

Измерительные трансформаторы напряжения в сетях с изолированной нейтралью.

Электрические сети 6 – 35 кВ работают с изолированной или компенсированной нейтралью. Немедленное отключение однофазных замыканий на землю в этих сетях не требуется. Но при этом, нормативные документы обязывают обслуживающие электрические сети компании немедленно приступить к организации выявления поврежденного участка, с последующим его отключением, так как такой режим представляет большую опасность для людей и электроаппаратов.

В сетях с изолированной нейтралью, как правило, применяются заземляемые трансформаторы напряжения. Они применяются для учета и контроля изоляции сети. Заземление высоковольтной обмотки фазных трансформаторов необходимо как для построения учета, так и для контроля изоляции сети, поэтому высоковольтные обмотки заземляемых трансформаторов напряжения физически связаны с землей. Изолированная нейтраль позволяет длительно эксплуатировать сети в режиме замыкания одной из фаз на землю. Замыкания на землю приводят к перенапряжениям.

Самые распространенные замыкания это однофазные замыкания на землю (ОЗЗ), которые могут быть или металлическими или дуговыми замыканиями. В количественном отношении такого рода замыкания превышают суммарное число остальных видов технологических отклонений, и эти режимы представляет наибольшую опасность для заземляемых трансформаторов напряжения.

Феррорезонансные процессы при однофазных дуговых замыканиях и отключениях металлических замыканий на землю приводят, в большинстве случаев, к повреждению трансформаторов напряжения. Характерный пример осциллограммы такого процесса приведен на рисунке 1.

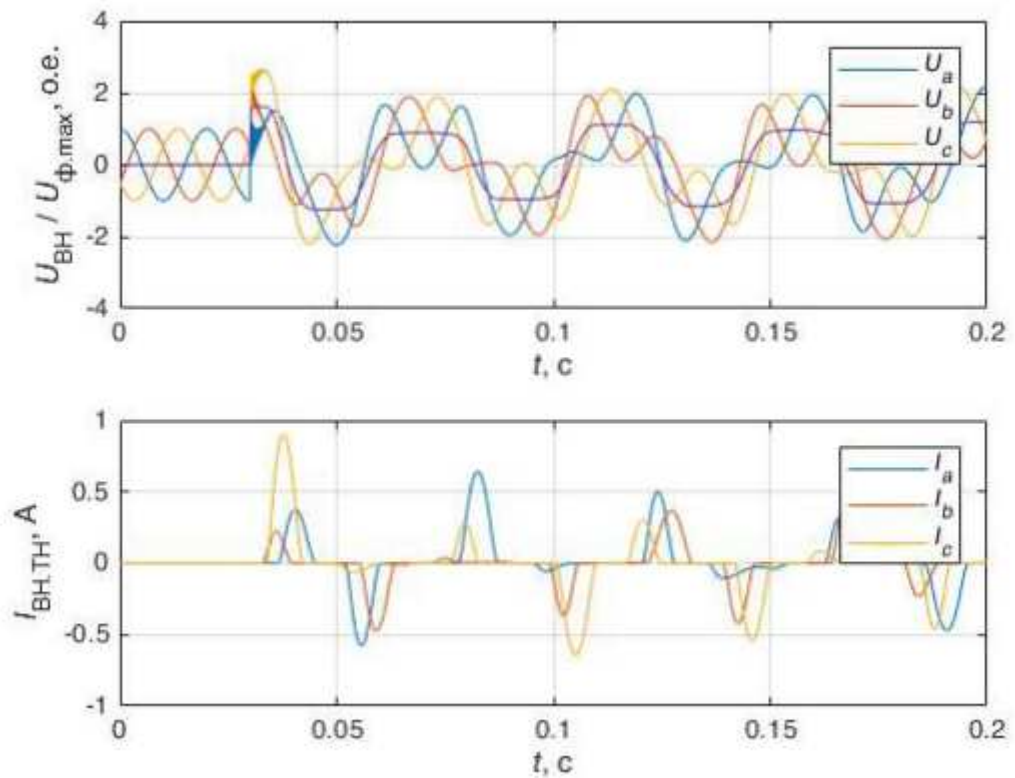


Рисунок.1 Характерная осциллограмма феррорезонансного процесса при ОДЗ.

В сети с изолированной нейтралью, ёмкость сети (ёмкость фаз на землю) образует замкнутый резонансный контур с трансформатором напряжения. Из всего оборудования этих сетей, только трансформатор напряжения соединён с землёй. Соответственно, любое возмущение в сети с изолированной нейтралью, которое приведёт к перезарядке фазных ёмкостей и появлению напряжения нулевой последовательности потенциально может привести к феррорезонансному процессу в трансформаторе напряжения.

Понимание природы феррорезонансного процесса в контуре нулевой последовательности, позволяют понять насколько эффективными будут те или иные технические меры и изменения в конструкции трансформаторов напряжения, используемые для придания им антирезонансных свойств. Если пренебречь подпиткой из контура прямой последовательности, то ток намагничивания феррорезонансного процесса практически полностью соответствует току при разряде ёмкости через катушку с ферромагнитным сердечником. В связи с этим ток феррорезонансного процесса можно описать выражением:

$$i_B(t) = \frac{U_0}{\omega_1 L_1} \cdot e^{-\delta_1 t} \cdot \sin(\omega_1 t),$$

Проведя необходимые исследования и расчеты, мы разработали ряд мер, которые в значительной степени позволяют защитить трансформаторы напряжения от феррорезонанса.

В 2009 году была пересмотрена конструкция высоковольтных трансформаторов напряжения в части снижения рабочей индукции. Рабочая индукция была снижена за счет увеличения количества витков до уровня 0,7-0,73 Тл. До модернизации рабочая индукция находилась в пределах 0,92-0,95 Тл. Ожидаемый эффект от увеличения количества витков это увеличение индуктивности рассеяния. Увеличение индуктивности рассеяния трансформатора напряжения снижает амплитуду бросков тока намагничивания во время феррорезонансного процесса и действующего значения установившегося тока в режиме феррорезонанса в целом.

Для сравнения мы провели расчет на устойчивость к воздействию феррорезонанса трансформаторов напряжения ЗНОМ-35 и ЗНОЛ-35. Область существования феррорезонанса у ЗНОМ-35 почти в шесть раз больше, чем у ЗНОЛ-35.

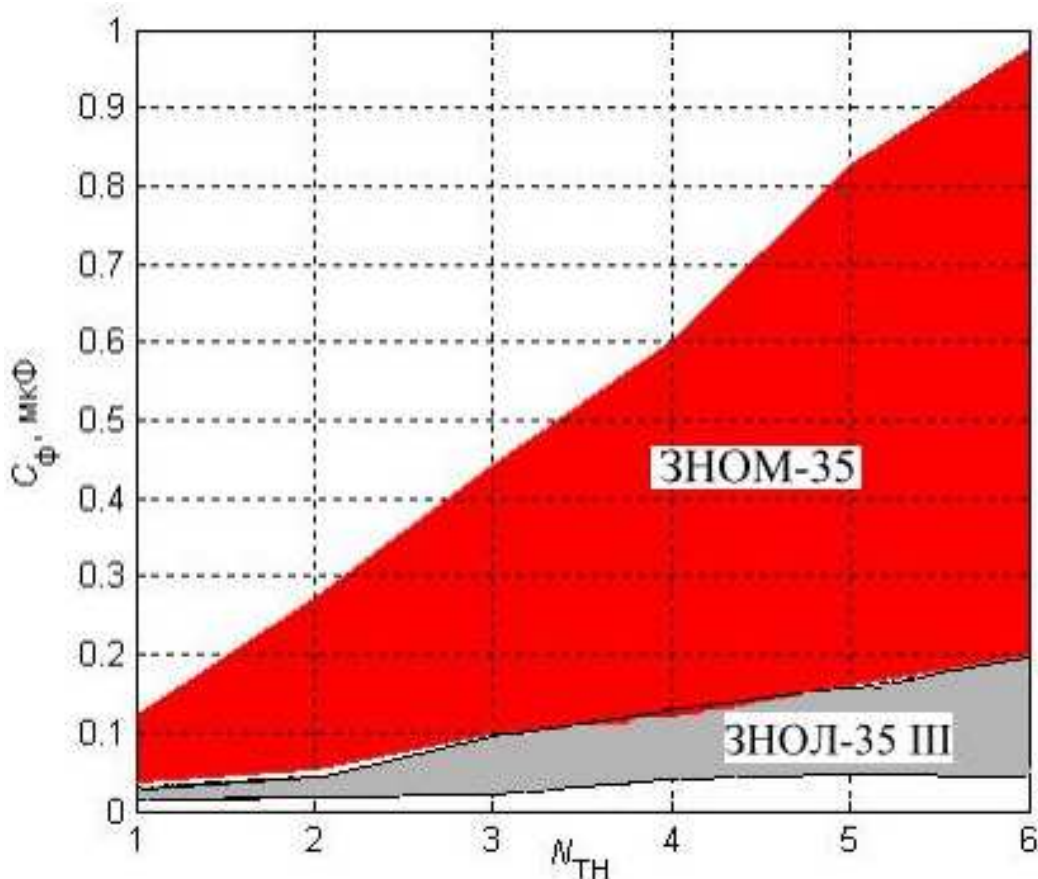


Рисунок 2. Область существования феррорезонанса трансформаторов напряжения ЗНОМ-35 и ЗНОЛ-35.

Отмечу, что индуктивность рассеяния трансформатора ЗНОМ-35 – 40 Гн, а индуктивность рассеяния трансформатора напряжения ЗНОЛ-35 – 185 Гн.

Как видно из представленного графика, снижение рабочей индукции сильно снизило возможность возникновения феррорезонанса, но не исключило его полностью.

Общий принцип действия антирезонансных мер это демпфирование резонансных колебаний за счёт увеличения активных потерь в резонансном контуре. Самый простой способ демпфирования и наиболее распространенный это применение сопротивления 25 Ом. Принимая во внимание, что этот способ является, плюс ко всему, самым дешевым, мы разработали два устройства защиты от феррорезонанса это СЗТн и СЗТн-2. Они включаются в дополнительную обмотку трансформатора напряжения, соединённую в разомкнутый треугольник, служащую для измерения напряжения нулевой последовательности. На рисунке 4 представлены области существования феррорезонанса с защитным устройством СЗТн и без него. Как видно, область существования феррорезонанса уменьшилась. Из практики применения СЗТн могу отметить, что в наиболее «проблемных» сетях, где наблюдались частые срабатывания предохранителей или повреждения трансформаторов напряжения, после установки СЗТн проблемы уходили.



Рисунок 3. Общий вид устройства защиты от феррорезонанса СЗТн.

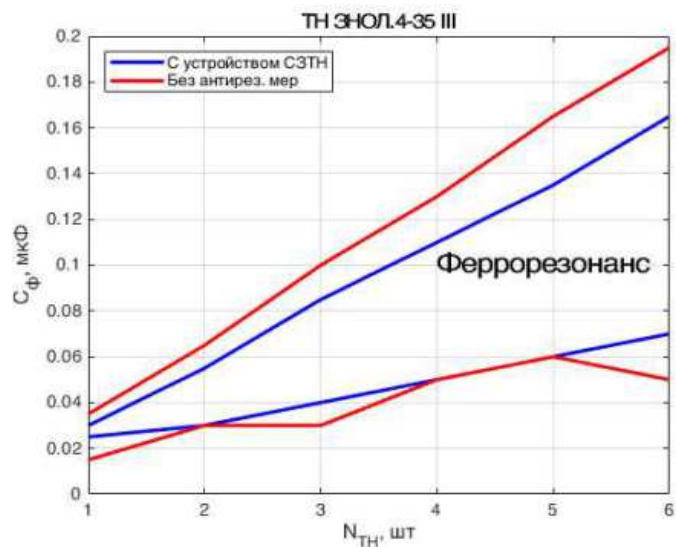


Рисунок 4. Расчетные области существования феррорезонанса с защитным устройством СЗТн и без него, ТН ЗНОЛ-35 III.

Для уменьшения области существования феррорезонанса была проведена модернизация СЗТн.

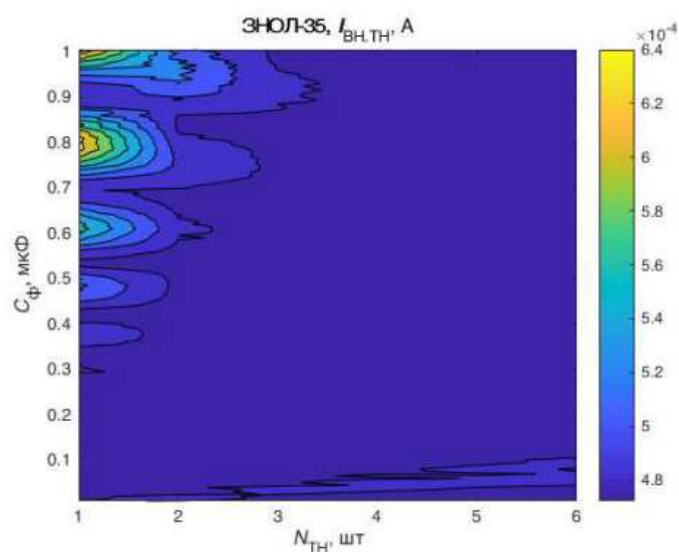


Рисунок 5. Зависимости действующего тока в обмотках ВН в установившемся режиме, после возмущения в сети с ТН типа ЗНОЛ-35 III с модернизированным устройством СЗТн.

Для внедрения в производство модернизированного СЗТн необходимо решить ряд технических вопросов, что будет сделано в ближайшее время.

Устройство защиты от феррорезонанса СЗТн-2 имеет лучшие характеристики по сравнению с СЗТн, но цена СЗТн-2 выше, поэтому мы оставляем выбор за заказчиком. Компьютерные исследования показали, что трансформаторы напряжения, которые снабжены устройством СЗТн-2 не вступают в резонанс с сетью. Колебательные процессы,

в контуре нулевой последовательности, вызванные возмущением в сети, носят затухающий характер.

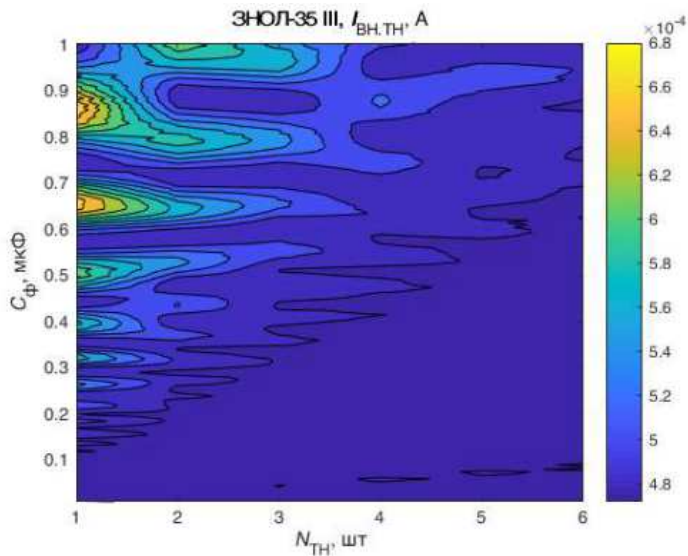


Рисунок 6. Зависимости действующего тока в обмотках ВН в установившемся режиме, после возмущения в сети с ТН типа ЗНОЛ-35 III с устройством СЗТн-2.

Но надо отметить, что для предотвращения режима феррорезонанса необходимо, чтобы все трансформаторы напряжения были снабжены устройствами СЗТн или СЗТн-2. На графике представлен случай, когда один из трансформаторов напряжения не снабжен устройством защиты от феррорезонанса.

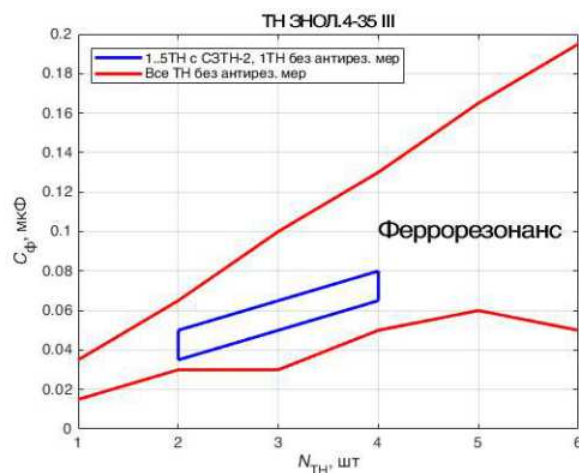


Рисунок 7. Область опасного феррорезонанса в сети с 1...5ТН типа ЗНОЛ.4-35 III оснащёнными СЗТн-2, и одним трансформатором напряжения без антирезонансных мер.

Еще один способ защиты трансформаторов напряжения от феррорезонанса это включение дополнительного трансформатора напряжения нулевой последовательности в нейтраль трехфазной группы. В настоящее время этот принцип является одним из

наиболее распространённым конструктивным решением по приданию трансформаторам антирезонансных свойств.

В трёхфазных группах однофазных трансформаторов, в которых возможно существование магнитного потока нулевой последовательности (как небаланса магнитных потоков трансформаторов напряжения в фазах), дополнительный трансформатор может выполнять роль не только антирезонансного устройства, а еще и измерителя напряжения нулевой последовательности. То есть по сути он имеет две обмотки – высоковольтную и «стовольтовую». Общий принцип предотвращения феррорезонанса при помощи дополнительного трансформатора напряжения, заключается в последовательном включении большого активно-реактивного сопротивления в резонансный контур. Наличие трансформатора напряжения нулевой последовательности позволяет увеличить время до насыщения. Если в течение времени насыщения произойдёт ещё одно зажигание дуги, то напряжение нулевой последовательности может разрядиться через дугу и броска тока намагничивания не произойдёт.

Последнее обстоятельство приводит к парадоксальному поведению трансформатора напряжения, оснащённого трансформатором напряжения нулевой последовательности. Чем чаще зажигается и погасает дуга (чем меньше интервал времени между замыканиями), тем большей стойкостью обладает трансформатор напряжения к этому процессу.

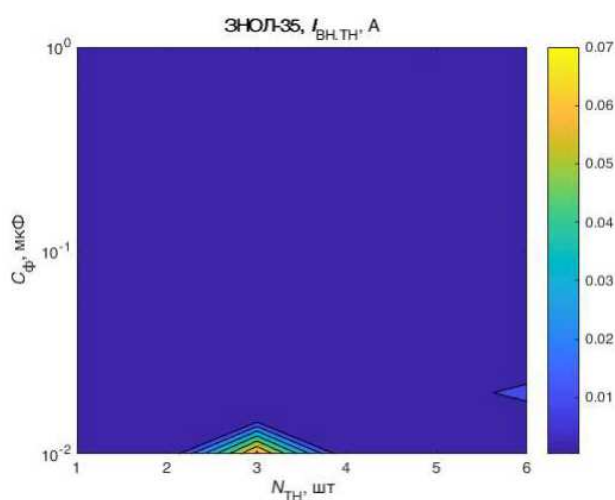


Рисунок 8. Зависимость действующего тока в установившемся режиме после ОДЗ от числа трансформаторов напряжения и ёмкости фазы для сети с трансформаторами напряжения ЗНОЛ-35 III, оснащённых ТНП-35.



Рисунок 9. Трехфазная группа 3x3НОЛ.04П УХЛ2 с трансформатором напряжения нулевой последовательности.

Отмечу, что все меры, которые направлены на защиту трансформаторов напряжения от феррорезонанса не работают в случае перемежающейся дуги. Поэтому необходимо компенсировать нейтраль в случае, если токи замыкания на землю превышают нормированные значения.

Помимо дополнительных, мер защиты от воздействия феррорезонанса, которые предлагает производитель трансформаторов напряжения, есть меры, которые возможно предусмотреть на этапе проекта. Это относится к нагрузкам на вторичные обмотки. В связи с повсеместным применением микропроцессорных терминалов, фактическая нагрузка на вторичные обмотки составляет меньше одного процента от номинальной. Кроме того, что трансформатор работает вне класса точности, существует опасность возникновения феррорезонанса. Согласно проведенных расчетов, область существования феррорезонанса у нагруженного трансформатора гораздо меньше, чем у трансформатора, работающего в режиме холостого хода.

Уменьшение областей существования феррорезонанса с увеличением вторичной нагрузки объясняется её демпфирующим действием, т.е. увеличением активных потерь в резонансном контуре.

Здесь приведены результаты расчётов областей существования опасного феррорезонанса в трансформаторах напряжения с увеличенной вторичной нагрузкой и их сравнение с аналогичными областями для трансформаторов напряжения без нагрузки.

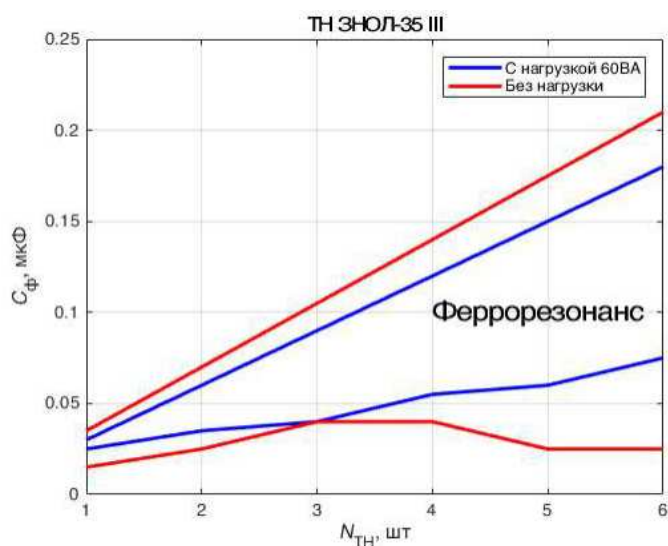


Рисунок 10. Сравнение областей опасного феррорезонанса в ТН типа ЗНОЛ-35 III с нагрузкой 60ВА и без нагрузки.

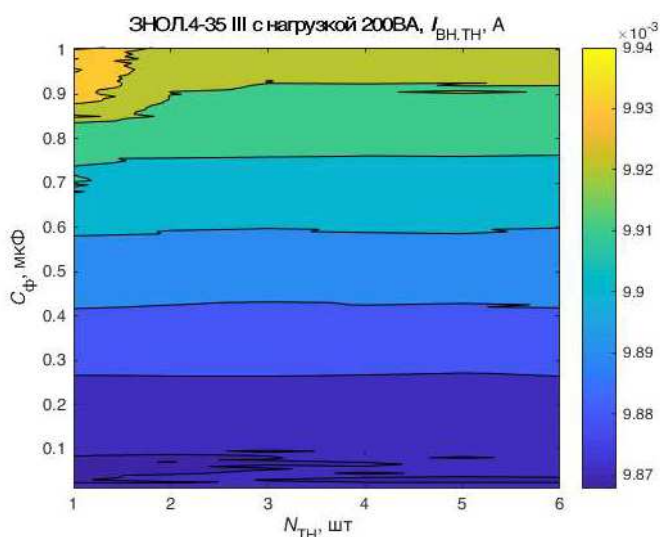


Рисунок 11. Зависимость действующего тока в установившемся режиме, после ОДЗ для трансформатора напряжения ЗНОЛ.4-35 III с нагрузкой 200ВА

Из рисунка 11 видно, что дальнейшее увеличение вторичной нагрузки приводит к существенному сокращению областей опасного феррорезонанса вплоть до того, что при нагрузке 120ВА и 200ВА вообще не будет возникать устойчивого феррорезонанса при однофазных дуговых замыканиях (поэтому для этих случаев результаты расчётов приведены в виде цветowych карт тока).

Хотелось бы остановиться еще на одной причине повреждения трансформаторов напряжения - это замыкания во вторичных цепях. Чаще всего короткие замыкания во вторичных цепях случаются в трансформаторах наружной установки. Все вторичные цепи напряжения коммутируются в низковольтном шкафу, который расположен рядом с

местом установки трансформаторов. Вторичные цепи защищены автоматами тока. Номинал автоматов 8-10 ампер с кратностью 3...5. Но остается незащищенный участок – это участок от трансформатора до автомата. Если шкаф без обогрева, то внутри образуется роса, которая приводит к замыканию. Если шкаф негерметичен, то попавшая влага также приводит к замыканию. Если номинал дополнительных обмоток выбран неправильно, то при длительных однофазных замыканиях на землю кабели вторичных цепей перегреваются, и это тоже приводит к коротким замыканиям. Последнее, конечно, случается реже. На рисунке представлены фотографии шкафов коммутации и следы замыкания вторичных цепей.

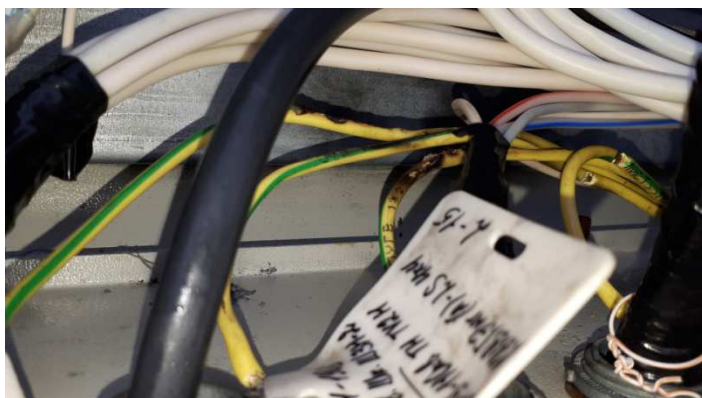


Рисунок 12. Последствия замыкания во вторичных цепях трансформаторов напряжения.



Рисунок 13. Последствия замыкания во вторичных цепях трансформаторов напряжения.

Для защиты трансформаторов напряжения от замыкания во вторичных цепях предлагаем использовать трансформаторы с встроенными низковольтными

предохранителями. На рисунке 14 представлен эскиз трансформатора с встроенным предохранителем.

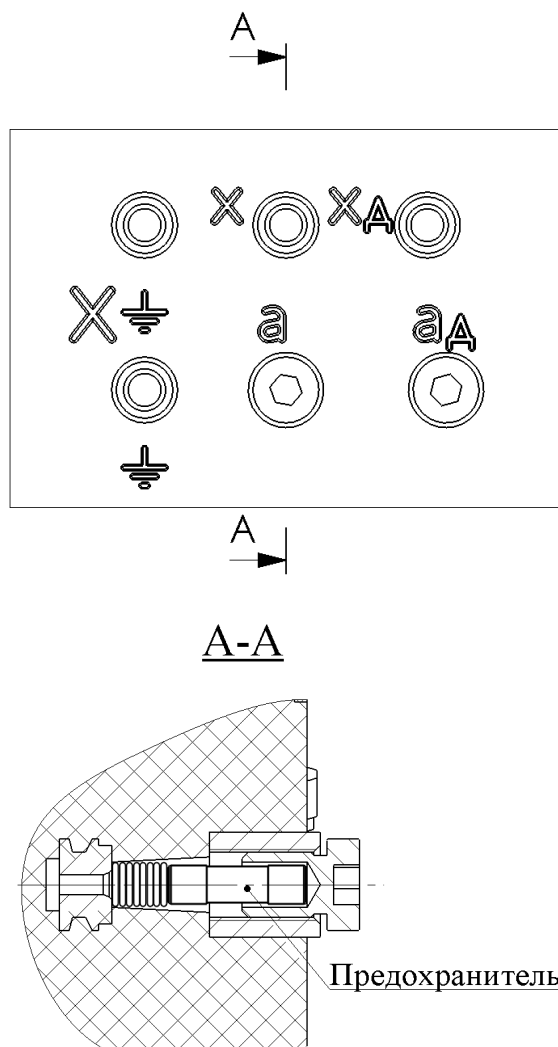


Рисунок 14. Эскиз трансформатора напряжения со встроенным предохранителем во вторичных контактах.