

# ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЗАЩИТЫ АППАРАТУРЫ РЗА

## Защита от замыканий на землю обмоток статоров генераторов, работающих на общие шины

ВАЙНШТЕЙН Р. А., канд. техн. наук, ПОНАМАРЕВ Е. А., ДОРНИН А. В., инженеры, НАУМОВ А. М., НАУМОВ В. А., кандидаты техн. наук, Томский политехнический университет — ООО НПП "ЭКРА", г. Чебоксары

**В** Российской электроэнергетике широко распространены схемы тепловых электрических станций с генераторами, работающими непосредственно на распределительную сеть, а также схемы энергоблоков гидроэлектростанций, в которых несколько генераторов включены параллельно к одной обмотке низкого напряжения трансформатора. В

подавляющем большинстве случаев в таких схемах применяется компенсация емкостного тока замыкания на землю (ЗЗ).

Защита от ЗЗ в обмотке статора генератора в упомянутых схемах должна удовлетворять нормативному требованию — отсутствию зоны нечувствительности вблизи нейтрали и обладать свой-

ством избирательности по отношению к поврежденному генератору. При этом указанное свойство должно быть обеспечено как при устойчивых, так и перемежающихся дуговых замыканиях.

Как известно, в сетях с компенсацией емкостного тока выполнение защиты от ЗЗ с использованием токов нулевой последовательности промышленной частоты затруднительно. Принципиально решение задачи может быть достигнуто путем наложения на сеть вспомогательного сигнала, называемого далее контрольным током.

Частота контрольного тока и схема подключения источника контрольного тока (ИКТ) выбираются так, чтобы защита работала правильно как при устойчивых, так и перемежающихся дуговых замыканиях, а также была обеспечена техническая возможность надежного измерения сравнительно малого контрольного тока с помощью любых фильтров токов нулевой последовательности (ФТНП) в условиях больших токов небаланса промышленной частоты.

В сети с компенсацией емкостного тока эти принципиальные требования выполняются при последовательном включении в цепь дугогасящих реакторов

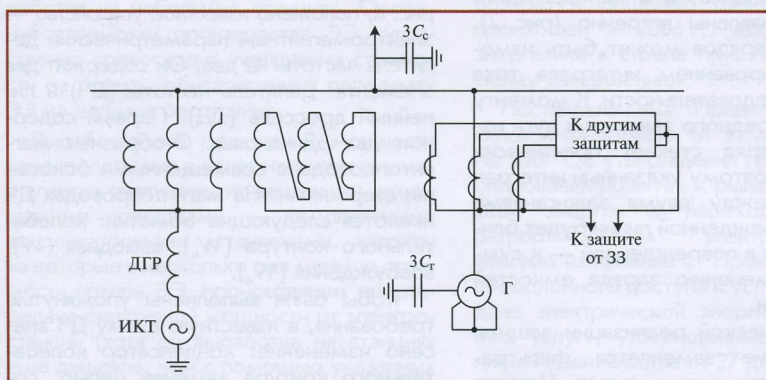


Рис. 1. Принципиальная электрическая схема подключения защиты генераторов, работающих на сборные шины

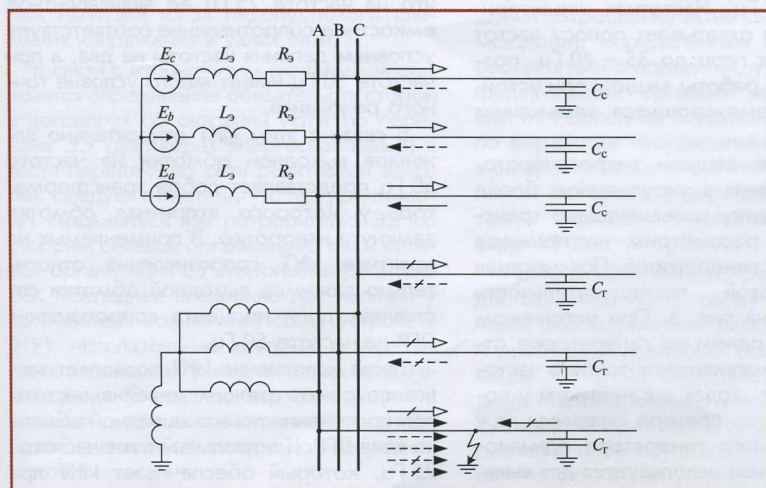


Рис. 2. Схема направления токов, обусловленных изменением зарядов фаз сети при дуговом замыкании:  
 —> — токи разряда; - - -> — токи дозаряда; —>, —> — токи стекания избыточных зарядов емкостей фаз после обрыва дуги в поврежденной и неповрежденных линиях соответственно

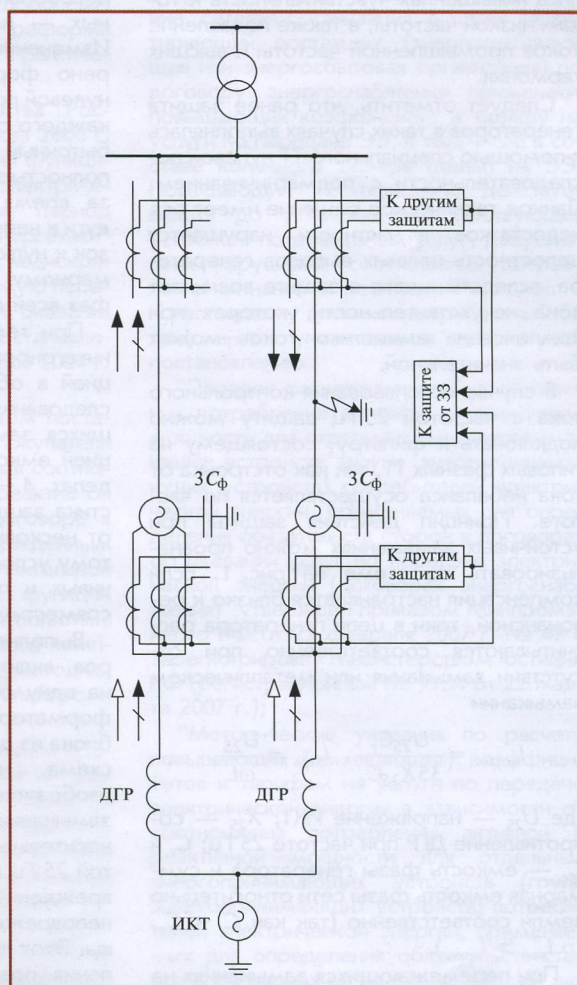


Рис. 3. Схема направления токов при ЗЗ в генераторе укрупненного блока:  
 —> — при устойчивом замыкании; —> — на стадии горения дуги; —> — токи стекания избыточных зарядов

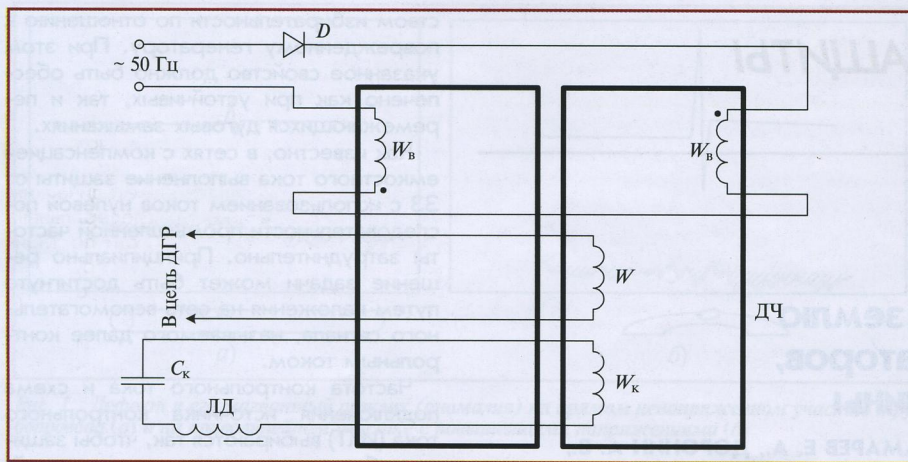


Рис. 4. Принципиальная электрическая схема ИКТ с частотой 25 Гц

(ДГР) источника с частотой ниже промышленной (в частности 25 Гц). Поясняющая схема для случая защиты генераторов, работающих на сборные шины, показана на рис. 1. Измерительный орган защиты включается в нулевой провод группы типовых трансформаторов тока (ТТ) на выводах генератора. Частотная характеристика измерительного органа принимается такой, чтобы обеспечивались повышенная чувствительность к токам низкой частоты, а также подавление токов промышленной частоты и высших гармоник.

Следует отметить, что ранее защита генераторов в таких случаях выполнялась с помощью специального ТТ нулевой последовательности с подмагничиванием. Данное техническое решение имеет ряд недостатков, в частности, нарушается целостность шинных выводов генератора, вследствие чего в защите возникает зона нечувствительности, которая при компенсации емкостных токов может быть значительной.

В случае использования контрольного тока с частотой 25 Гц защиту можно подключать к фильтру, состоящему из типовых фазных ТТ, так как отстройка от тока небаланса осуществляется по частоте. Принцип действия защиты при устойчивых замыканиях можно проанализировать по схеме на рис. 1. Если компенсация настраивается близко к резонансной, токи в цепи генератора рассчитываются соответственно при отсутствии замыкания или металлическом замыкании

$$I_{\text{норм}} = \frac{U_{25} C_r}{35 X_{25} C_c}, \quad I_{\text{зам}} = \frac{U_{25}}{\omega L}$$

где  $U_{25}$  — напряжение ИКТ;  $X_{25}$  — сопротивление ДГР при частоте 25 Гц;  $C_r$  и  $C_c$  — емкость фазы генератора и суммарная емкость фазы сети относительно земли соответственно (так как  $C_r \ll C_c$ , то  $I_{\text{зам}} \gg I_{\text{норм}}$ ).

При перемежающихся замыканиях на стадии горения дуги по поврежденной фазе протекает ток разряда емкости этой фазы, а по двум неповрежденным фазам — токи дозаряда емкостей не-

поврежденных фаз. После обрыва дуги суммарный избыточный заряд, накопленный за время горения дуги на емкостях фаз сети, стекает через ДГР в виде затухающих колебаний с частотой, близкой к промышленной.

Следует отметить, что токи, обусловленные изменением зарядов на стадиях горения дуги и стекания зарядов в поврежденном элементе, имеют одинаковое направление, а в неповрежденных — направлены встречно (рис. 2). Изменение зарядов может быть измерено формированием интеграла тока нулевой последовательности. К моменту каждого очередного зажигания дуги избыточный заряд стекает практически полностью, поэтому указанный интеграл за время между двумя зажиганиями дуги в неповрежденной линии будет близок к нулю, а в поврежденной — к суммарному изменению заряда емкостей фаз всей сети.

При технической реализации защиты интегрирование заменяется фильтрацией в области низких частот. Частота следования пробоев при перемежающихся замыканиях в сети с компенсацией емкостного тока находится в пределах 4 – 12 Гц. Частотная характеристика защиты охватывает полосу частот от нескольких герц до 35 – 40 Гц, поэтому условия работы защиты при устойчивых и перемежающихся замыканиях совместимы.

Выполнение защиты гидрогенераторов, включенных в укрупненном блоке на одну обмотку повышающего трансформатора, рассмотрим на примере блока из двух генераторов. Поясняющая схема нулевой последовательности изображена на рис. 3. При устойчивом замыкании в одном из генераторов относительно направления токов с частотой 25 Гц на выводах и в нейтрали у поврежденного генератора различны, а у неповрежденного генератора одинаковы. Этот признак используется для выявления поврежденного генератора при технической реализации защиты.

При дуговом перемежающемся замыкании в одном из генераторов блока имеют место процессы, аналогичные

уже рассмотренным. На стадии горения дуги токи, связанные с изменением зарядов, протекают по выводам поврежденного и неповрежденного генераторов в противоположных по отношению к ТТ направлениях. В бестоковую паузу токи стекания избыточных зарядов протекают со стороны нейтрали у всех генераторов в одинаковом направлении. Поэтому при соединении ФТНП по дифференциальной схеме в поврежденном генераторе интеграл измеряемого тока за время между двумя соседними пробоями и его приближенное значение, определяемое с помощью фильтра низких частот, будет значительно больше, чем в неповрежденном генераторе.

Таким образом, признаки поврежденного генератора при устойчивом и дуговом перемежающемся замыкании одинаковы. Необходимым условием для реализации защиты является наличие ИКТ, который должен удовлетворять следующим требованиям:

- не оказывать влияния на функционирование ДГР при 33. Для этого его сопротивление на частоте 50 Гц должно быть намного меньше сопротивления ДГР;
- сохранять работоспособность при протекании тока ДГР.

В основу схемы ИКТ, показанной на рис. 4, положено известное устройство — электромагнитный параметрический делитель частоты на два. Он содержит два элемента: делитель частоты (ДЧ) и линейный дроссель (ЛД). Первый содержит два одинаковых О-образных магнитопровода с совмещенными боковыми стержнями. На магнитопроводах ДЧ имеются следующие обмотки: колебательного контура ( $W_K$ ), выходная ( $W$ ), возбуждения ( $W_B$ ).

Чтобы были выполнены упомянутые требования, в известную схему ДЧ внесено изменение: конденсатор колебательного контура заменен цепью, состоящей из последовательно соединенных конденсатора  $C_K$  и ЛД. Параметры этой цепи подбираются таким образом, что на частоте 25 Гц ее эквивалентное емкостное сопротивление соответствует условиям деления частоты на два, а при частоте 50 Гц имеет место условие точного резонанса.

В связи с этим ИКТ относительно зажимов выходной обмотки на частоте 50 Гц представляет собой трансформатор, у которого вторичная обмотка замкнута накоротко. В применяемых на практике ИКТ сопротивление относительно зажимов выходной обмотки составляет доли процента сопротивления ДГР на частоте 50 Гц.

Такое исполнение ИКТ позволяет также сохранять режим деления частоты при протекании по его выходной обмотке тока ДГР. Контрольный ток с частотой 25 Гц, который обеспечивает ИКТ при металлическом 33, составляет примерно 0,7 А. Указанные принципы выполнения защиты применяются в составе цифровой комплексной защиты генераторов, выпускаемой НПП "Экра".