

О СТОПРОЦЕНТНОЙ СЕЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЕ ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ ОБМОТКИ СТАТОРА СИНХРОННЫХ ГЕНЕРАТОРОВ УКРУПНЕННОГО БЛОКА

Р. А. ВАЙНШТЕЙН, В. Т. ГЕТМАНОВ

(Представлена научным семинаром кафедры электрических станций)

В настоящее время на электрических станциях применяются укрупненные блоки, в которых несколько генераторов непосредственно соединены на генераторном напряжении и работают на одну общую вторичную обмотку трансформатора. Необходимость стопроцентного охвата витков обмотки статора в настоящее время не вызывает сомнения, так как в блоке работают, как правило, генераторы большой мощности (более 50 мвт). Наличие мертвой зоны у подобных защит приводит к весьма опасным повреждениям — двойным замыканиям на землю, что, естественно, требует больших затрат на послеаварийный ремонт. В случае укрупненных блоков, кроме обеспечения полного охвата витков обмотки статора, возникает задача определения поврежденного генератора.

Известные защиты, использующие естественные электрические величины в установившемся или переходном режиме, не позволяют решить эту задачу. В связи с этим целесообразна разработка защиты, реагирующей на электрические величины, искусственно накладываемые на цепи генераторного напряжения.

Подобная защита разработана в Томском политехническом институте применительно к укрупненному блоку Саратовской ГЭС (в блоке работают 4 генератора). Для осуществления наложения на цепи генераторов контрольного тока источника этого тока, напряжения которых одинаковы, включаются последовательно в цепи дугогасящих катушек каждого генератора. Для осуществления защиты необходимо сравнивать фазу напряжения контрольной частоты на вторичной обмотке дугогасящей катушки и фазу тока контрольной частоты в токе нулевой последовательности на выводах генераторов по отношению к напряжению источника контрольного тока (опорное напряжение). Для дальнейшего анализа работы защиты необходимо знать характер изменения этих электрических величин в зависимости от переходного сопротивления в месте замыкания на землю и от частоты контрольного тока. Следует отметить, что для выбора частоты контрольного тока достаточно проанализировать характер изменения напряжения на вторичной обмотке дугогасящей катушки, так как на эту электрическую величину реагирует пусковой элемент защиты.

Схема замещения нулевой последовательности для определения электрических величин, используемых в защите, приведена на рис. 1. На схеме обозначено: L — индуктивность дугогасящей катушки; C_r — суммарная емкость всех трех фаз генератора относительно земли; R_n —

переходное сопротивление в месте замыкания; U — напряжение источника контрольного тока; I_n — ток вспомогательной частоты на выводах поврежденного генератора; I_3 — ток вспомогательной частоты на выводах здорового генератора.

Напряжение с частотой источника контрольного тока на дугогасящей катушке при резонансной настройке ее равно

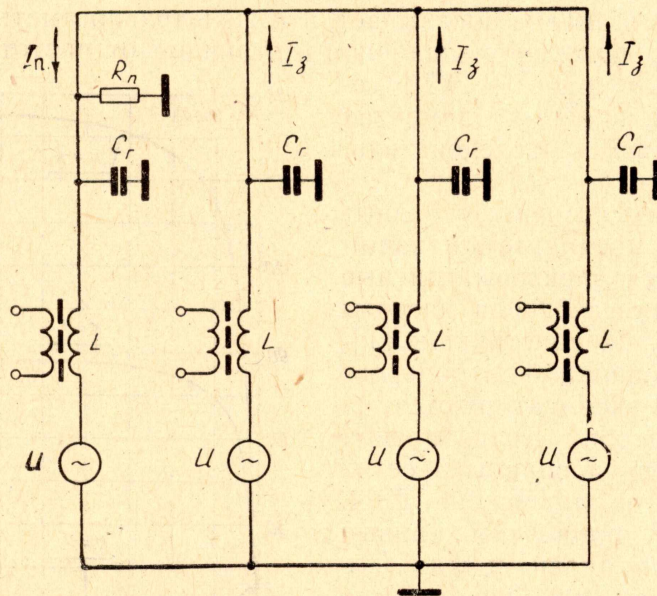


Рис. 1. Схема замещения нулевой последовательности укрупненного блока для определения электрических величин наложенного тока в установившемся режиме

$$U_L = \frac{R_{n*}^2 n^2 (\kappa^2 - 1) + 1 + j R_{n*} \frac{n}{\kappa}}{R_{n*}^2 n^2 \frac{(\kappa^2 - 1)^2}{\kappa^2} + 1}, \quad (1)$$

где $R_{n*} = \frac{R_n}{X_L}$; $X_L = \omega L$ — индуктивное сопротивление дугогасящей катушки на частоте 50 Гц; n — число генераторов, работающих в блоке;

$$\kappa = \frac{\omega_k}{\omega},$$

где ω_k — круговая частота контрольного тока,
 ω — круговая частота промышленного тока.

Угол вектора U_L по отношению к вектору U определится выражением

$$\varphi_{u_L} = \arctg \frac{R_{n*} \frac{n}{\kappa}}{R_{n*}^2 n^2 (\kappa^2 - 1) + 1}. \quad (2)$$

Для выяснения влияния частоты контрольного тока построим кривые зависимостей $\varphi_{u_L}(R_{n*})$ при различных значениях κ и при $n=4$ (рис. 2).

Из кривых рис. 2 видно, что при частоте контрольного тока 25 Гц ($\kappa = \frac{1}{2}$)

фаза напряжения на дугогасящей катушке при изменении $R_{n*} = 0 \div 10$ изменяется $\approx 175^\circ$, а при частоте контрольного тока 100 Гц она изменяется незначительно и, судя по характеру изменения, реализация способа весьма затруднительна. Как следует из выражения (2), аналогичные зависимости при $\kappa=3, 4\dots$ имеют такой же характер изменения, как и при $\kappa=2$, а максимум кривой наступает еще при более меньших значениях угла и относительного переходного сопротивления.

Этот простой анализ показывает, что желательно иметь частоту контрольного тока ниже промышленной и отличной от частот высших гармоник, присутствующих в ЭДС генераторов и нелинейных элементах контура нулевой последовательности.

В качестве источников контрольного тока предлагаемой защиты используются электромагнитные параметрические делители частоты вдвое специальной конструкции [1]. Подобные источники контрольного тока успешно эксплуатируются на 12 гидрогенераторах Красноярской ГЭС, в компенсированных сетях Барнаульской, Балхашской ТЭЦ.

На рис. 3 приведены кривые зависимостей модулей и фаз U_L , I_n , I_3 при изменении переходного сопротивления в пределах $10 \geq R_{n*} \geq 0$ при частоте контрольного тока 25 Гц для $n=4$. Из кривых рис. 3 видно, что при $10 \geq R_{n*} \geq 0$ модуль напряжения на дугогасящих катушках изменяется в 3 раза, а его фаза на $\approx 175^\circ$, а составляющая с частотой 25 Гц в токе нулевой последовательности на выводах поврежденного генератора (I_n) направлена к генератору, на выводах здорового генератора (I_3) наоборот — от генератора. Причем $I_n = 3I_3$.

Таким образом, характер изменения электрических величин с частотой 25 Гц при замыкании фазы генератора на землю, по сравнению с нормальным режимом, позволяет осуществить избирательную стопроцентную защиту от замыканий на землю.

Реагирующий орган защиты выполнен на фазочувствительном принципе, так как фазы названных величин изменяются резко при изменении переходного сопротивления, чем их модули. При разработке принципиальной схемы учитывались те обстоятельства, что на работу реагирующего органа не должно оказывать существенного влияния напряжение с частотой 50 Гц , возникающее на вторичной обмотке дугогасящей катушки при замыкании на землю в обмотке статора, и он не должен срабатывать при замыкании на стороне высшего напряжения трансформатора блока, когда из-за наличия межобмоточных емкостей силового трансформатора наблюдается значительное смещение нейтрали.

Реагирующий орган каждого генератора блока содержит пусковой элемент, избирательный элемент и тормозной элемент. К пусковому элементу подводятся две электрические величины: одна пропорциональна выходному напряжению источника контрольного тока (опорное напряжение), а вторая — контрольному току, протекающему через дугогася-

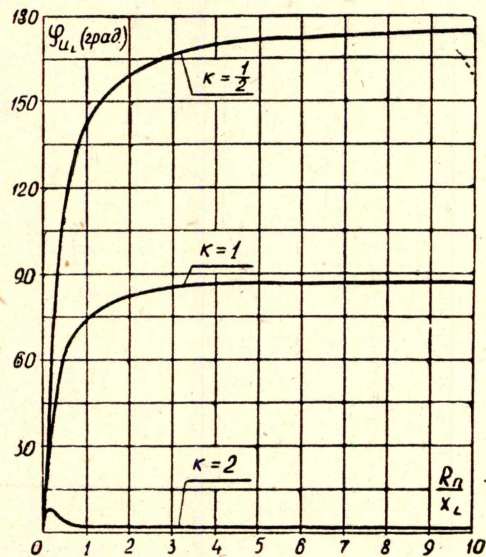


Рис. 2. Зависимости фазы напряжения на дугогасящей катушке от отношения переходного сопротивления к сопротивлению дугогасящей катушки при различных значениях κ

шую катушку. Последняя отбирается с измерительной обмотки дугогасящей катушки. Поскольку при отсутствии замыкания на землю на измерительной обмотке дугогасящей катушки имеется напряжение с частотой 25 Гц по фазе противоположное напряжению при наличии замыкания, пусковой элемент обеспечивает торможение защиты в нормальном режиме, чем достигается высокая помехоустойчивость при коротких замыканиях на стороне высшего напряжения блока.

При появлении замыкания на землю в обмотке статора генератора укрупненного блока срабатывают пусковые элементы реагирующих органов защиты всех генераторов,

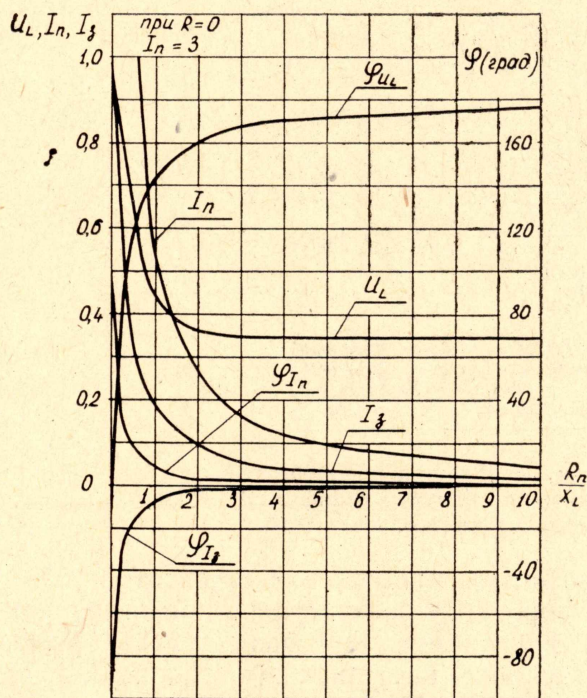


Рис. 3. Зависимости электрических величин, используемых в защите от отношения переходного сопротивления к сопротивлению дугогасящей катушки при частоте контрольного тока 25 Гц

одновременно срабатывает избирательный элемент реагирующего органа того генератора, на котором произошло замыкание. Избирательный элемент, позволяющий определить поврежденный генератор, сравнивает фазу тока нулевой последовательности с частотой 25 Гц на выводах генератора по отношению к опорному напряжению. Отбор тока нулевой последовательности на выводах генератора осуществляется путем включения элемента защиты в нулевой провод одной из групп трансформаторов тока, установленных на выводах генератора.

Выходы пускового и избирательного элементов подключены к логической схеме совпадения.

Тормозной элемент введен для торможения защиты при внешних междуфазных коротких замыканиях, когда воз-

можно очень сильное возрастание тока небаланса трехтрансформаторного фильтра нулевой последовательности, а также при двойных замыканиях на землю. Тормозной элемент выполнен реагирующим на действующее значение тока в нулевом проводе трансформаторов тока и отстроен от максимального тока небаланса нормального режима.

Защита правильно действует также в случае, когда часть генераторов в блоке отключена. Когда в работе остается один генератор, выход избирательного органа шунтируется и сигнал о повреждении генератора подается при срабатывании только пускового органа.

Так как генераторы укрупненного блока непосредственно связаны на генераторном напряжении, то оказывается, что источники контрольного тока связаны электрически. Поэтому правильная работа защиты предполагается только при синфазной работе источников контрольного тока. Известно, что параметрические делители частоты могут возбуждаться и поддерживать колебания половинной частоты с равной вероятностью в любой из двух противоположных фаз, поэтому возможен такой режим работы источников контрольного тока, когда один из них работает в противофазе с другими. Возможность подобного режима работы обусловле-

на еще и особенностью условий, в которых работают источники контрольного тока. Во время переходного процесса, при замыкании фазы генератора на землю в момент, когда фазное напряжение генератора проходит через значение, близкое к нулевому, апериодическая составляющая тока дугогасящей катушки, отвлекаясь в ветвь намагничивания делителя, вызывает временное исчезновение параметрических колебаний. Последние восстанавливаются после затухания апериодической составляющей в любой из двух противоположных фаз.

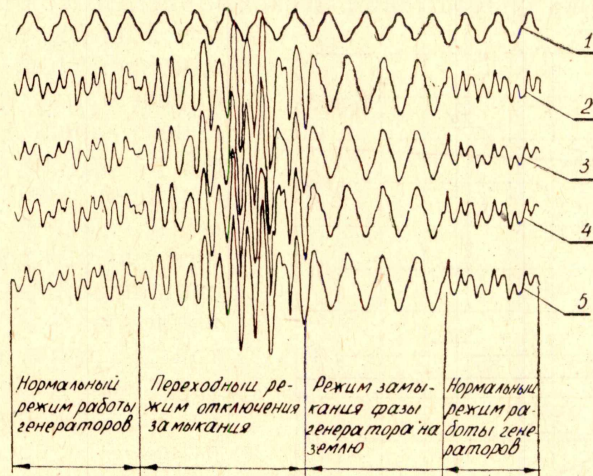


Рис. 4. Осциллограммы напряжения на дугогасящих катушках генераторов блока в синфазном режиме работы источников контрольного тока

На рис. 4 приведены осциллограммы напряжения с частотой 25 Гц на дугогасящих катушках генераторов блока в синфазном режиме работы источников контрольного тока. При замыкании фазы генератора на землю фаза напряжения на дугогасящих катушках (кривые 2, 3, 4, 5) изменяется на 180° по сравнению с нормальным режимом, что соответствует срабатыванию пусковых элементов защиты. Кривая 1 иллюстрирует напряжение источника контрольного тока (опорное напряжение). На рис. 5 помещены указанные электрические величины в режиме, когда

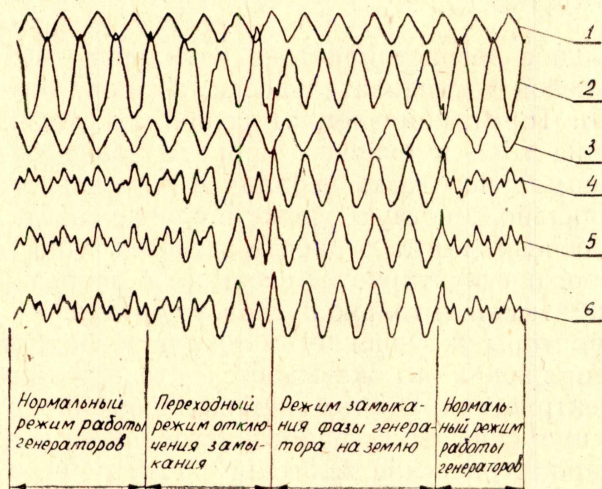


Рис. 5. Осциллограммы напряжения на дугогасящих катушках генераторов блока в режиме, когда один из источников контрольного тока работает в противофазе

один из источников контрольного тока работает в противофазе с другими. Кривая 1 — опорное напряжение реагирующего органа защиты генератора, делитель частоты которого работает в противофазе, 2 — напряжение на дугогасящей катушке этого же генератора. Кривая 3 — опорное напряжение реагирующих органов защиты генераторов, делители частоты которых работают в фазе. Кривые 4, 5, 6 — соответственно напряжений на дугогасящих катушках этих генераторов. Из осциллограмм рис. 5 видно, что в нормальном режиме работы генераторов напряжение на дугогасящих катушках соответствует сработавшему состоянию пусковых элементов. При замыкании фазы на землю на любом из генераторов напряжение на дугогасящих катушках по фазе не изменяется по сравнению с нормальным режимом, изменяется только амплитуда этих напряжений. Вполне очевидно, что такой режим работы источников контрольного тока крайне нежелателен, так как может вызвать неправильное действие защиты.

Для обеспечения синфазной работы источников контрольного тока предусмотрено устройство, выполненное на электромагнитных реле, позволяющее синхронизировать и автоматически включать источники контрольного тока при эксплуатационном исчезновении напряжения питания.

Осциллографирование проводилось на электрической модели, имитирующей укрупненный энергетический блок с источниками контрольного тока.

Реагирующий орган защиты выполнен на полупроводниковых элементах, конструктивно оформлен в кожухе реле КРС-132.

В настоящее время защита проверена в лабораторных условиях и показала удовлетворительные результаты. Защита разработана и будет установлена в опытную эксплуатацию на четырех генераторах укрупненного блока Саратовской ГЭС.

Выводы

1. Рассматриваемая защита на наложенном токе позволяет защитить 100% витков обмотки статора генераторов укрупненного блока и селективно определить поврежденный генератор.

2. Частота накладываемого контрольного тока должна быть ниже промышленной и отличаться от частот высших гармоник.

3. Необходимо предусматривать устройство для обеспечения синфазной работы источников контрольного тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Вайнштейн и др. Использование электромагнитного параметрического делителя частоты в качестве источника контрольного тока для защиты от замыканий на землю компенсированных сетей. Известия ТПИ, т. 179, 1969.