

## **О ВОЗМОЖНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ОПАСНЫХ ФЕРРОРЕЗОНАНСНЫХ ПРОЦЕССОВ НА ПОДСТАНЦИЯХ 110 кВ, ОСНАЩЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРАМИ НАПРЯЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ТИПА**

О.И. Лаптев \*

В эксплуатации нередко случаи повреждения трансформаторов напряжения (ТН) 110 кВ электромагнитного типа, вследствие феррорезонансных процессов. В статье исследуются случаи возникновения опасных феррорезонансных процессов в неполнофазных режимах в схемах подстанций с изолированной нейтралью силового трансформатора при коммутациях холостых ошинок. Рассматривается также возможность предотвращения феррорезонанса путём установки на шинах подстанций антирезонансных ТН типа НАМИ.

### **I. ПОСТАНОВКА ИССЛЕДОВАНИЙ.**

Основной причиной возникновения опасных феррорезонансных процессов в сетях с глухозаземлённой нейтралью классов напряжения 220 кВ и выше, обусловленных насыщением магнитопроводов трансформаторов напряжения (ТН), являются отключения холостых ошинок выключателями с несколькими разрывами на фазу, оснащёнными ёмкостными делителями. Выключатели в сетях 110 кВ, как правило, одноразрывные, или оснащены резистивными делителями напряжения. Тем не менее, достаточно много подстанций, оснащённых двухразрывными выключателями ВВБ-110 и ВВБМ-110, оснащёнными ёмкостными делителями напряжения. Повреждения же ТН, обусловленные феррорезонансными явлениями, в сетях, оснащённых одноразрывными выключателями, могут иметь место в неполнофазных режимах. В последнее время наблюдается практика эксплуатации силовых трансформаторов 110/6 кВ в режиме изолированной нейтрали обмотки ВН. В таких схемах при возникновении неполнофазных режимов возможны возгорания ТН электромагнитного типа (НКФ). Неполнофазные режимы на подстанциях 110 кВ могут возникнуть, в частности, при отказе одного из полюсов выключателя во время

---

\* магистрант кафедры ТиЭВН

включения, а также при обрыве шлейфа на опоре ВЛ 110 кВ при отсутствии связи оборванного шлейфа с землей (такой обрыв, как показывает опыт эксплуатации ВЛ 110 кВ, отходящих от подстанций, является не столь уж редким) [1]-[2].

## II. ИССЛЕДУЕМАЯ СХЕМА.

Исследуемая принципиальная схема приведена на рис.1. При подключении п/ст 2 выключателем В1 к шинам п/ст 1 (при отключенном выключателе В2) произошло возгорание двух ТН типа НКФ на п/ст 2. Нейтраль силового трансформатора Т (рис.1) была изолирована.

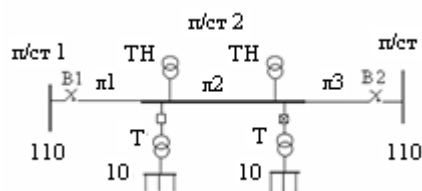


Рис.1. Исследуемая схема подстанции 110 кВ. при неполнофазном включении полюсов выключателя В1.

Возможная гипотеза возникновения этих повреждений - повышенные значения токов в обмотках ТН типа НКФ, обусловленные опасными феррорезонансными процессами, возникающими при неполнофазном включении

Расчётная схема, позволяющая исследовать процессы в схеме рис.1, приведена на рис.2. В этой схеме ВЛ п/ст1-п/ст2 длиной 26.4 км

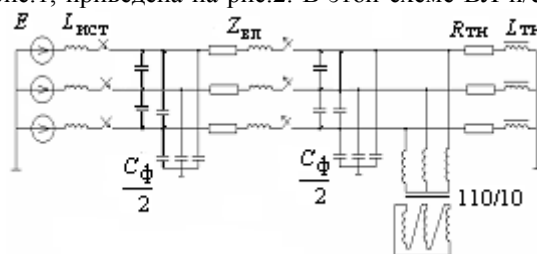


Рис.2. Расчётная схема

моделировалась в виде обобщенной трехфазной схемы, позволяющей учитывать как емкостные, так и индуктивные связи между фазами ВЛ.

ВЛ п/ст 2-п/ст 3 моделировалась в виде системы сосредоточенных емкостей. Силовой ненагруженный трансформатор 110/10 кВ моделировался с учетом схемы соединения его обмоток и насыщения магнитопровода [3].

## III. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В первой серии расчетов исследовались переходные процессы и стационарные режимы, возникающие при включении полюсов фаз В и

С выключателя В1 на шины п/ст 1. Расчёт проводился для случаев изолированной и заземлённой нейтрали силового трансформатора 110 кВ на п/ст 2. Рассматривалась также возможность установки на подстанции антирезонансных ТН типа НАМИ-110, выпускаемых

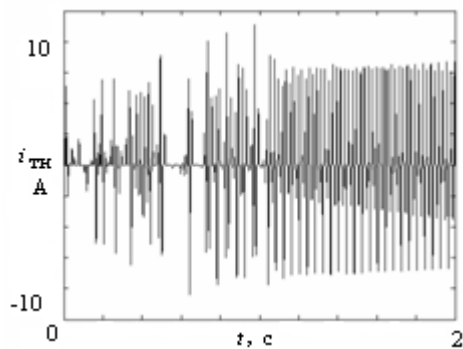


Рис.3. Компьютерная оциллограмма тока в ТН типа НАМИ на невключённой фазе, при изолированной нейтрали силового трансформатора

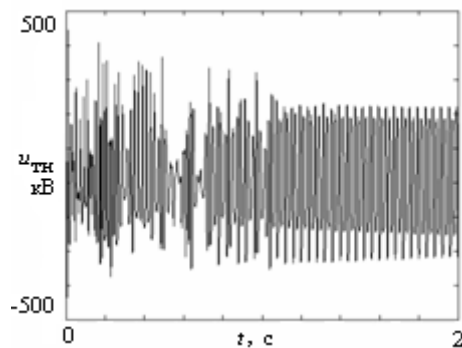


Рис.4. Компьютерная оциллограмма напряжения на невключённой фазе, при изолированной нейтрали силового трансформатора

изолированной нейтрали силового трансформатора приведена на рис. 3. Токи в обмотке ВН ТН существенно превышают допустимый уровень (порядка 0.2 А в установившемся режиме).

Раменским электротехническим заводом. В ТН этого типа антирезонансные свойства достигаются увеличением активного сопротивления обмотки ВН. Компьютерные оциллограммы исследуемых процессов показывают, что при изолированной нейтрали силового трансформатора на п/ст 2,

возникновение неполнофазного режима

при включении приводит к

появлению

перенапряжений,

обусловленных

насыщением магнитной

системы силового

трансформатора. При этом

в ТН как типа НКФ, так и

НАМИ на повреждённой

фазе возникает

устойчивый феррорезонанс

с большими кратностями

токов. Компьютерная

оциллограмма тока в

фазе А обмотки ВН ТН

типа НАМИ в случае

На рис.4 приведена компьютерная осциллограмма напряжения на фазе А в рассмотренных случаях. Как видно из рисунка напряжение на шинах невключенной фазы в стационарном неполнофазном режиме

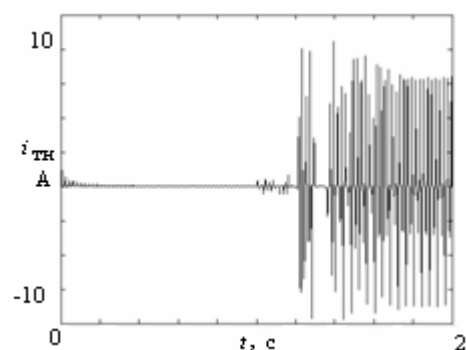


Рис.5. Компьютерная осциллограмма тока в ТН типа НАМИ на оборванной фазе, при изолированной нейтрали силового трансформатора

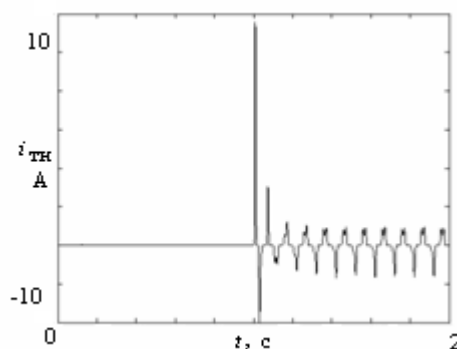


Рис.6. Компьютерная осциллограмма тока в ТН типа НКФ на оборванной фазе, в схеме с холостыми ошиновками

На рис.5 приведена компьютерная осциллограмма тока в ТН типа НАМИ, возникающего при обрыве шлейфа фазы А на опоре в некоторый момент времени (в расчётах – 1с). Нейтраль силового трансформатора на п/ст 2 изолирована. Из осциллограмм видно, что так же, как и при неполнофазном включении, в схеме с изолированной нейтралью трансформатора возникает стационарный феррорезонанс.

составило  $2.2U_{ф.м.}$ . Длительно приложенное напряжение такой величины в случае установки на шинах защитных аппаратов типа ОПН может привести к их повреждению из-за нарушения тепловой устойчивости.

В случае заземлённой нейтрали силового трансформатора на

подстанции, при возникновении неполнофазного режима при включении, устойчивого феррорезонанса не наблюдается.

Это объясняется тем, что при заземлённой нейтрали фазы ненагруженного силового трансформатора мощный шунт намагничивания каждой его фазы параллелен шунту намагничивания ТН, что нарушает выполнение феррорезонансных условий.

На рис.5 приведена компьютерная осциллограмма тока в ТН

Если нейтраль силового трансформатора заземлена, устойчивый феррорезонанс при обрыве фазы не возникает.

Неполнофазный режим может возникнуть и при коммутации холостых ошинок, на что указывают конструкторы ТН типа НАМИ. В

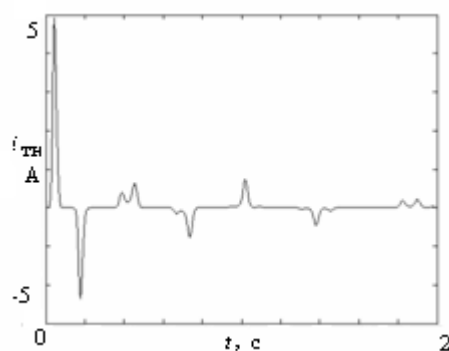


Рис.7. Компьютерная осциллограмма тока в ТН типа НАМИ на оборванной фазе, в схеме с холостыми ошиновками

этом случае может возникнуть феррорезонанс, вследствие образования резонансного контура, содержащего нелинейную индуктивность ТН на повреждённой фазе и собственную и междуфазные ёмкости этой фазы. Для возникновения устойчивого феррорезонанса необходимо некоторое начальное напряжение на собственной ёмкости повреждённой фазы, величина которого зависит от соотношения  $C_{фф} / C_{ф}$ . Таким образом в схеме с холостыми ошиновками к возникновению опасного феррорезонанса может привести обрыв провода, отказ полюса выключателя при включении в цикле АПВ (при наличии остаточного напряжения на неключившейся фазе), а также отказ полюса выключателя при включении одной цепи двухцепной ВЛ, так как на неключённой фазе за счёт ёмкостной связи между цепями также будет некоторое напряжение. На рис.6 и 7 приведены компьютерные осциллограммы тока в ТН типов НКФ и НАМИ, в схеме с холостыми ошиновками при обрыве фазы. Из осциллограмм видно, что возникновение неполнофазных режимов в схеме с холостыми ошиновками приводит к возникновению устойчивого режима феррорезонанса в ТН типа НКФ. При установке ТН типа НАМИ в рассмотренных случаях феррорезонанс не возникает.

#### IV. ВЫВОДЫ.

1.Эксплуатация подстанций 110/10 (6) кВ при изолированной нейтрали силовых трансформаторов недопустима, так как при

относительно длительных неполнофазных режимах (отказе одного полюса, обрыве шлейфа без земли на опоре ВЛ 110 кВ) могут возникнуть опасные феррорезонансные процессы, приводящие к возгоранию электромагнитных ТН всех типов из-за повышенных значений токов в обмотках ВН.

2. При отключенных силовых трансформаторах (схема с холостыми ошиновками) опасные феррорезонансные процессы в неполнофазных режимах могут возникнуть лишь при установке на шинах подстанции ТН типа НКФ. При установке на шинах ТН типа НАМИ повышенных значений токов в обмотках ВН этих ТН не возникает.

3. Повышение надежности эксплуатации ТН на подстанциях 110 кВ может быть достигнуто путем замены ТН типа НКФ на ТН типа НАМИ. Однако, установка ТН этого типа (так же, как и НКФ) предполагает обязательную эксплуатацию силовых трансформаторов в режиме глухо заземленной нейтрали.

[1] **Айзстраутс Э.В.** *Феррорезонанс в сети 110 кВ с заземленной нейтралью.* - *Электрические станции*, 1983, №12, с.64-65.

[2] **Тураев В.А., Малюшинский П.Г.** *О заземлении нейтралей силовых трансформаторов 110-220 кВ при неполнофазных режимах питания.* - *Электрические станции*, 1992, №4, с.69-72.

[3] **Макаров А.В., Антонов Н.А.** *Математическая модель потенциально-феррорезонансных схем в системах 110 кВ при неполнофазных включениях ненагруженных силовых трансформаторов.* // Научный семинар по теоретической электротехнике: Тез. докл. Всероссийской науч.-техн. конф. - Иваново, 1998, с.15.