМПАС 3D [16] разработана 3D модель проектируемого шкафа частичного заземления нейтрали (рисунок 4). Все построения осуществлялись по габаритным размерам электротехнического оборудования с учетом требований нормативно-технической документации. Основное электротехническое оборудование шкафа: трансформатор заземления типа ТСНЗ-63/10-УЗ, резистор типа РЗ1-150 УХЛЗ, ограничитель перенапряжения ОПН-РТ/TEL-10/11,5 УХЛ2, трансформатор тока ТОЛ-НТЗ-10.

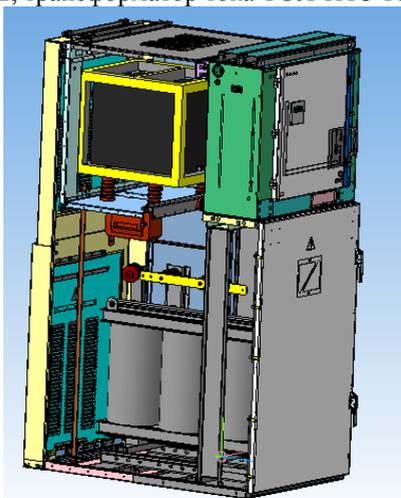


Рисунок 4 – 3D модель шкафа частичного заземления нейтрали

Шкаф ЧЗН предусматривает кабельный ввод питания. Кабель подключаются к ОПН снизу в задней части шкафа. Медные шины установлены на металлокаркасе с помощью кронштейнов и полимерных опорных изоляторов ИОЭЛ-10 в задней части шкафа, изоляция высоковольтных токоведущих частей обеспечивается за счет воздушных зазоров, без применения дополнительных изоляционных перегородок. Доступ для подключения и периодического контроля осуществляется при вскрытии панели с тыльной части шкафа ЧЗН, что позволяет обслуживать оборудование без демонтажа вспомогательных деталей и узлов. К шинам 10 кВ подключается трансформатор заземления нейтрали, который установлен на раме на дне шкафа. ОПН устанавливается на правой боковой стенке металлокаркаса на

кронштейне и подключается к шинам высокого напряжения. В цепь нейтрали трансформатора подключается трансформатор тока. Резистор заземления нейтрали расположен на специальной панели на опорных изоляторах ИОЭЛ-10 в верхней части металлокаркаса. На фасадной двери имеется смотровое окно, обеспечивающее визуальный контроль за состоянием шкафа. Шкаф управления расположен в передней верхней части металлокаркаса, на двери шкафа управления расположена мнемосхема шкафа ЧЗН и измерительные приборы. Внутренний контур заземления шкафа ЧЗН выполнен из медной шины и выведен для подключения к внешнему контуру заземления с правой стороны шкафа. Все заземляемые элементы шкафа подключаются к внутреннему контуру.

По техническим характеристикам был осуществлен сравнительный анализ разработанного шкафа ЧЗН со шкафами других производителей, полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение шкафов ЧЗН по техническим характеристикам

Наименование параметра	Значение параметра		
	Московский завод «Электрощит» [4]	ООО «РЗВА Электрик» [5]	Разработанный шкаф ЧЗН
Номинальное напряжение сети, кВ	6, 10	6, 10	6, 10
Тип трансформатора и схема соединения обмоток	ТСНЗ-63/10У3 Y0/Δ	ТСНЗ-63/10У3 Y0/Δ	ТСНЗ (возможен другой тип) Y0/Δ
Тип резистора	РЗ	РЗ	РЗ (или другой)
Активное сопротивление, Ом	100, 150	100, 150	100–300
Тип ограничителя перенапряжения	Определяется заказчиком	Определяется заказчиком	Определяется заказчиком
Трансформатор тока	ТЛК 10-5-0,5/10Р-50/5	ТОЛ-10-1	Определяется заказчиком
Ввод силового кабеля	Снизу	Снизу	Снизу (возможно другое исполнение)
Масса шкафа, кг	900	720	900

Выводы. Для реализации резистивного заземления нейтрали сети разработана конструкция шкафа частичного заземления нейтрали сетей 6–10 кВ в составе ячеек КРУ. Составлено описание конструкции шкафа ЧЗН и приведены его основные технические характеристики. Разработаны схемы главных и вторичных цепей шкафа ЧЗН. Для представления внешнего вида шкафа ЧЗН разработана его 3D модель.

Предлагаемая конструкция шкафа для частичного заземления нейтрали сетей 6–10 кВ обладает следующими преимуществами:

- шкаф является комплектным изделием заводской готовности, позволяющим реализовать резистивное заземление нейтрали в любой сети 6–10 кВ;

- мобильность и простота обслуживания (доступ для подключения и периодического контроля осуществляется при вскрытии панели с тыльной части шкафа, что позволяет обслуживать оборудование без демонтажа вспомогательных деталей и узлов);

- защита персонала от прямого прикосновения к токоведущим частям шкафа;

- взрывобезопасность (охлаждение и изоляция резистора воздушные).

Список использованных источников:

1. Титенков, С.С. Режимы заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ и организация релейной защиты от однофазных замыканий на землю / С.С. Титенков, А.А. Пугачев // Энергоэксперт, №2, 2010. С. 36–43.

2. СТП 09110.20.187-09 Методические указания по заземлению нейтрали сетей 6–35 кВ Белорусской энергосистемы через резистор – Минск, 2009.

3. Катасонов, С.М. Ограничение перенапряжений в сетях 6–35 кВ с помощью резистивного заземления нейтрали / С.М. Катасонов, В.И. Чиндякин, В.Ф. Кажав // Известия Оренбургского государственного аграрного университета – 2008, №18-1. – С. 97–100.

4. Комплектные распределительные устройства 6(10), 20, 35 кВ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.moselectroshield.ru/upload/iblock/054/0543b7c728e3eb1c4f7e83885ffdc439.pdf>. – Дата доступа: 10.03.2016.

5. Устройство комплектные распределительные серии КУ 10Ц [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.rzva.ua/modules/pages/files/02_КРУ_серии_КУ10Ц.pdf. – Дата доступа: 10.03.2016.

6. Шкаф частичного заземления нейтрали [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.kga.ru/catalog/product/shkaf-chastichnogo-zazemleniya-neutrali>. – Дата доступа: 10.03.2016.

7. Устройство резистивного заземления нейтрали NERC сетей

3–35 кВ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ege-energan.ru/продукция/резисторы-заземления-нейтрали-6-35-квт/устройства-резистивного-заземления>. – Дата доступа: 10.03.2016.

8. Neutral grounding resistor cabinet [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://cneke.sell.everychina.com/p-100915453-13-8kv-neutral-grounding-resistor-cabinet.html>. – Дата доступа: 10.09.2016.

10. ГОСТ 14693-90 Устройства комплектные распределительные негерметизированные в металлической оболочке на напряжение до 10 кВ. Общие технические условия. – Москва, 1990. – 27 с.

11. ГОСТ 12.2.007.4-96 Система стандартов безопасности труда. Шкафы негерметизированных комплектных распределительных устройств и комплектных трансформаторных подстанций. Требования безопасности. – Минск, 2006. – 11 с.

12. Трансформатор серии ТСНЗ-63/10-УЗ.Трехфазный сухой класса напряжения 6–10 кВ для защиты электросетей промышленных предприятий (для заземления нейтрали) [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://www.elektrozavod.ru/sites/default/files/production/catalog/pdf/additional/TSN3-63-10.pdf>. – Дата доступа: 20.10.2016/

13. Бруй, С.Р. Резисторы для заземления нейтрали в сетях 6–35 кВ/ С.Р. Бруй [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: <http://static.pnpbolid.com/pdf/V-Conference-2008-19.pdf>. – Дата доступа: 20.10.2016.

14. Руководство по эксплуатации ЦП8501 [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.electropribor.by/sites/default/files/rucovodstva/rucovodstvo_po_ekspluatacii_cp8501.pdf. – Дата доступа: 09.11.2016.

15. Руководство по эксплуатации Орион-ДЗ [Электрон. ресурс]. – Режим доступа: http://www.rza.ru/upload/iblock/a25/re-orion_dz-a5-06.16.pdf. – Дата доступа: 09.11.2016.

16. Генин, Н.Б. Самоучитель КОМПАС 3D / Н.Б. Генин [Электронный ресурс]. – 2005. – Режим доступа: <http://chertezhi.ru/modules/ebook/showfile.php?lid=1286>. – Дата доступа: 15.11.2015.

*Добродей Александр Олегович, к.т.н., доцент, зав. кафедрой
«Электроснабжение», Республика Беларусь, Гомель, УО «ГГТУ им
П.О. Сухого», dobrodey2007@yandex.ru
Приходько Михаил Григорьевич, главный инженер ОАО
«Ратон», Республика Беларусь, Гомель, raton@inbox.ru
Куртикова Елена Николаевна, инженер ОАО «Ратон»,
Республика Беларусь, Гомель, kyrtikova26@mail.ru*

SWITCHGEAR FOR PARTIAL GROUNDING NEUTRAL OF 6-10 kV NETWORKS

A.O. Dobrodey¹, M.G. Prihodko², E.N. Kurtikova²

Abstract. The article considers the options for grounding neutral networks 6-35 kV. The construction switchgear for resistive grounding neutral of 6–10 kV networks in the structure of the switchgear cubicles (partial neutral grounding switchgear) is developed. Schemes of the main and secondary circuits of the switchgear are developed. The description of the switchgear, a list of its main electrical equipment and its 3D model are presented. Comparison of technical characteristics of the developed switchgear and existing switchgears of other manufacturers is given.

Key words: resistive grounding of the mains neutral, KRU switchgear, partial neutral grounding switchgear.

A.O. Dobrodey, phd in engineering, assistant professor, head of department «Electric power supply», the Republic of Belarus, Gomel, «GSTU named after P.O. Sukhoi», dobrodey2007@yandex.ru

M.G. Prihodko, chief engineer of OJSC «Raton», the Republic of Belarus, Gomel.

E.N. Kurtikova, engineer of OJSC «Raton», the Republic of Belarus, Gomel, kyrtikova26@mail.ru