

УДК 621.316.925

ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ С НАЛОЖЕНИЕМ ТОКА С ЧАСТОТОЙ 25 ГЦ В СЕТЯХ С КОМПЕНСАЦИЕЙ ЕМКОСТНОГО ТОКА

ТЕНТИЕВ Р.Б.

izvestiya@ktu.aknet.kg

В работе рассматривается способ выполнения селективной защиты от замыканий на землю в обмотке статора генератора на примере Учкурганской ГЭС. Для выполнения защиты используется наложение через дугогасящий реактор контрольного тока с частотой 25 Гц, отбираемый от источника контрольного тока.

In this work the technique of selective ground fault protection in the winding of generator's stator on the example of Uchkurgan hydropower station is considered. For implementation of this protection the imposition through ground-fault neutralizer of the controlling current with the frequency of 25 Hz is used.

В большинстве случаев гидрогенераторы на электростанциях Кыргызстана включены по схеме блока генератор – трансформатор. Поэтому основная защита от замыканий на землю в обмотке статора выполняется с использованием напряжения нулевой последовательности промышленной частоты. Для устранения зоны нечувствительности используется защита на принципе сравнения составляющих с частотой 150 Гц в напряжении нулевой последовательности на выводах генератора и в нейтрали [1]. Принципиально для решения этой задачи может использоваться наложение тока с частотой 25 Гц, так как нейтрали практически заземлены через дугогасящие реакторы.

Использование результатов данной работы может быть, прежде всего, полезным в тех случаях, когда существующая защита не обеспечивает селективности по отношению к поврежденному генератору.

Анализ состояния выполнения защиты от однофазных замыканий в обмотке статора генераторов показал, что защита блока Учкурганской ГЭС не удовлетворяет всем требованиям. Гидрогенераторы присоединены к трансформатору по схеме, приведенной на рис. 1. На блоке Учкурганской ГЭС используется неселективная защита, реагирующая на появление напряжения нулевой последовательности промышленной частоты. Поскольку в цепи каждого генератора имеется выключатель, то целесообразно применить селективную защиту от замыканий на землю.

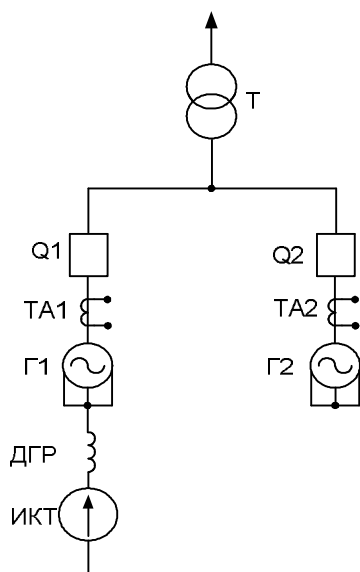


Рис. 1. Схема укрупненного блока Учкурганской ГЭС.

Для выполнения защиты с наложением контрольного тока с частотой 25 Гц в цепь дугогасящего реактора генератора Γ_1 должен быть включен источник контрольного тока (ИКТ), основным элементом которого является электромагнитный параметрический делитель частоты. С учетом предложения о замене трансформаторной связи между обмотками на автотрансформаторную и соответствующих теоретических обоснований, приведенных в этой работе [2], контрольный ток при токе дугогасящего реактора, равном примерно 10 А, может быть увеличен до 1,64 А, что приводит к увеличению надежности защиты.

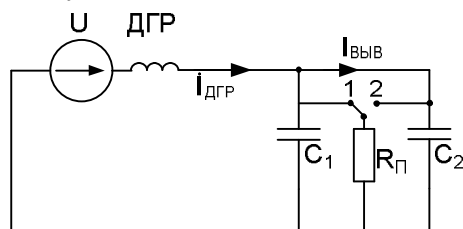


Рис. 2. Схема замещения для расчета электрических величин при замыкании на землю в обмотке статора генераторов. Положение ключа: 1-замыкание в генераторе Γ_1 , 2- замыкание в генераторе Γ_2 .

Для того, чтобы сформулировать требования к функциональным характеристикам измерительных органов защиты, проведем исследования изменения токов и напряжений с частотой 25 Гц при замыкании через переходное сопротивление. Для проведения расчетов примем схему замещения, приведенную на рис. 2.

Электрические величины определим в относительных единицах, приняв в качестве базисных величин напряжение ИКТ – напряжение и ток, протекающий по дугогасящему реактору при металлическом замыкании $U/\omega L_{ДГР}$. При замыкании через переходное сопротивление по схеме рис. 2 нетрудно получить выражения для интересующих нас электрических величин в относительных единицах.

Ток и напряжение в цепи дугогасящего реактора

$$\dot{I}_{ДГР*} = \frac{1 + j\frac{1}{2}R_{П*}}{\frac{1}{2}R_{П*}(3 - 4\nu) + j} \quad (1)$$

$$\dot{U}_{ДГР*} = \frac{j\left(1 + j\frac{1}{2}R_{П*}\right)}{\frac{1}{2}R_{П*}(3 - 4\nu) + j} \quad (2)$$

Ток на выводах при замыкании в генераторе Γ_1 и Γ_2 .

$$\dot{I}_{ВЫВ1*} = \dot{I}_{ДГР*} \frac{jR_{П*} \frac{C_2}{C_1 + C_2}}{2 + jR_{П*}}; \quad (3) \quad \dot{I}_{ВЫВ2*} = \dot{I}_{ДГР*} \frac{2 + jR_{П*} \frac{C_2}{C_1 + C_2}}{2 + jR_{П*}} \quad (4)$$

В формулах (1-4) C_1 и C_2 - суммарные емкости трех фаз обмотки статора генераторов Γ_1 и Γ_2 , а переходное сопротивление отнесено к суммарному емкостному току сопротивлению фаз относительно земли на промышленной частоте $R_{П*} = R_{П} 2\omega(C_1 + C_2)$.

Графики зависимости модулей и фаз электрических величин по формулам (1-4) приведены на рис. 3, 4, 5, 6.

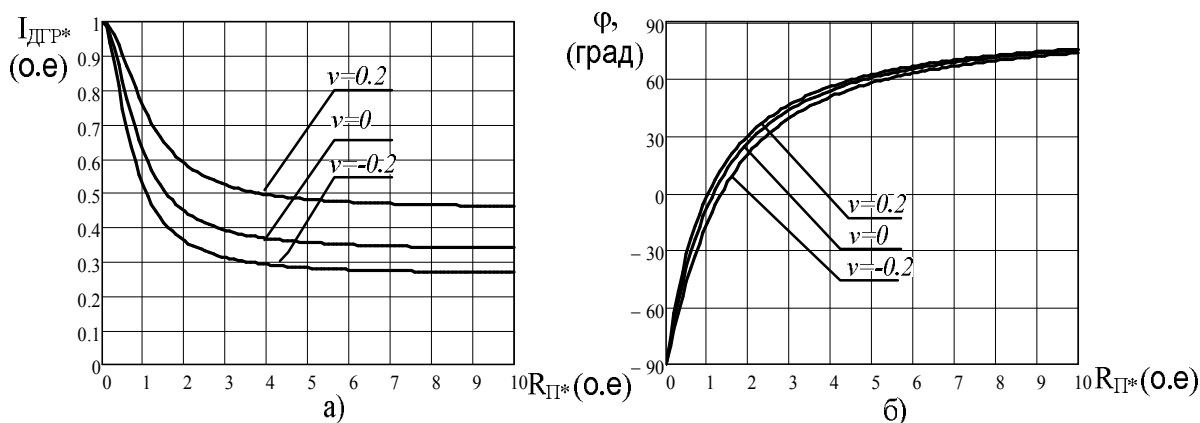


Рис. 3. Зависимость модуля (а) и фазы (б) тока дугогасящего реактора с частотой 25 Гц от переходного сопротивления в месте замыкания.

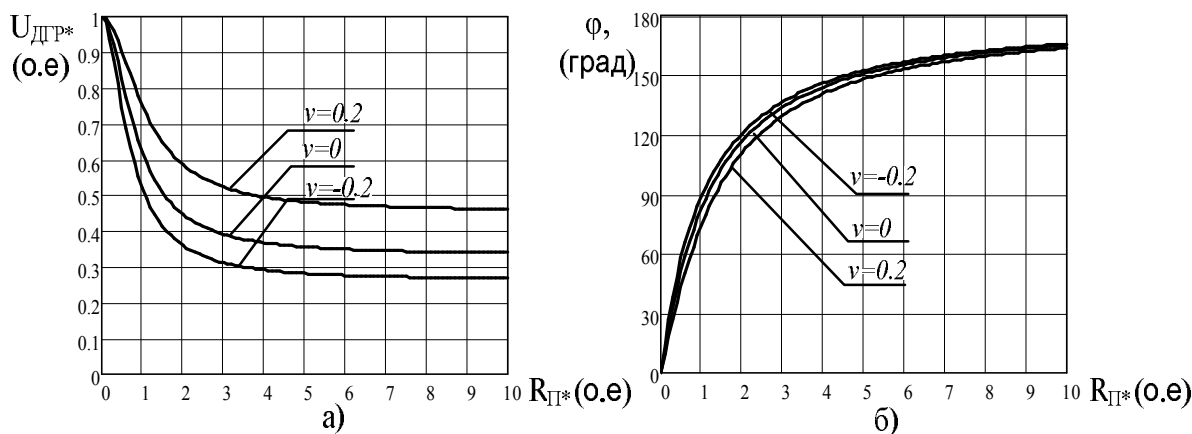


Рис. 4. Зависимость модуля (а) и фазы (б) напряжения с частотой 25 Гц на дугогасящем реакторе от переходного сопротивления в месте замыкания.

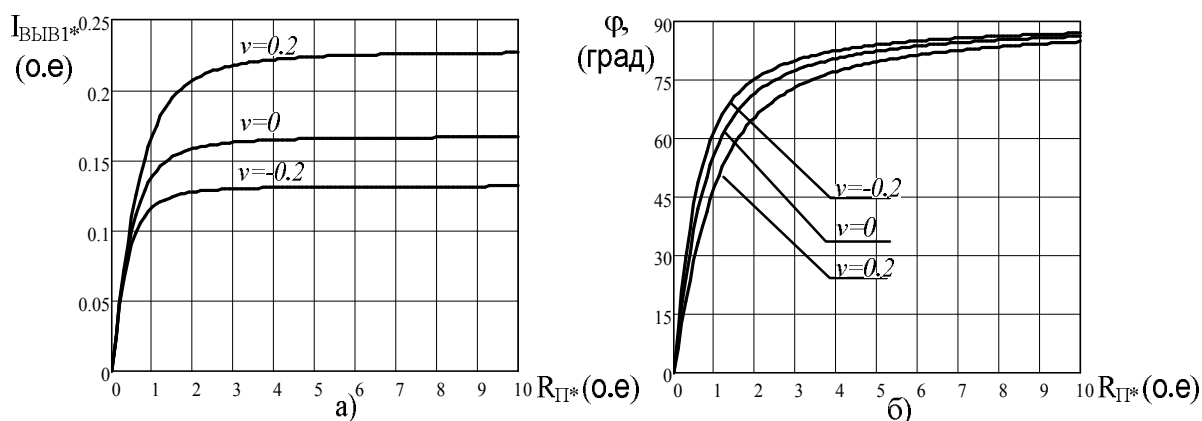


Рис. 5. Зависимость модуля (а) и фазы (б) тока на выводах генераторов от переходного сопротивления при замыкании в генераторе G_1 .

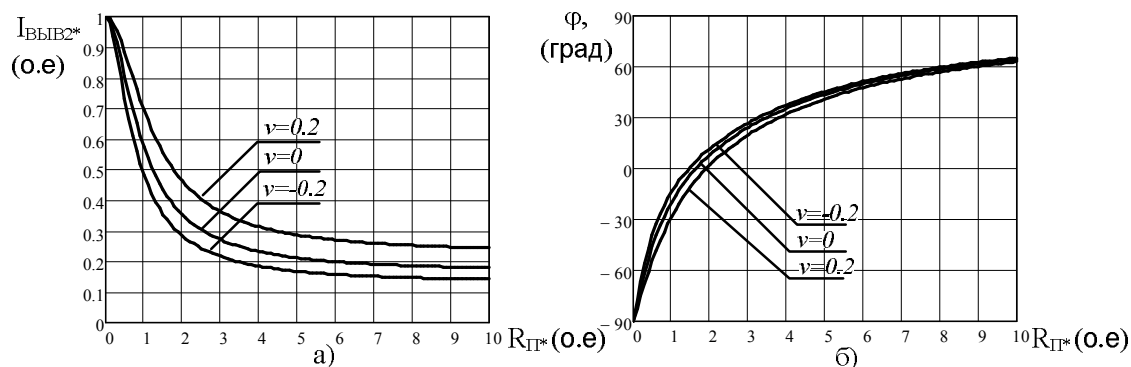
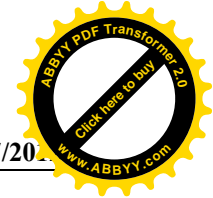
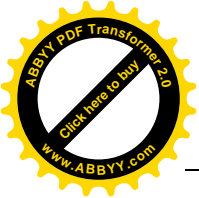


Рис. 6. Зависимость модуля тока (а) и фазы (б) с частотой 25 Гц и на выводах генераторов от переходного сопротивления при замыкании в генераторе G_2 .

Сначала рассмотрим значения электрических величин в нормальном режиме ($R_{ГГ} = \infty$) и при металлическом замыкании $R_{ГГ} = 0$. Эти значения сведены в таблицу 1.

Таблица 1

Параметры	Нормальный режим		Металлическое замыкание	
	модуль (о.е.)	фаза (град.)	модуль (о.е.)	фаза (град.)
$\dot{U}_{ДГР}$	1/3	180	1	0
$\dot{I}_{ДГР}$	1/3	90	1	-90
$\dot{I}_{ВЫВ1}$	1/6	90	0	
$\dot{I}_{ВЫВ2}$	1/6	90	1	-90

Характер изменения электрических величин при замыкании и направления токов позволяют предложить следующие варианты формирования признаков выявления поврежденного генератора.

Для генератора G_1 разность токов в цепи дугогасящего реактора и на выводах, а для генератора G_2 ток на выводах

$$\dot{I}_{ЗАЩ1*} = \dot{I}_{ДГР*} - \dot{I}_{ВЫВ1*} > \dot{I}_{СП1}, \quad (5) \quad \dot{I}_{ЗАЩ2*} = \dot{I}_{ВЫВ2*} > \dot{I}_{СП2}. \quad (6)$$

Модули токов в нормальном режиме

$$\dot{I}_{ЗАЩ1*} = j \frac{1}{6}; \quad \dot{I}_{ЗАЩ2*} = j \frac{1}{6}.$$

При металлическом замыкании в генераторе G_1 : $\dot{I}_{ЗАЩ1*} = 1$; $\dot{I}_{ЗАЩ2*} = 0$,

и в генераторе G_2 : $\dot{I}_{ЗАЩ1*} = 0$; $\dot{I}_{ЗАЩ2*} = 1$.

Формирование параметра $I_{ЗАЩ1*}$ осуществляется соединением трансформаторов тока TA_1 и TA_N по дифференциальной схеме.

Исследования для оценки переходного сопротивления при котором достаточно надежно сохраняются признаки по (5) и (6), показали, что чувствительность защиты при перекомпенсации снижается, а при недокомпенсации повышается

Признаки, позволяющие выявить поврежденный генератор, могут быть дополнены пусковым признаком, использующим изменение напряжения на дугогасящем реакторе. Как видно из таблицы 1, это напряжение при металлическом замыкании увеличивается по модулю в 3 раза, а его фаза изменяется на 180^0 . Этот фактор при выполнении защиты от замыканий на землю генераторов, работающих на отдельную обмотку трансформатора, используется как основной.

Далее рассмотрим, сохраняются ли используемые в защите признаки при отключении одного из генераторов. При отключении генератора G_2 нужно учесть, что при этом будет иметь место большая перекомпенсация. Если принять, что до отключения генератора настройка компенсации была точной, то после отключения при $C_1 = C_2$; $\nu = -0.5$. При такой расстройке компенсации в нормальном режиме модуль тока $I_{ДГР}$, на который реагирует защита, равен $\dot{I}_{ДГР*} = 0,2$, а при металлическом замыкании - как и в полной схеме $\dot{I}_{ДГР*} = 1$. Таким образом в этом случае работоспособность защиты сохраняется и при этом возрастает кратность изменения тока по отношению к нормальному режиму с 3 до 5.

При отключении генератора G_1 генератор G_2 оказывается отключенным от ИКТ и поэтому на время такого режима в качестве защиты от замыканий на землю может использоваться защита, реагирующая на напряжение нулевой последовательности основной частоты.

При выполнении защиты по описанному принципу токовые измерительные органы, включенные через фильтры низкой частоты, должны настраиваться на определенный ток срабатывания. В этом заключается недостаток защиты, который может проявляться при дуговых перемежающихся замыканиях. По принципу действия при перемежающихся замыканиях защита сохраняет работоспособность, так как при дуговых перемежающихся замыканиях в компенсированной сети в токах нулевой последовательности содержатся низкочастотные гармоники. Однако абсолютный уровень этих гармоник может изменяться, что затрудняет определение токов срабатывания защиты. Поэтому более желательным является использование качественных признаков поврежденного генератора.

Выводы: 1. На генераторах укрупненного блока Учкурганской ГЭС селективная защита от замыканий на землю может быть выполнена путем включения ИКТ в цепь дугогасящего реактора с автотрансформаторной связью выходной и контурной обмоток так как это в данном случае позволяет увеличить контрольный ток и выполнить более надежную защиту. 2. В качестве признака поврежденного генератора на Учкурганской ГЭС может быть использован качественный признак, заключающийся в том, что как при устойчивых замыканиях, так и при перемежающихся



дуговых замыканиях ток низкочастотных гармоник на выводах поврежденного генератора больше тока на выводах неповрежденного генератора.

Литература

1. Кискачи В.М. Использование гармоник э.д.с. генераторов энергоблоков при выполнении защиты от замыканий на землю // Электричество. - 1974. -№ 2. С. 24 – 29.
- Тентиев Р.Б. Усовершенствование источника контрольного тока для защиты от замыканий на землю за счет изменения схем соединения обмоток. // XIV Международная научно-практическая конференция «Современные техника и технологии» / Сборник трудов в 3-х томах. Т. 1.- Томск: Изд-во ТПУ, 2008. - С. 109-111