



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Опыт реализации низкоомного резистивного заземления нейтрали в распределительной сети 10 кВ АО «Тихвинский вагоностроительный завод»

Титенков Сергей Станиславич

первый зам. генерального директора – гл. инженер

ООО «Энерган», г. Санкт-Петербург,

моб. +7 (911) 208-87-57, www.energan.ru [sst@energan.ru](mailto:ssat@energan.ru)

Касаткин Юрий Александрович

Ведущий инженер-энергетик ДГИ Тихвинский вагоностроительный завод

тел. +7-8136-731680, доб. 5513 моб.+7-981-780-01-83

www.tvsz.ru yukasatkin@tvsz.ru

Режим резистивного заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ

В последние 25 лет в России в сетях 6-35 кВ начал применяться режим резистивного заземления нейтрали.

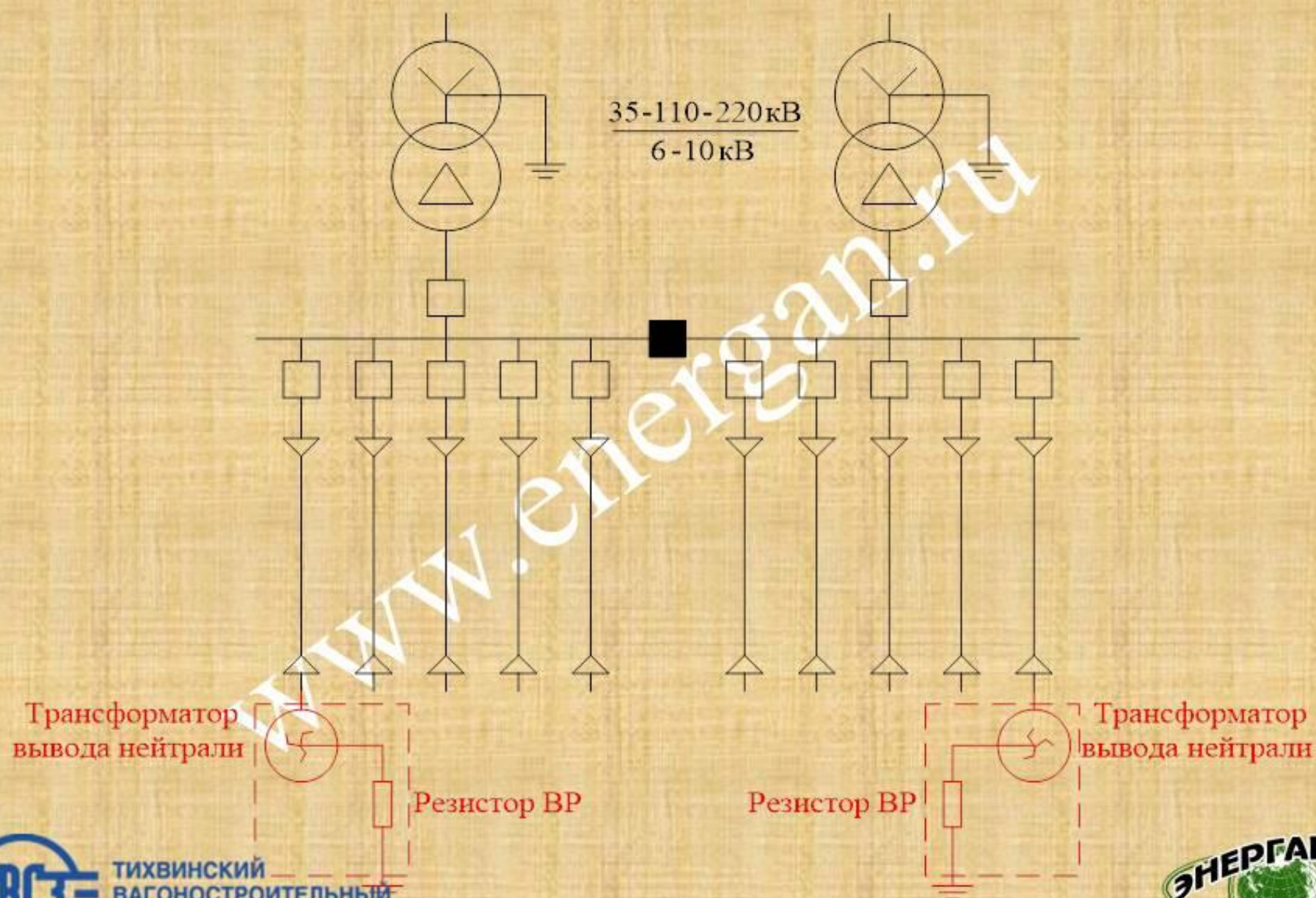
При этом режиме заземления нейтрали нейтральная точка сети соединяется с контуром заземления посредством резистора. Величина резистора выбирается исходя из емкостного тока сети и требований чувствительности релейной защиты.



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Сеть с нейтралью, заземленной через резистор



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Преимущества сетей 6-35 кВ с нейтралью, заземленной через резистор

- отсутствие дуговых перенапряжений при однофазных замыканиях на землю;
- защита сети от многоместных повреждений изоляции при однофазных замыканиях на землю и связанных с этим аварий
- возможность реализации простой селективной и чувствительной релейной защиты от однофазных замыканий на землю (ANSI 50, 51)
- снижение трудозатрат персонала и требуемого времени для поиска однофазного замыкания на землю
- увеличение срока службы кабелей
- исключение повреждений измерительных ТН из-за феррорезонансных процессов
- отсутствие необходимости в немедленном отключении однофазного замыкания на землю (для высокоомного заземления нейтрали);
- снижение вероятности электропоражения персонала и посторонних лиц (при низкоомном заземлении нейтрали и быстром отключении).

НОРМАТИВНЫЕ ДОКУМЕНТЫ ПО РЕЗИСТИВНОМУ ЗАЗЕМЛЕНИЮ НЕЙТРАЛИ

1. ПРАВИЛА УСТРОЙСТВА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

п.1.2.16 ПУЭ «...работа электрических сетей напряжением 2–35 кВ может предусматриваться как с изолированной нейтралью, так и с нейтралью, заземленной через дугогасящий реактор **или резистор**».

2. ПРАВИЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И СЕТЕЙ (Приказ Минэнерго РФ от 04.10.2022 N 1070 Об утверждении ПТЭЭСС)

Пункты №619, 620, 621 (**имеют недостатки!!!**)

3. ГОСТ по резисторам заземления нейтрали 6-35 кВ отсутствует! В настоящий момент в разработке находится СТО ПАО Россети на резисторы.



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Публикации по режиму резистивного заземления нейтрали

1. Титенков С.С. 4 режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ. Изолированную нейтраль объявим вне закона // Новости электротехники, 2003, №5(23), с. 28-32
<http://news.elteh.ru/arh/2003/23/05.php?ysclid=19sm0z5bb1218729243>
2. Назарычев А.Н., Титенков С.С., Пугачев А.А. Комплексные инновационные решения по заземлению нейтрали в сетях 6-35 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение, 2016, №3 (36), с. 82–88.
3. Кучумов Л.А., Кузнецов А.А., Евдокунин Г.А., Титенков С.С., Назарычев А.Н., Милютин С.И., Червочков Д.П., Суходоев С.П. Опыт эксплуатации резистивного заземления нейтрали сети 10 кВ на ПС «Петродворец» и экспериментальное исследование токов однофазного замыкания на землю // Электроэнергия. Передача и распределение, 2017, № 6 (45), с. 78-84
4. Назарычев А.Н., Титенков С.С., Пугачев А.А. О формировании технических требований к конструкции и параметрам резисторов заземления нейтрали 6–35 кВ // Электроэнергия. Передача и распределение, 2022, №6 (75), с. 102–106.
5. Гвоздев Д.Б., Королев А.А., Назарычев А.Н., Пугачев А.А., Титенков С.С., Грибков М.А. Опыт реализации низкоомного резистивного заземления нейтрали в сети 6 кВ мегаполиса // Электричество, 2025, №7, с. 17–29



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Высокоомное и низкоомное резистивное заземление нейтрали

Высокоомное резистивное заземление нейтрали это заземление нейтрали через резистор, при котором **суммарный** ток в месте замыкания (активный ток резистора плюс емкостный ток сети) **не превышает 10А** (IEEE Standard 142-2007 «Recommended practice for grounding of industrial and commercial power systems»). Как правило, однофазное замыкание на землю при таком режиме заземления нейтрали можно не отключать и защиты от замыканий на землю действуют на сигнал.

Низкоомное резистивное заземление нейтрали это заземление нейтрали через резистор, при котором **суммарный** ток в месте замыкания (активный ток резистора плюс емкостный ток сети) **превышает 10А**. Как правило, суммарный ток однофазного замыкания при этом режиме заземления нейтрали существенно превышает 10А, а именно достигает десятков и сотен ампер, что требует действия защит от замыканий на землю на отключение без выдержки времени (или с малой выдержкой).

Выбор заземляющего резистора при низкоомном резистивном заземлении

Низкоомное заземление нейтрали может выполняться в сетях с любым емкостным током, при этом активный ток I_R , создаваемый резистором, должен быть больше емкостного тока сети. Как правило, активный ток, создаваемый резистором, превышает емкостный ток сети не менее чем в 2 раза (обычно в 2,5÷4 раза).

Обычно, ток, создаваемый резистором, лежит в пределах:

$$I_R = 20 \div 2000 \text{ А} \quad I_R \gg I_C \quad R_N = \frac{U_\phi}{I_R}$$

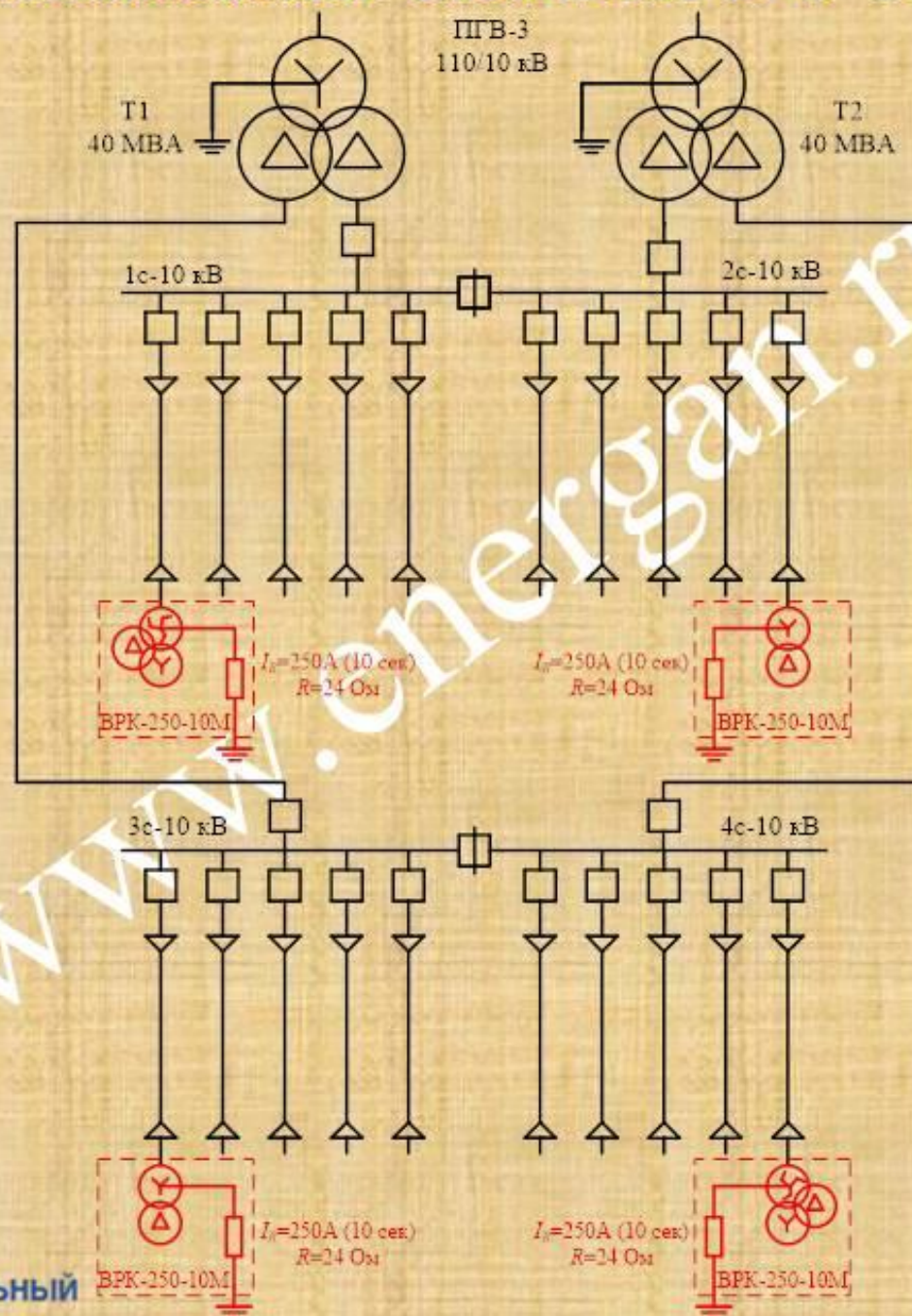
Выбор тока, создаваемого резистором, при низкоомном заземлении нейтрали является разумным компромиссом между двумя противоположными задачами: повышением чувствительности защит от замыканий на землю за счет увеличения тока однофазного замыкания и ограничением тока в месте повреждения (однофазного замыкания) для снижения объема разрушения оборудования.



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Однолинейная схема ПГВ-3 ТВСЗ



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Схема распределения электроэнергии от ПГВ-3 ТВСЗ

Схема распределения энергии от ПГВ-3 ТВСЗ на напряжении 10 кВ двухступенчатая с использованием распределительных пунктов РП 10 кВ. Кабельные линии 10 кВ, подключенные к РП 10 кВ и непосредственно к секциям ПГВ-3 питают цеховые КТП 10/0,4 кВ. Электродвигатели 10 кВ в сети отсутствуют.



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Емкостные токи на секциях 10 кВ ПГВ-3 ТВСЗ

Нормальный режим

№	Наименование секции ПГВ-3	Емкостный ток с учетом РП, А
1	Секция 1с-10 кВ	28,4
2	Секция 2с-10 кВ	16,4
3	Секция 3с-10 кВ	16,6
4	Секция 4с-10 кВ	33,3

Параллельная работа

№	Наименование секции ПГВ-3	Емкостный ток с учетом РП, А
1	Секции 1с-10 кВ и 2с-10 кВ вместе	≈45
2	Секции 3с-10 кВ и 4с-10 кВ вместе	≈50



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



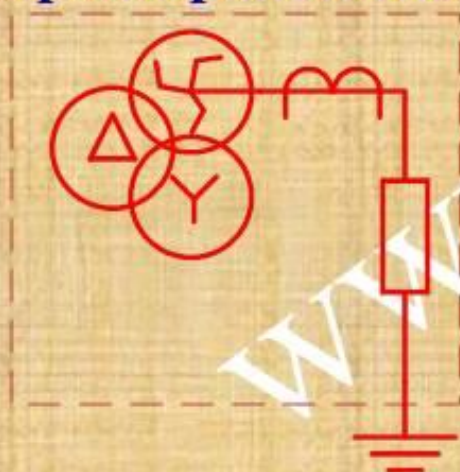
Выбор тока резистора заземления нейтрали для секций 10 кВ ПГВ-3 ТВСЗ

Ток резистора выбирался для наихудшего случая (параллельная работа секций 10 кВ, при одном выведенном в ремонт комплектном устройстве резистивного заземления нейтрали):

$I_R = K_{\text{зап}} \times 4 \times I_C = 1,25 \times 4 \times 50 = 250 \text{ А}$, где $K_{\text{зап}}$ - коэффициент запаса, учитывающий развитие сети (прокладка новых кабелей, замена кабелей с бумажно-масляной изоляцией на изоляцию из сшитого полиэтилена).

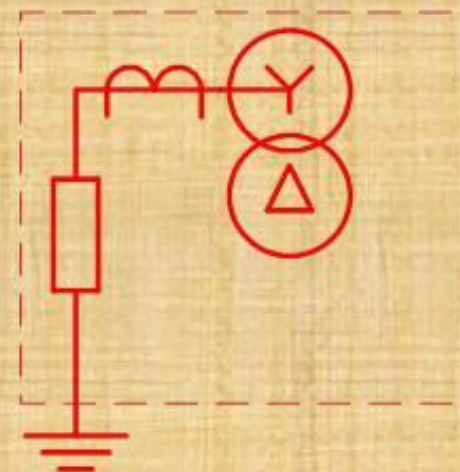
Комплектные устройства низкоомного резистивного заземления нейтрали ВРК-250-10М на ПГВ-3 ТВСЗ

Комплектные устройства низкоомного резистивного заземления нейтрали ВРК-250-10М обеспечивают низкоомное резистивное заземление нейтрали на секциях 10 кВ ПГВ-3 и питание нагрузок собственных нужд от вторичных обмоток напряжением 0,23-0,4 кВ трансформаторов вывода нейтрали



$$I_R = 250 \text{ А (10 сек)}$$
$$R = 24 \text{ Ом}$$

Вариант №1 ВРК-250-10М с трёх-обмоточным трансформатором вывода нейтрали Z-0/Y-0/D 10/0,4/0,23 кВ



Вариант №2 ВРК-250-10М с двух-обмоточным трансформатором вывода нейтрали Y-0/D 10/0,23 кВ



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Комплектные устройства низкоомного резистивного заземления нейтрали ВРК-250-10М на ПГВ-3 ТВСЗ



Защиты от замыканий на землю на ПГВ-3 ТВСЗ и на РП связанной сети 10 кВ

В качестве защит от замыканий на землю используются максимально токовые защиты с выдержкой времени (ANSI 51G), имеющиеся в составе цифровых блоков РЗА (БЭМП, БМРЗ, Сириус). В некоторых случаях использованы защиты на электромеханических токовых реле РТ-40/0,2. Защиты от замыканий на землю включены на трансформаторы тока нулевой последовательности (ТНП), установленные в кабельных отсеках КРУ.

Уставка по току защит от замыканий на землю на тупиковых фидерах к КТП 10/0,4 кВ принята единообразной и равной 14А. Выдержка времени принята равной 0÷0,1 сек. **Защиты действуют на отключение!**

Уставка по току защит от замыканий на землю на фидерах, питающих РП, определена, исходя из собственного емкостного тока, и составляет 19÷37,5А. Уставка по времени в этом случае равна 0,4 сек. **Защиты действуют на отключение!**

Резервирование отказа защит от замыканий на землю отходящих линий на ПГВ-3 обеспечивается защитой от замыканий на землю в ячейке КРУ для подключения комплектного устройства резистивного заземления нейтрали с уставкой по току 20А и времени 1,5 сек. **Защита действует на отключение!**

Ошибки монтажа кабелей в ячейках КРУ 10 кВ



После ввода в действие защит от замыканий на землю на отключение были выявлены ошибки монтажа кабельных разделок в ячейках КРУ, которые приводили к ложным срабатываниям защит от замыканий на землю в сети 10 кВ при однофазных замыканиях на шинпроводах 0,4 кВ. После устранения ошибок монтажа кабельных разделок 10 кВ ложные срабатывания защит от замыканий на землю в сети 10 кВ прекратились.



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД



Результаты внедрения резистивного заземления нейтрали на ПГВ-3 ТВСЗ

1. Обеспечено практически мгновенное селективное определение и отключение поврежденного при однофазном замыкании на землю (ОЗЗ) кабеля 10 кВ, что существенно повышает безопасность обслуживающего электрооборудование персонала и прочих работников производства
2. Исключены многоместные повреждения изоляции (одновременный выход из строя нескольких кабелей) вследствие перенапряжений при ОЗЗ соответственно неожиданные отключения технологических электроприемников
3. За счет быстрого отключения ОЗЗ снижена вероятность повреждения ячеек КРУ 10 кВ вследствие перехода однофазного замыкания в КЗ (в том числе вероятность выгорания нескольких ячеек КРУ, как развития аварии)
4. Снижены трудозатраты на поиск поврежденного кабеля и время поиска (исключен ручной поиск с оперативными переключениями)
5. Потенциально увеличится срок службы кабелей, трансформаторов напряжения и силовых трансформаторов вследствие ограничения перенапряжений при однофазных замыканиях на землю

Благодарим за внимание!!!



ТИХВИНСКИЙ
ВАГОНОСТРОИТЕЛЬНЫЙ
ЗАВОД

