

УДК 621.311.04.

Стеняшина Светлана Игоревна,

студентка магистратуры,

1 курс, факультет «Электроэнергетика и электротехника»;

научный руководитель – Лопухова Татьяна Викторовна,

канд. пед. наук, доцент,

ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет»

г. Казань, Республика Татарстан, Россия

ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫЕ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В СЕТЯХ 110 КВ И МЕРОПРИЯТИЯ ПО ИХ ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ

Статья посвящена феррорезонансным явлениям, возникающих на напряжении 110 кВ. В статье также рассмотрены условия возникновения и существования феррорезонанса. Разработаны меры подавления феррорезонанса. В статье рассматриваются расчётные воздействия феррорезонансных явлений.

Ключевые слова: феррорезонансные перенапряжения, трансформатор, режим холостого хода, режим, система шин, выключатель.

Svetlana I. Stenyashina,

Tatyana V. Lopukhova,

Kazan, the Republic of Tatarstan, Russia

FERRORESONANCE RELOADS IN 110 KV CIRCUITS AND MEASURES TO PREVENT THEM

The article is devoted to ferroresonance phenomena arising at a voltage of 110 kV. The article also considers the conditions for the emergence and existence of ferroresonance. Developed measures to suppress ferroresonance. This article discusses the calculated effects of ferroresonance phenomena.

Keywords: ferroresonant overvoltages, transformer, idling mode, mode, bus system, switch.

Феррорезонанс – это явления резонанса, которые возникают в цепи с конденсатором и катушкой со стальным сердечником, связанные с нелинейным характером индуктивности. Аппараты, имеющие катушку со стальным сердечником в данном случае являются ферромагнитными элементами.

Формулируя требования к появлению феррорезонансных перенапряжений, будем исходить из того, что для контуров с нелинейными и линейными характеристиками элементов условия резонанса одни и те же.

Первое условие возникновения феррорезонанса. Если величина эквивалентной емкости сети ($C_{\text{ЭКВ}}$) существует в пределах, соответствующих возможным пределам изменения величины индуктивности ТН ($L_{\text{ТН}}$), то в этом случае возможно возникновение и существование ФРП.

$$\frac{1}{\omega^2 \cdot L_{xx}} \leq C_{\text{ЭКВ}} \leq \frac{1}{\omega^2 \cdot L_s}, \quad (1)$$

где L_{xx} – индуктивность холостого хода, Гн;

L_s – индуктивность насыщения, Гн;

ω – угловая частота напряжения сети, 1/с.

Из данного условия следует следующее *мероприятие по предотвращению феррорезонанса*: в том случае, когда на одной из систем шин возник феррорезонанс, включая секционный выключатель, мы можем его подавить, увеличивая таким образом суммарную ёмкость и нарушая 1-ое условие феррорезонанса.

Второе условие звучит так: когда суммарный поток в магнитопроводе трансформатора напряжения оказывается больше, чем поток начального насыщения магнитопровода ($\Psi_{\text{нач.нас}}$), тогда возбуждается феррорезонанс по 1-му условию в контуре с резонансными параметрами после скачка напряжения, так как это вызывает насыщение магнитопровода и плавное изменение индуктивности ТН.

$$\Psi_{\text{ост}} + \Psi_{\text{уст}} \geq \Psi_{\text{нач.нас}} \quad (2)$$

Данное условие позволяет сформулировать следующий *метод подавления феррорезонанса*: в случае, когда отключение металлического замыкания на землю возбудило ФРП, оператор должен снова включать присоединение с замыканием, а затем отключить его; и так действовать вплоть до того, пока при очередном отключении феррорезонанс не возникнет. Отсюда можно сформулировать еще один *вывод*: феррорезонансные явления в сети, где есть ТН с характеристиками намагничивания, которые рассчитаны, исходя из максимальной номинальной индукции ($B_{\text{макс.ном}} = 0,9 \text{ Тл}$), возникать не будут [2].

Поскольку феррорезонансные перенапряжения относят к параметрическим процессам, так как для изменения одного из параметров контура, то есть индуктивности ТН, создаются условия (1 и 2), а индуктивность в данном случае изменяется скачкообразно от индуктивности холостого хода до индуктивности насыщения.

Следующим – *третьим* – условием, *будет следующее*: ФРП не будет возникать в контуре, который образован индуктивностями и емкостями сети, если величина затухания в нем не меньше, чем величина затухания, которое вносилось бы в него критическим резистором для этого контура.

С целью избежания ФРП в контуре активное сопротивление должно быть не меньше критического в нём.

В сетях на напряжение 110 кВ и с эффективно заземлённой нейтралью ФРП могут возникать в зависимости от вида индуктивного элемента, который вступает в феррорезонанс [1]:

1. феррорезонансные перенапряжения могут возникать тогда, когда какой-либо участок сети 110 кВ может питаться от трансформатора с изолированной нейтралью и будет отделен от сети с трансформаторами с заземленной нейтралью.

Данные конфигурации обычно возникают при автоматическом отключении источников питания с заземленной нейтралью, а также при

автоматическом включении понижающего трансформатора с изолированной нейтралью на низкой стороне на сеть 110 кВ без нагрузки от АВР;

2. вариант возникновения ФРП номер два: в таком случае индуктивным элементом является понижающий трансформатор с незаземлённой нейтралью, с неполнофазным режимом питания.

В таком режиме ФРП возникают с определенным уровнем перенапряжений $U_{\text{пер}} = 4,35 \cdot U_{\text{ф}}$, который приводит к повреждению ОПН–110 и ТН–110, а именно на фазе, отделившейся от участка сети, который питается от понижающего трансформатора с изолированной нейтралью обмотки 110 кВ;

3. третий вариант – когда измерительный электромагнитный ТН является индуктивным элементом в сети 110 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поляков В.С. О причинах повреждений электромагнитных измерительных трансформаторов напряжения 110-500 кВ и мерах по повышению их надежности / В.С. Поляков // Энергоэксперт. – 2015. – №1. – С. 18-23.

2. Поляков В.С. Условия возникновения и существования феррорезонанса в цепях с электромагнитными измерительными ТН / В.С. Поляков // Энергоэксперт. – 2014. – №1. – С. 29-36.