

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЗАЩИТ ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ ОБМОТКИ СТАТОРА ГЕНЕРАТОРА

А.В. Доронин, А.М.Наумов, ООО НПП «ЭКРА»

Повреждение изоляции обмотки статора является одним из наиболее частых видов повреждения генераторов. В связи с многообразием первичных схем подключения генераторов возникает задача выбора способа выполнения защиты статора от замыканий на землю (з.з.). Рассмотрим защиты от замыканий на землю в обмотке статора, выпускаемые фирмой «ЭКРА» (рис.1) в составе комплекса микропроцессорной защиты генератора в шкафах ШЭ1110 - ШЭ1113.

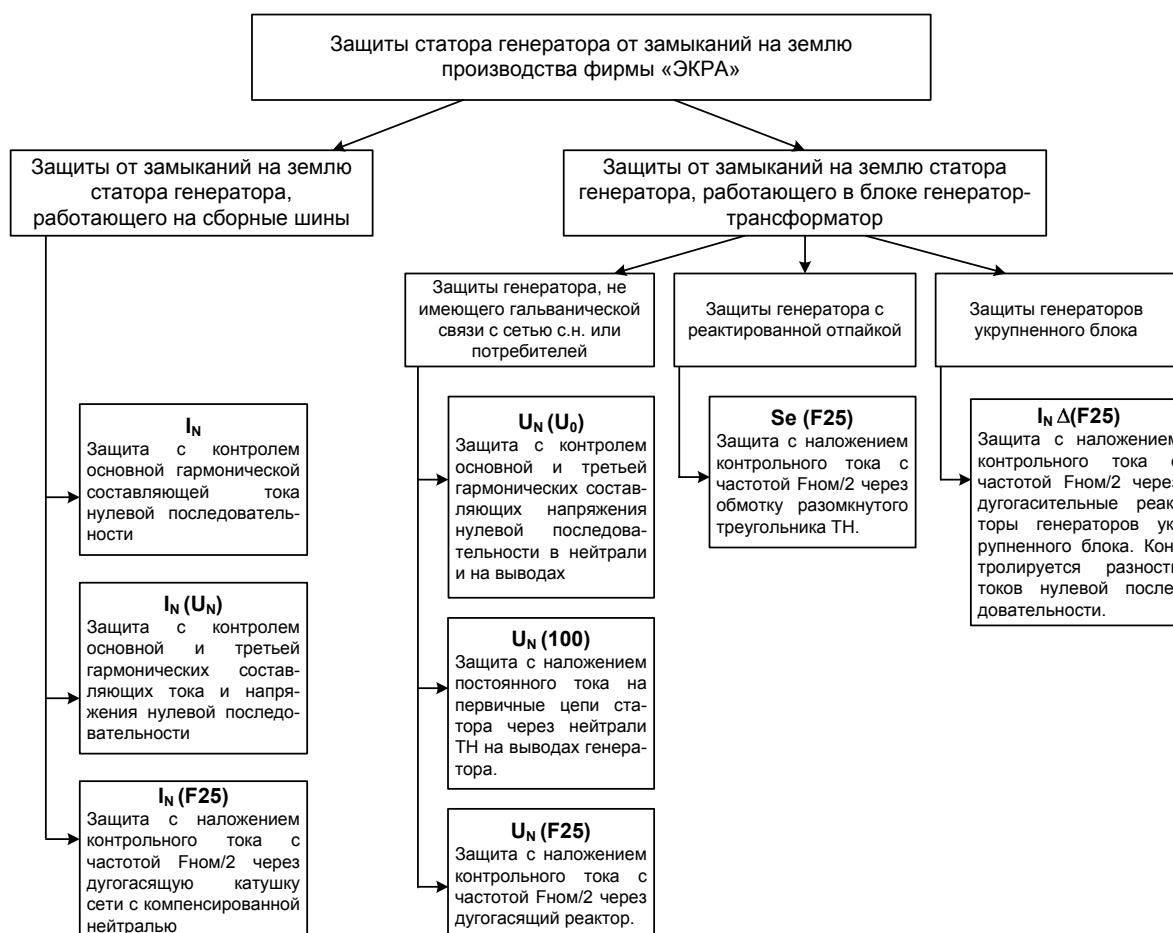


Рис.1. Виды защит статора генератора от замыканий на землю

Все имеющиеся защиты статора от з.з. *по назначению* можно разделить на две группы: защиты генераторов, работающих на сборные шины и защиты генераторов, работающих в блоке генератор-трансформатор. В свою очередь, вторую группу можно разделить на:

- защиты блочного генератора, не имеющего гальванической связи с сетью собственных нужд или потребителей;
- защиты блочного генератора с реактированной отпайкой на собственные нужды;
- защиты генераторов укрупненного блока.

По способу реализации защиты от з.з. можно разделить на три вида:

- с использованием трансформатора тока (напряжения) нулевой последовательности;
- реагирующие на естественные гармонические составляющие тока (напряжения) замыкания на землю;
- с наложением тока не промышленной частоты.

Защиты с наложением тока не промышленной частоты выполнены совместно с Томским политехническим университетом (ТПУ), имеющим большой опыт применения таких защит [1]. Источники напряжения для формирования наложенного тока типа ИКТ, ИКТ-25, ИКТП-1, используемые в защитах статора, выпускаются ТПУ.

Защиты от з.з. обмотки статора генератора, работающего на сборные шины

1. I_N - абсолютно-селективная защита статора генератора с уставкой по току $3\div 5$ А. Включается на ток нулевой последовательности на выводах генератора, который выделяется с помощью специального трансформатора тока нулевой последовательности ТНП (например, ТНПУ-3 производства Томского политехнического университета), охватывающего пучок кабелей присоединения защищаемого генератора к сборным шинам в сети с компенсированной или изолированной нейтралью (рис.2). По кон-

структивным соображениям защита используется на генераторах мощностью до 12 МВт. Защита реагирует на емкостный ток основной частоты и может содержать два измерительных органа: чувствительный для защиты от однофазных замыканий

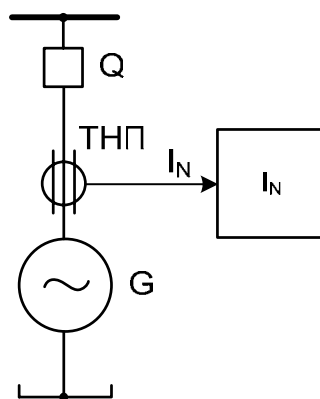


Рис.2. Защита I_N

на землю и грубый для защиты от двойных замыканий на землю, когда одна точка замыкания находится в генераторе.

2. $I_N(U_N)$ – абсолютно-селективная защита статора генератора с охватом до 100 % обмотки. Защита подключается к выходу трехтрансформаторного фильтра тока нулевой последовательности (ФТНП) трансформаторов тока линейных выводов генератора и на напряжение $3U_0$ ТН линейных выводов генератора (рис.3). При наличии специального трансформатора тока нулевой последовательности, цепи тока I_N защиты подключаются к нему.

В состав защиты входят следующие функциональные органы:

- пусковой орган максимального напряжения основной составляющей напряжения нулевой последовательности (U_0);
- пусковой орган, реагирующий на приращение напряжения третьей гармонической составляющей нулевой последовательности (ΔU_3);

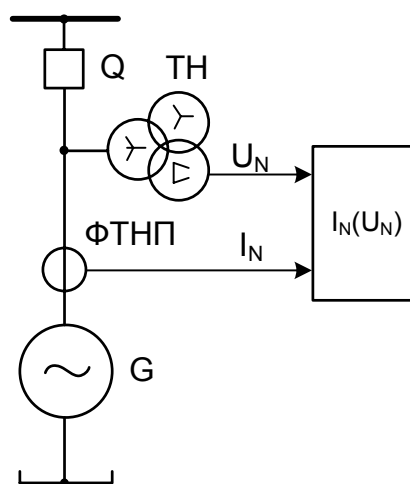


Рис.3. Защита $I_N(U_N)$

- отключающий орган максимального тока третьей гармонической составляющей нулевой последовательности (I_3);
- отключающий орган максимального тока основной составляющей тока нулевой последовательности при двойных замыканиях на землю (I_0).

Применяется для защиты генераторов мощностью до 36 МВт от однофазных и двойных замыканий на землю. Для выполнения требования по чувствительности необходимо, чтобы *емкостный некомпенсированный ток в сети* был более $20 \div 30 \text{ А}$.

3. $I_N(\mathbf{F25})$ – высокочувствительная 100%-я защита с абсолютной селективностью обмотки статора генератора от замыкания на землю с наложением контрольного тока с частотой $F_{\text{НОМ}}/2$ (используется источник типа ИКТ-25). Для подключения источника напряжения для формирования контрольного тока выводы всех дугогасящих реакторов со стороны земли объединяются и соединяются с контуром заземления через выходную обмотку источника. Защита подключается к выходу трехтрансформаторного фильтра тока нулевой последовательности (ФТНП) на выводах генератора (рис.4).

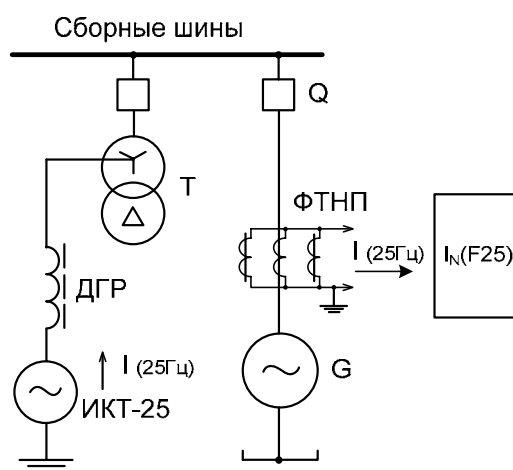


Рис.4. Защита $I_N(\mathbf{F25})$

В состав защиты входят следующие функциональные органы:

- отключающий орган максимального тока $I_{от}$, реагирующий на составляющие наложенного тока частотой $F_{\text{ном}}/2$;
- блокировка от органа максимального тока основной составляющей тока нулевой последовательности ($I_{БЛ}$) или трехфазного органа максимального тока при междуфазных к.з. с насыщением трансформаторов тока ФТНП.

Такую защиту целесообразно применять при соединении генератора с ГРУ шинопроводом.

Защиты от з.з. обмотки статора генератора, работающего в блоке генератор-трансформатор

1. $U_N(U_0)$ - 100%-я защита от замыкания на землю обмотки статора генератора, не имеющего гальванической связи с системой собственных нужд или сетью потребителей.

В защите применен принцип использования третьей гармоники напряжения нулевой последовательности [2]. Орган напряжения основной составляющей нулевой последовательности U_0 может обеспечить защиту 85 – 95 % витков обмотки статора со стороны фазных выводов, а остальная часть обмотки защищается с помощью органа напряжения третьей гармоники U_{03} , охватывающего примерно 20-30 % витков обмотки со стороны нейтрали.

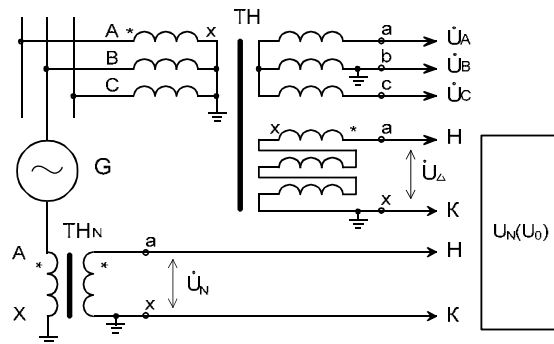


Рис.5. Защита $U_N(U_0)$

Орган U_0 включается на напряжение нейтрали генератора относительно земли (U_N) или на напряжение $3 \cdot U_0$ ТН линейных выводов генератора. Орган U_{03} включается на напряжения нулевой последовательности на выводах генератора (U_Δ) и в его нейтрали (U_N), см. рис.5. При этом, орган U_{03} реагирует только на отношение абсолютных значений третьей гармоники указанных напряжений в соответствии с условием срабатывания защиты: $|\dot{U}_N + \dot{U}_\Delta| \geq |\dot{U}_N| \times K_T$, где K_T – коэффициент торможения.

2. $U_N(100)$ - высокочувствительная 100%-я защита от замыкания на землю обмотки статора генератора с наложением постоянного тока. Применяется для всех режимов работы блочного генератора, не имеющего гальванической связи с системой собственных нужд или сетью потребителей, в том числе и при невозбужденном генераторе.

Принцип действия защиты основан на наложении на первичные цепи статора генератора постоянного тока от источника напряжения типа ИКТП-1 через нейтрали трансформаторов напряжения (рис.6). Нейтрали всех трансформаторов напряжения блока объединяются и заземляются через разделительный конденсатор $C_{разд}$, который подключается параллельно источнику

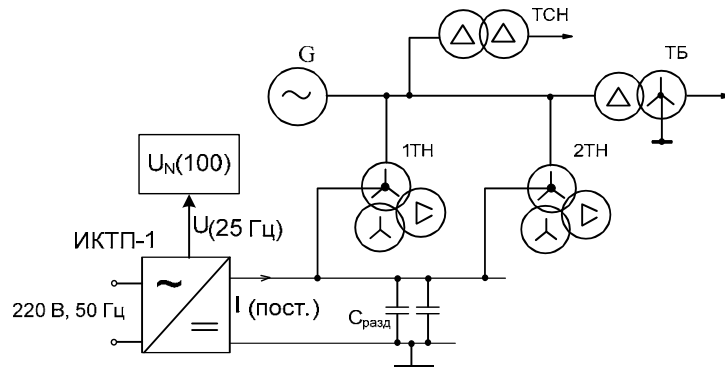


Рис.6. Защита $U_N(100)$

ИКТП-1. К защите подводится напряжение $U_{(25 \text{ Гц})}$ с измерительной обмотки ИКТП-1 частотой $f_{ном}/2$. Среднее значение этого сигнала обратно пропорционально переходному сопротивлению обмотки статора генератора относительно земли.

Защита имеет две ступени срабатывания, а также индикацию активного сопротивления, что позволяет выполнить контроль изоляции статора.

3. $U_N(F25)$ – высокочувствительная 100%-я защита с абсолютной селективностью обмотки статора генератора от замыкания на землю с наложением контрольного тока с частотой $f_{ном}/2$. Применяется для всех режимов работы блочного генератора, заземленного через дугогасящий реактор и не имеющего гальванической связи с системой собственных нужд или сетью потребителей.

Источник напряжения для формирования контрольного тока с частотой $f_{ном}/2$ типа ИКТ-25 включается

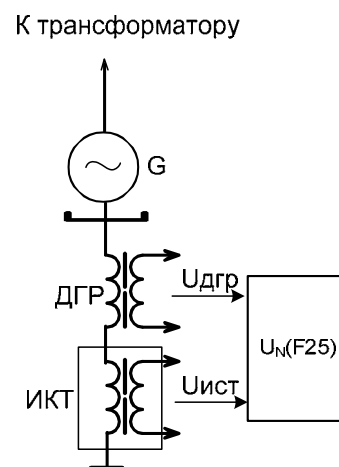


Рис.7. Защита $U_N(F25)$

последовательно в цепь дугогасящего реактора генератора со стороны его

заземляемого вывода и нейтрали генератора. К защите подводится напряжение с измерительной обмотки дугогасящего реактора $U_{дгр}$ и напряжение ($U_{ист}$) измерительной обмотки источника контрольного тока (рис.7).

При устойчивом замыкании на землю через переходное сопротивление защита вычисляет его величину и действует на сигнализацию и отключение, если вычисленное сопротивление меньше уставки. Для повышения надежности работы защита должна дополняться органом напряжения нулевой последовательности основной составляющей, что обеспечивает защиту 85-95% витков обмотки статора генератора со стороны фазных выводов.

4. **Se (F25)** - высокочувствительная 100%-я защита от замыкания на землю обмотки статора генератора, работающего параллельно с реактированной отпайкой в систему собственных нужд или сеть потребителей.

Источник напряжения для формирования контрольного тока типа ИКТ с частотой $f_{ном}/2$ включается в цепь вторичной обмотки разомкнутого треугольника отдельного трансформатора напряжения через фильтр присоединения (рис. 8). Защита подключается следующим образом:

- по цепям тока к выходу трехтрансформаторного фильтра тока нулевой последовательности, трансформаторы тока которого устанавливаются на выводах генератора;
- по цепям напряжения к обмотке разомкнутого треугольника трансформатора напряжения на выводах генератора;

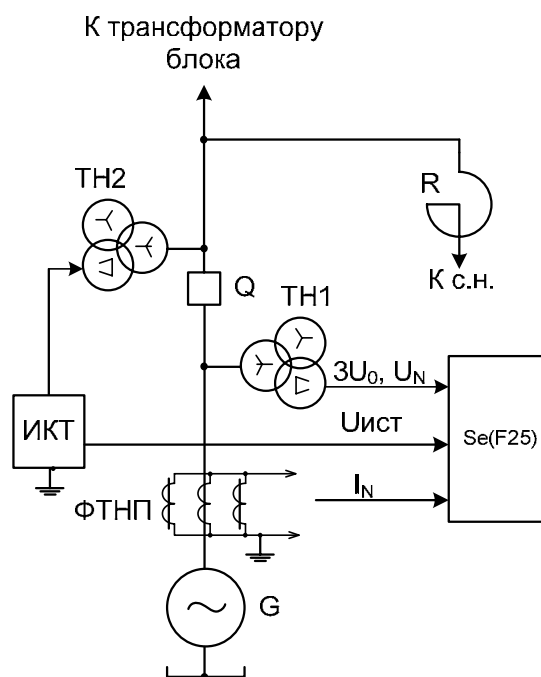


Рис.8. Защита **Se(F25)**

- к напряжению ИКТ для контроля его исправности.

Защита пускается специальным органом контроля напряжения основной частоты U_0 и тока I_N частотой $F_{ном}/2$. При замыкании на землю и превышении уставки током I_N с частотой $F_{ном}/2$ защита действует на отключение.

5. $I_N\Delta(F25)$ - защита от замыкания на землю в обмотке статора гидрогенератора укрупненного блока с непосредственным соединением генераторов. Защита применима для гидрогенераторов, нейтрали которых заземлены через дугогасящие реакторы (ДГР) и основана на принципе сравнения фаз низкочастотных составляющих токов нулевой последовательности на выводах и в нейтрали генератора.

Защита подключается к выходам трехтрансформаторных фильтров тока нулевой последовательности (ФТНП) со стороны линейных выводов и со стороны нейтрали генератора (рис. 9) и реагирует на разность токов нулевой последовательности. В поврежденном генераторе токи на выводах и в нейтрали направлены встречно, а в неповрежденном – имеют одинаковые направления.

Существуют два режима работы защиты:

1. При *устойчивых* замыканиях на землю работа защиты обеспечивается за счет токов, создаваемых с помощью источника контрольного тока с частотой 25 Гц типа ИКТ, который включается в цепь дугогасящих реакторов со стороны их заземляемого вывода.

2. При *дуговых перемежающихся* (или повторно-кратковременных) замыканиях на землю частота пробоев в зависимости от пробивного на-

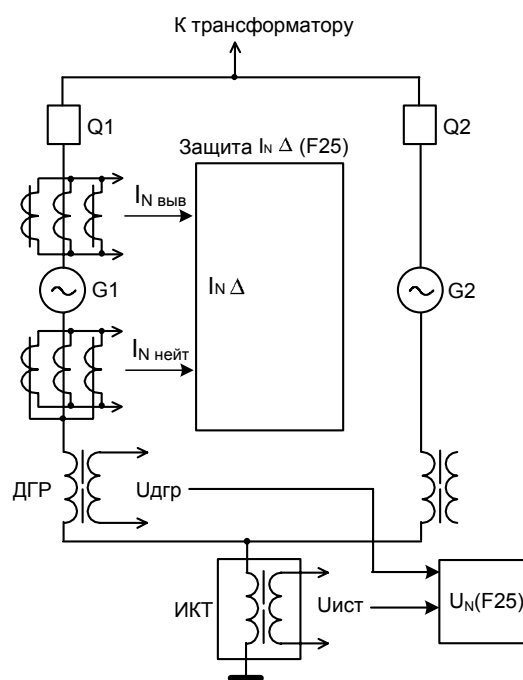


Рис.9. Защита $I_N\Delta(F25)$

пряжения, расстройки компенсации и других факторов лежит в пределах $5 \div 25$ Гц [3]. На промышленной частоте индуктивность дугогасящих реакторов настроена в резонанс с емкостью фаз генератора, их проводимость приблизительно одинакова. На низких частотах, возникающих при дуговых перемежающихся замыканиях, защита реагирует на токи, в основном определяемые проводимостью дугогасящих реакторов.

Вывод. Фирма «ЭКРА» предлагает полный спектр защит статора от замыканий на землю в составе шкафов типов ШЭ1110-ШЭ1113 для генераторов, работающих на сборные шины и для различных схем блоков генератор-трансформатор. Выбор способа выполнения защиты статора от замыканий на землю определяется техническими требованиями и главной схемой станции.

Литература

1. Вайнштейн Р.А., Головки С.И., Григорьев В.С., Коберник Е.Д., Максимов В.Н., Юдин С.М. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях 6-10 кВ. – Электрические станции, 1998, №7, с.26-30.
2. Кискачи В.М. Защита генераторов энергоблоков от замыканий на землю в обмотке статора. – Электричество, 1975, №11, с. 25 – 31.
3. Вайнштейн Р.А., Головки С.И. О гармоническом составе токов нулевой последовательности в сетях с компенсацией емкостного тока при замыкании через перемежающуюся дугу. – Изв. вузов. Энергетика, 1978, №12.