

Способы защиты трансформаторов напряжения от феррорезонанса

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



ЕВГЕНИЙ ИГНАТЕНКО

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

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:

$$i_B(t) = \frac{U_n}{\omega_0 L_1} \cdot e^{-\delta t} \cdot \sin(\omega_0 t),$$

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.

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-

в наиболее «проблемных» сетях, где наблюдались частые срабатывания предохранителей или повреждения трансформаторов напряжения, после установки СЗТн проблемы были решены.

Для уменьшения области существования феррорезонанса была проведена модернизация СЗТн.

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.

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.

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

ко антирезонансного устройства, а еще и измерителя напряжения нулевой последовательности.

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 проведенным расчетам, 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.

Расчеты показали, что дальнейшее увеличение вторичной

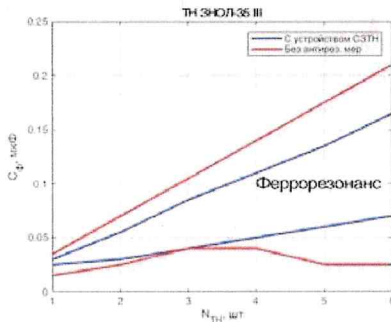


Рисунок 2. Область существования феррорезонанса с защитным устройством СЗТн и без него



Устройства защиты от феррорезонанса

2. Они включают в дополнительную обмотку трансформатора напряжения, соединённую в разомкнутый треугольник, служащую для измерения напряжения нулевой последовательности. На рисунке 2 представлены области существования феррорезонанса с защитным устройством СЗТн и без него. Как видно, область существования феррорезонанса уменьшилась. Из практики применения СЗТн могу отметить, что

из наиболее распространённым конструктивным решением по приданию трансформаторам антирезонансных свойств.

В трёхфазных группах однофазных трансформаторов, в которых возможно существование магнитного потока нулевой последовательности (как небаланс магнитных потоков трансформаторов напряжения в фазах), дополнительный трансформатор может выполнять роль не толь-

ко 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 дугowych замыканиях.

Евгений ИГНАТЕНКО,
главный конструктор
отдела измерительных
трансформаторов СЗТТ

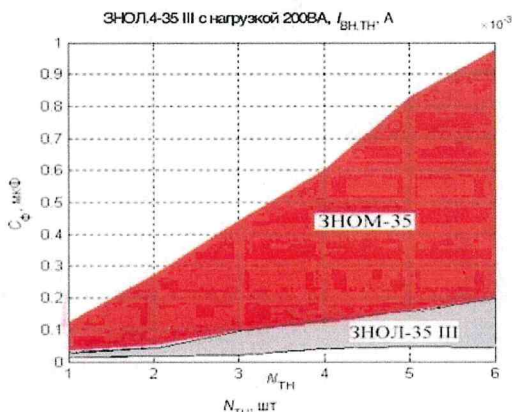


Рисунок 1. Область существования феррорезонанса трансформаторов напряжения ЗНОМ-35 и ЗНОЛ-35.

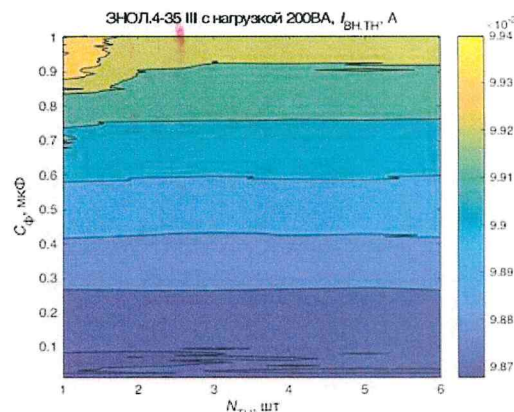


Рисунок 3. Зависимость действующего тока в установившемся режиме, после ОЗЗ для трансформатора напряжения ЗНОЛ-4-35 III с нагрузкой 200ВА