

ЧУВСТВИТЕЛЬНАЯ ДИАГНОСТИРУЮЩАЯ ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

Гребченко Н.В., Дементьев В.А., Ерофеев В.П., Вознюк К.Н.
Донецкий национальный технический университет - Зуевская ТЭС

Improvement of protection against short circuits on the ground is offered. Results of industrial tests are resulted.

Постановка задачи. Требуемая чувствительность существующих средств контроля состояния изоляции в рабочем режиме электрооборудования обычно обеспечивается только при благоприятных соотношениях полного емкостного тока сети $I_{C\Sigma}$ и собственного емкостного тока присоединения $I_{\text{соб}}$ [1]. При использовании в защите от замыканий на землю реле типа РТЗ-51 соотношение $I_{C\Sigma} / I_{\text{соб}}$ должно быть не менее 2,5. При этом защиты выявляют замыкания на землю только с низким переходным сопротивлением или вообще без него, т.е. металлические замыкания. Существующие защиты от замыканий на землю имеют относительно низкую чувствительность, что обусловлено не только неблагоприятным соотношением параметров сети, но также вызвано необходимостью отстройки их тока срабатывания от броска собственного емкостного тока присоединения при внешнем замыкании на землю [2]. Кроме того, техническая реализация защит еще имеет недостаточный уровень совершенства, т.к. даже при использовании реле типа РТЗ-51, имеющего наиболее высокие средние оценки [1], и трансформатора тока нулевой последовательности (ТТНП) типа ТЗЛМ ток срабатывания защиты не может быть менее 0,6 А [2]. Такой ток появляется в защите при замыкании на землю, если сопротивление в месте замыкания не превышает 1-2 кОм.

Анализ последних достижений. До сих пор обычно не ставилась задача точной оценки состояния изоляции, вместо которой выполнялся контроль возникновения ее предельного состояния, т.е. замыкания на землю. Поэтому существующие защиты в основном решали поставленные задачи.

Необходимость повышения чувствительности защит от замыканий на землю обусловлена следующими соображениями. Большинство существующих защит реагирует на установившееся значение тока замыкания на землю, в то время как такие повреждения часто сопровождаются перемежающейся дугой, а поэтому защиты не срабатывают до тех пор, пока замыкание не переходит в «глухое». Переходный процесс при этом характеризуется перенапряжениями, оказывающими отрицательное воздействие на изоляцию всей электрически связанной сети. Однако защиты, которые находятся в эксплуатации, из-за недостаточной чувствительности не могут выявлять дефекты изоляции на ранней стадии, а поэтому не могут предотвратить возникновение замыканий на землю и сопровождающих их перенапряжений.

Второй причиной необходимости повышения чувствительности защит от замыканий на землю является зависимость чувствительности защит от конфигурации сети. Например, при пуске энергоблоков включение присоединений собственных нужд 6 кВ выполняется не одновременно, а по мере необходимости в соответствии с технологией процесса пуска. Поэтому величина емкостного тока замыкания в начале пуска оказывается недостаточной для срабатывания защит. Затем по мере увеличения емкостного тока при наличии замыкания защита сработает и отключит поврежденное присоединение, что приведет к изменению хода процесса пуска или вообще – к отказу от пуска. В этом случае очень важно своевременно выявлять присоединения с ухудшенной изоляцией.

И самое главное. Совершенствование защит от замыканий на землю и повышение их чувствительности позволит во многих случаях выявлять незначительные локальные дефекты изоляции или общее снижение качества изоляции отдельных фаз присоединения, а, следовательно, - предотвращать возникновение повреждений за счет своевременного вывода в ремонт электрооборудования.

Задача исследований. В предлагаемой статье рассматривается один из способов совершенствования защит от замыканий на землю, позволяющий выявлять не только замыкания на землю, но и дефекты изоляции, сопровождающиеся снижением сопротивления изоляции.

Изложение основного материала. Требуемая чувствительность защит, выявляющих дефекты изоляции, может быть определена следующим образом. Загрязнение и увлажнение изоляции приводит к росту коэффициента успокоения сети [3], что обусловлено снижением сопротивления изоляции. При снижении сопротивления изоляции одной из фаз сети 6 кВ в 2-4 раза по сравнению с сопротивлением изоляции других фаз первичный ток нулевой последовательности составит соответственно примерно 0,003-0,01 А. Поэтому первичный ток срабатывания порядка 0,01 А можно рекомендовать в качестве уставки срабатывания для выявления дефектов изоляции. Однако следует иметь в виду, что при таком первичном токе вторичный ток ТТНП значительно меньше минимальной уставки срабатывания серийных реле тока. Для фиксации этих токов необходимо использовать цифровую обработку информации, полученной с выхода аналого-цифрового преобразователя с числом разрядов не менее 12, к входу которого подводится напряжение с шунта, включенного во вторичную обмотку ТТНП.

Одной из основных причин низкой чувствительности защит от замыканий на землю является относительно небольшой уровень выходного сигнала ТНП. Еще в большей степени проявляется этот недостаток при использовании ТНП для трансформации малых токов, возникающих при появлении дефектов изоляции. Достаточно эффективным решением этой проблемы в свое время явилось применение подмагничивания ТНП. Но исключение трансформации во вторичную цепь тока подмагничивания, а также то, что не всегда удается обеспечить оптимальный угол между м.д.с., созданной током нулевой последовательности, и м.д.с. от тока подмагничивания не позволяют выполнять высокочувствительные защиты, т.е. диагностирование изоляции.

Для решения поставленной задачи повышения чувствительности защит от замыканий на землю предлагается в дополнительную обмотку ТНП подавать ток с частотой f_G , которая отличается от частоты f_0 сети [4,5]. В качестве такой обмотки используется дополнительная обмотка ТНП типа ТЗЛК-05.1 или при использовании других типов ТНП (ТЗР, ТЗЛ, ТЗЛМ и др.) дополнительная обмотка специально наматывается на ТНП. Благодаря дополнительной м.д.с. рабочая точка ТНП перемещается на более крутой участок характеристики намагничивания, что приводит к большему увеличению вторичного тока при одном и том же изменении первичного тока нулевой последовательности. Это видно из рис.1, на котором показаны экспериментальные зависимости тока во входной цепи реле I_P , подключенного к вторичной обмотке трансформатора тока типа ТЗЛМ, от первичного тока нулевой последовательности $3I_0$ ТНП. Например, в случае появления дефекта изоляции произошло изменение первичного тока нулевой последовательности от нуля до 10 мА. Тогда при отсутствии тока в дополнительной обмотке ток в реле РТЗ-51 изменится от нуля до 0,08 мА. В этом же случае дефекта изоляции и изменении тока нулевой последовательности в 10 мА, но при наличии тока величиной 50 мА в дополнительной обмотке, имеющей 10 витков, ток в реле изменяется от 17 мА до 17,4 мА (рис.1), т.е. в 5 раз больше, чем при отсутствии дополнительной м.д.с. На математической модели ТНП определено, что доля первичного тока, который идет на намагничивание магнитопровода, в первом случае составляет около 90%, а во втором снижается до 37%. Если используется реле РТЗ-50, то при таком же изменении первичного тока в 10 мА, ток в реле увеличивается в 3,5 раза больше при наличии такой же дополнительной м.д.с. по сравнению с тем, когда отсутствует дополнительная м.д.с. (рис. 1). При этом нужно иметь в виду, что при отсутствии дополнительной м.д.с. для фиксации увеличения тока во вторичной обмотке ТЗЛМ, вызванного появлением дефектов изоляции, непосредственно серийные реле тока применить невозможно, т.к. минимальная уставка их срабатывания составляет 0,01 – 0,02 А. Поэтому следует принимать специальные меры по их использованию или по повышению чувствительности реле.

I_P , мА

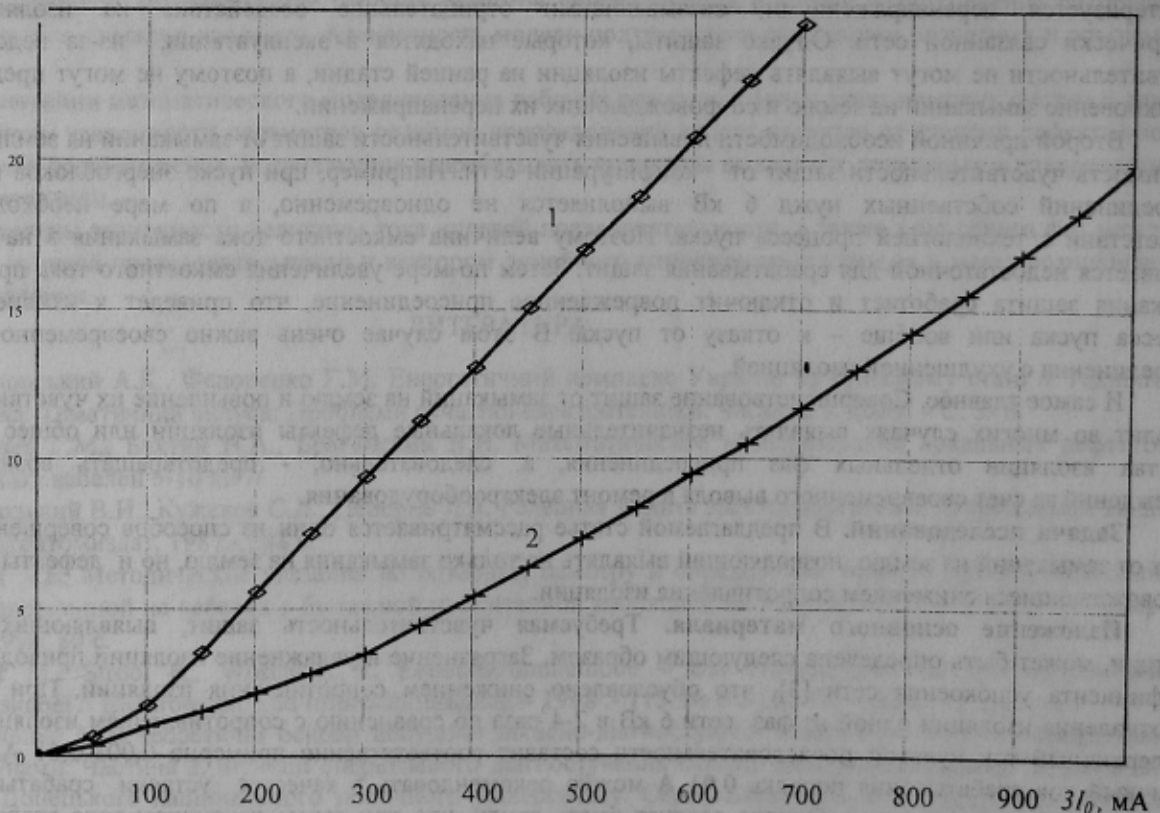


Рис. 1 - Ток в реле I_P (1-РТЗ-51; 2-РТЗ-50, III-й диапазон), подключенного к вторичной обмотке трансформатора тока типа ТЗЛМ, в зависимости от первичного тока нулевой последовательности $3I_0$

Одной из специальных мер, не требующей изменения чувствительности реле, является создание в магнитопроводе ТТНП дополнительной м.д.с. Определение требуемого значения тока в дополнительной обмотке выполняется в зависимости от минимальной уставки срабатывания реле. Исходя из этого, величина тока в дополнительной обмотке должна быть такой, чтобы при отсутствии дефектов изоляции (первичный ток нулевой последовательности равен нулю) величина тока в реле была близка к уставке его срабатывания с учетом заданного коэффициента надежности отстройки. Анализ зависимости вторичного тока ТТНП от его первичного тока при включении различных типов реле (РТЗ-50, РТЗ-51) с различными уставками, показывает, что даже при минимальных уставках этих реле обеспечивается существенное повышение чувствительности контроля дефектов изоляции. Поэтому при отсутствии других требований или ограничений по величине уставки, для выявления дефектов изоляции целесообразно использовать реле с минимальными уставками срабатывания. Это дает возможность использовать генератор дополнительного тока небольшой мощности.

Отличие частоты дополнительной м.д.с. от частоты сети обеспечивает периодическое повышение чувствительности защиты к токам через изоляцию сначала одной фазы, например, фазы В, затем фазы С, фазы А, фазы В и т.д. Поскольку дефекты изоляции на ранней стадии не представляют непосредственной опасности, то для чувствительной ступени защиты от замыканий на землю выбрано действие на сигнал. Для питания дополнительной обмотки используется специальный генератор тока частотой 45-47 Гц. Построение генератора на основе моста Вина со стабилизируемой амплитудой обеспечивает низкие искажения синусоидального сигнала генератора, которые не превышают 0,1% [6]. Кроме того, для снижения влияния отклонений величины дополнительного тока на работу защиты выполняется стабилизация напряжений ± 15 В питания генератора, которая дополнительно обеспечивает стабильность выходного тока генератора. Благодаря такому выполнению генератора отклонения величины его тока от заданного значения не превышают 1-2 %.

Наиболее полно реализуются преимущества предлагаемой чувствительной защиты при ее выполнении на микропроцессорной элементной базе. Однако в эксплуатации находится большое количество защит от замыканий на землю, выполненных на реле типа РТЗ-51 (РТЗ-50), которые не сложно модернизировать. Поэтому на рис.2 приведен один из вариантов защитно-диагностирующей автоматики - принципиальная схема диагностирующей защиты от замыканий на землю (ДЗЗ), реализованной на электромеханических реле.

ДЗЗ имеет две ступени (рис.2) и работает в двух режимах: I-я ступень - чувствительная защита, т.е. сигнализация дефектов изоляции (диагностирование); II-я ступень - защита от замыканий на землю. Постоянный режим ДЗЗ - непрерывное диагностирование состояния изоляции элементов присоединения, т.е. кабеля и обмотки статора двигателя или обмотки трансформатора. В этом режиме дополнительная обмотка W_d обтекается переменным током с частотой, отличной от частоты контролируемой сети. Благодаря этому осуществляется непрерывное сканирование всех возможных областей нахождения векторов токов, протекающих через изоляцию всех трех фаз присоединения. Если величина суммарного тока, протекающего во вторичной обмотке W_2 и реле тока КА1, (частота несколько отлична от частоты сети) из-за ухудшения состояния изоляции превысит заданное значение на время больше, чем время срабатывания реле, то токовое реле КА1 сработает. Замыкание контакта КА1 приводит к срабатыванию промежуточного реле КЛ. Контакт КЛ.1 замыкается и обеспечивает самоудерживание реле КЛ, которое теперь получает питание независимо от состояния контакта реле КА1. Благодаря самоудерживанию КЛ предотвращается периодическая подача тока в дополнительную обмотку и запоминается факт срабатывания КА1. Замыкание контакта КЛ.2 приводит к срабатыванию КН1 и появлению сигнала «Снижение сопротивления изоляции». Третий контакт промежуточного реле КЛ.3 размыкает цепь дополнительной обмотки, ток в ней исчезает и вторичный ток ТТНП снижается, КА2 возвращается в несработавшее состояние. Если величина тока, протекающего в токовом реле КА1, остается достаточной для того, чтобы оно продолжало находиться в сработавшем состоянии, то это свидетельствует о возникновении замыкания на землю. В этом случае замыкание контакта КА2.1 приводит к пуску реле времени КТ1, которое начинает отсчитывать заданную выдержку времени, по истечении которой замыкает свой контакт и отключает выключатель Q присоединения.

Если же после срабатывания КЛ ток в токовом реле КА1 снижается настолько, что оно возвращается в несработавшее состояние, то это значит, что на присоединении возник дефект изоляции и отключение выключателя не требуется.

Реле тока КА2 (РТ-40/0,2) и реле времени КТ2 обеспечивают контроль наличия тока в дополнительной обмотке в нормальном режиме. Если ток протекает через токовое реле КА2, то его контакт КА2.2 шунтирует обмотку реле времени КТ2, которое благодаря этому находится в несработавшем состоянии. Если ток в дополнительной обмотке отключается автоматически после срабатывания токового реле КА1, то размыкание контакта КЛ.4 предотвращает срабатывание КТ2. Исчезновение тока в дополнительной обмотке из-за нарушения этой цепи или режима работы ее источника питания, приводит к возврату (отпаданию) только реле КА2. Поэтому размыкание контакта КА2.2 приводит к пуску реле времени КТ2, которое по истечении заданной выдержки времени срабатывает и подает сигнал «Отсутствует дополнительный ток». Отсутствие дополнительного тока не препятствует нормальной работе второй ступени ДЗЗ.

Возврат реле КЛ происходит после снятия сигнала о снижении сопротивления путем размыкания накладки SX1.

Действие первой ступени ДЗЗ при замыканиях на землю (как при внешних, так и при замыканиях на контролируемом присоединении) блокируется контактом KV₀ реле максимального напряжения нулевой последовательности, которое имеется на подстанции или специально подключается к выходу фильтра

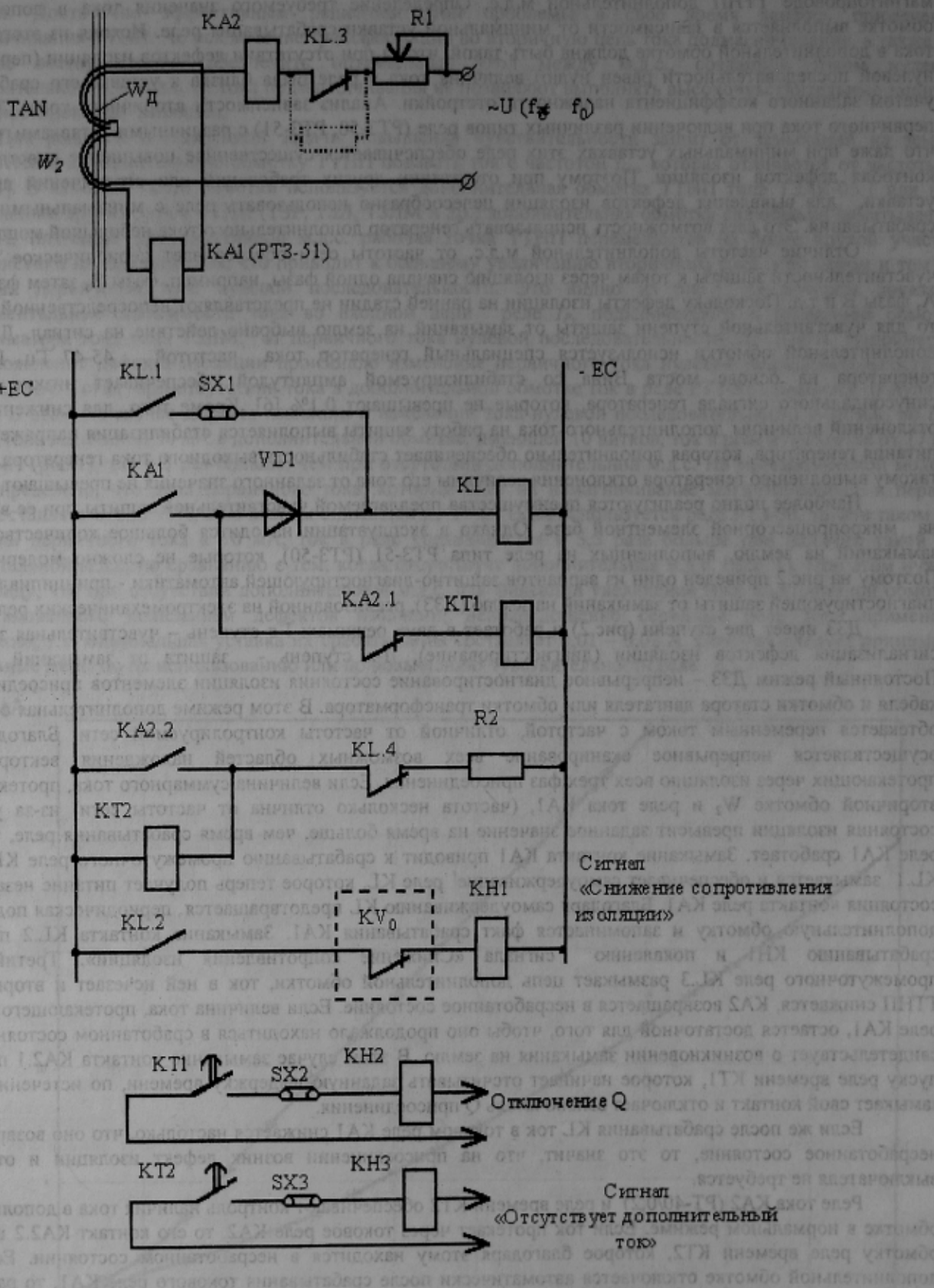


Рис. 2.-Принципиальная схема диагностирующей защиты от замыканий на землю

Действие первой ступени ДЗЗ при замыканиях на землю (как при внешних, так и при замыканиях на контролируемом присоединении) блокируется контактом KV₀ реле максимального напряжения нулевой последовательности, которое имеется на подстанции или специально подключается к выходу фильтра

напряжения нулевой последовательности. Минимальной уставке реле РН-54/60 Д в 15 вольт соответствует первичное напряжение нулевой последовательности:

$$3U_0 = U_{c.p.} \cdot k_{TV} = 15 \cdot \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 100} = 520 \text{ В.}$$

Для предотвращения действия блокировки при возникновении дефектов изоляции с меньшим сопротивлением необходимо увеличить напряжение срабатывания нулевой последовательности.

Выбор уставок срабатывания I-й и II-й ступеней ДЗЗ выполняется из условия отстройки от максимальных значений токов нулевой последовательности, протекающих через присоединение соответственно при внешнем дефекте изоляции и при внешнем замыкании на землю. Первичный ток $3I_0$ контролируемого присоединения при внешнем дефекте изоляции определяется следующим образом:

$$3I_0 = \omega C_{сoб} \cdot 3U_0, \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f_0$ - угловая частота; $C_{сoб}$ - собственная емкость фазы присоединения по отношению к земле (фазы кабеля и фазы нагрузки).

Напряжение нулевой последовательности $3U_0$ при активном сопротивлении дефекта изоляции R_d не менее 20 кОм и суммарной емкости фазы всей электрически связанной сети $C_{\Sigma} \geq 1$ мкФ достаточно точно определяются по выражению:

$$3U_0 \cong \frac{U_{\phi}}{\omega C_{\Sigma} R_d}, \quad (2)$$

где U_{ϕ} - фазное напряжение сети.

Ток $3I_0$, протекающий по контролируемому присоединению при возникновении на нем дефекта (при R_d не менее 20 кОм и $C_{\Sigma} \geq 1$ мкФ) определяется как:

$$3I'_0 = \sqrt{\left(\frac{U_{\phi}}{R_d}\right)^2 + (\omega C 3U_0)^2}. \quad (3)$$

Частота дополнительного тока выбирается такой, чтобы реле тока КА1 надежно срабатывало за время $t_{п}$ превышения вторичным током ТТНП уставки реле КА1. С учетом того, что приведенный к вторичной обмотке дополнительный ток близок к току срабатывания реле, время $t_{п}$ равно половине полупериода огибающей вторичного тока ТТНП и ориентировочно определяется:

$$t_{п} = \frac{1}{2(f_0 - f_G)}.$$

Например, при $f_0 = 50$ Гц и $f_G = 45$ Гц, получим $t_{п} = \frac{1}{2(50 - 45)} = 0,1$ с.

При напряжении срабатывания реле максимального напряжения нулевой последовательности $U_{c.p.} = 15$ В первичное напряжение нулевой последовательности равно 520 В. Из (2) найдем, что при суммарной емкости сети $C_{\Sigma} = 1 \cdot 10^{-6}$ Ф такое напряжение возникает при активном сопротивлении дефекта изоляции:

$$R_d = \frac{U_{\phi}}{\omega C_{\Sigma} 3U_0} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 520} = 21200 \text{ Ом.} \quad (4)$$

Следовательно, в случае возникновения дефекта изоляции с $R_d > 21200$ Ом должна работать I-я ступень ДЗЗ.

Рассмотрим пример расчета параметров срабатывания I-й ступени ДЗЗ. Примем, что максимальное сопротивление дефекта изоляции, при котором должна срабатывать I-я ступень ДЗЗ, равно, например $R_d = 150$ кОм, а емкость фазы контролируемого присоединения равна $0,1 \cdot 10^{-6}$ Ф. Тогда при внешнем дефекте с минимально возможным сопротивлением дефекта изоляции $R_d = 21200$ Ом, при котором может работать I-я ступень, максимальное значение тока в защите контролируемого присоединения найдем по (1):

$$3I_{0, \text{макс}} = 2\pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 520 = 0,01633 \text{ А.}$$

Ток срабатывания I-й ступени $I_{ср I}$ должен быть отстроен от полученного значения. Если коэффициент надежности отстройки κ_n принять примерно таким же как и для обычной защиты от замыканий на землю, то получим:

$$I_{ср I} = \kappa_n \cdot 3I_{0, \text{макс}} = 1,15 \cdot 0,01633 = 0,01878 \text{ А.}$$

При возникновении дефекта с $R_d = 150$ кОм на контролируемом присоединении через его защиту будет протекать ток, величину которого определим по (3):

$$3I'_0 = \sqrt{\left(\frac{3468}{150000}\right)^2 + (2\pi \cdot 50 \cdot 0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 73,6)^2} = 0,02323 \text{ А,}$$

где по выражению (2): $3U_0 = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 1 \cdot 10^{-6} \cdot 150 \cdot 10^3} = 73,6 \text{ В.}$

Коэффициент чувствительности I-й ступени ДЗЗ:

$$k_{\text{ч}} = \frac{3I'_0}{I_{\text{СР I}}} = \frac{0,02323}{0,01878} = 1,24. \quad (5)$$

Примем ток срабатывания I-й ступени равным 18,78 мА, что при $R_{\text{д}}=150 \text{ кОм}$ обеспечит коэффициент чувствительности этой ступени равным 1,24, а при меньших $R_{\text{д}}$ коэффициент чувствительности будет больше.

Чтобы при этом токе произошло срабатывание реле РТЗ-51 при его уставке $I_{\text{с.р.}}=0,02 \text{ А}$, среднем значении коэффициента трансформации ТТНП $k_{\text{ТАН}}=30$ и числе витков дополнительной обмотки $W_{\text{д}}=10$ витков, в дополнительную обмотку необходимо подать ток от генератора:

$$I_{\text{Г}} = \left(I_{\text{с.р.}} - \frac{3I'_0}{k_{\text{ТАН}}} \right) \cdot \frac{k_{\text{ТАН}}}{W_{\text{д}}} = \left(0,02 - \frac{0,01878}{30} \right) \cdot \frac{30}{10} = 0,05812 \text{ А.}$$

Полученное значение тока $I_{\text{Г}}$ устанавливается путем регулирования резистора R_1 (рис.2).

Определим более точно требуемое значение тока генератора. Величину м.д.с., которую должны создать первичный ток $3I_0$ и ток в дополнительной обмотке, чтобы сработало реле РТЗ-51, если на нем установлена минимальная уставка 20 мА, найдем по кривой 1 (рис.1): $F_{\text{СР}}=581,19 \text{ мА}$. При найденном значении тока срабатывания I-й ступени $I_{\text{СР I}}=0,01878 \text{ А}$ найдем м.д.с., которую должна создавать дополнительная обмотка: $F_{\text{д}}=0,58119 \cdot 0,01878 = 0,56241 \text{ А}$. Тогда требуемое значение тока генератора $I_{\text{Г}}=0,56241/10=0,05624 \text{ А}$. Для значения $F_{\text{д}}=0,5624 \text{ А}$ по кривой 1 (рис.1) найдем ток, который будет протекать в реле при отсутствии дефектов на присоединении: $I_{\text{р}}=19,24 \text{ мА}$, т.е. коэффициент отстройки реле от нормального режима $k_{\text{отс}}=20/19,24=1,04$. Максимально возможное увеличение тока генератора на 2% не приведет к ложному срабатыванию реле, т.к. в этом случае $F_{\text{д}}=0,5736 \text{ А}$, т.е. меньше чем м.д.с. срабатывания $F_{\text{ср}}=0,58119 \text{ А}$.

Из изложенного принципа действия I-й ступени ДЗЗ видно, что коэффициент отстройки реле тока может быть повышен за счет снижения чувствительности этой ступени защиты. Для выяснения целесообразности такого повышения проанализируем возможное влияние на работу первой ступени ДЗЗ основных факторов. При наличии внешних магнитных полей их влияние на работу защиты должно быть устранено путем экранирования ТТНП или другими способами. Неселективная также как и селективная работа I-й ступени ДЗЗ при возникновении частичных разрядов в изоляции маловероятна из-за их кратковременности. Однако срабатывание I-й ступени ДЗЗ в случае возникновения частичных разрядов на контролируемом присоединении необходимо отнести к неоспоримым достоинствам ДЗЗ. Таким образом, можно сделать вывод о том, что нет необходимости в повышении коэффициента отстройки реле тока $k_{\text{отс}}$. Справедливость этого положения должен подтвердить опыт эксплуатации ДЗЗ.

Если в выражение для определения коэффициента чувствительности (5) подставить (1) – (3), то после соответствующих преобразований получим выражение для определения коэффициента чувствительности I-й ступени ДЗЗ:

$$k_{\text{ч}} = \frac{1}{k_{\text{н}}} \cdot \frac{R_{\text{д мин}}}{R_{\text{д}}} \cdot \frac{C_{\Sigma \text{ мин}}}{C_{\text{соб}}} \sqrt{1 + \left(\frac{C_{\text{соб}}}{C_{\Sigma \text{ макс}}} \right)^2},$$

где $R_{\text{д мин}}$ – минимальное сопротивление дефекта изоляции, при котором еще должна работать I-я ступень ДЗЗ, определяется по выражению (4) при $C_{\Sigma \text{ макс}}$ по заданному напряжению срабатывания $3U_0$; $C_{\Sigma \text{ мин}}$ и $C_{\Sigma \text{ макс}}$ – соответственно минимальное и максимальное значение емкости фазы сети относительно земли. На рис.3 приведены результаты расчета коэффициента чувствительности I-й ступени ДЗЗ в зависимости от величины сопротивления в месте дефекта изоляции присоединения 6 кВ секции собственных нужд блока 300 МВт. На присоединении, имеющем наибольшее значение собственной емкости, ДЗЗ будет выявлять дефекты изоляции с сопротивлением менее 71 кОм (кривая 1, рис.3). При необходимости повышения чувствительности может использоваться вариант направленной ДЗЗ, отличительной особенностью которого является использование одного общего для всех присоединений секции специального фазочувствительного органа.

Описанный способ повышения чувствительности защит от замыканий на землю позволяет не только обеспечить выявление дефектов изоляции, но и повысить чувствительность обычных защит от замыканий на землю, т.е. второй ступени в ДЗЗ. Для этого после первого срабатывания токового реле КА1 вместо полного отключения дополнительного тока необходимо снизить величину этого тока, например путем дешунтирования контактами $KL.3$ резистора в цепи дополнительной обмотки. Соответственно необходимо выбрать ток возврата реле тока КА2, чтобы после снижения тока реле КА2 возвращалось в несработавшее состояние. Положительный эффект от применения способа в наибольшей степени проявляется для защит с трансформаторами тока типа ТЗР, поскольку обычные защиты с этими трансформаторами тока имеют самый большой ток срабатывания.

При реализации ДЗЗ на всех или нескольких присоединениях секции часть элементов схемы защиты используется одновременно для нескольких защит (генератор тока, контроль дополнительного тока).

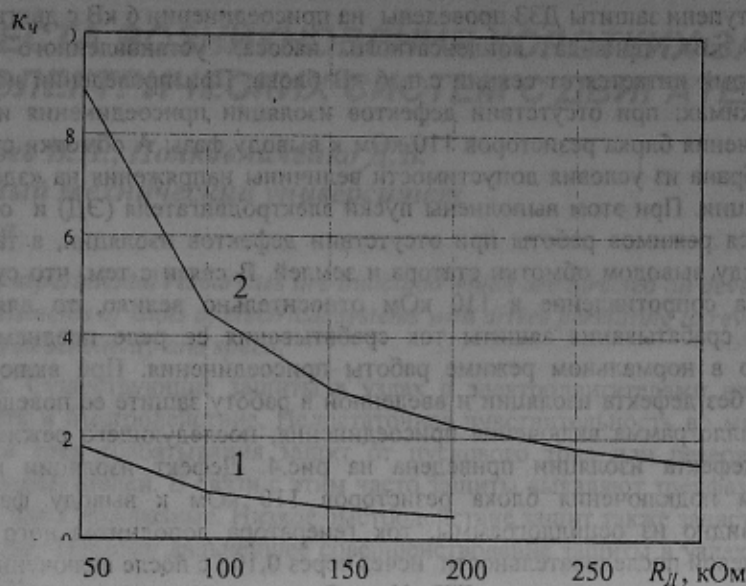


Рис. 3 - Коэффициент чувствительности 1-й ступени ДЗЗ в зависимости от величины сопротивления изоляции в месте дефекта изоляции присоединения 6 кВ собственных нужд блока 300 МВт (1-при $C_{свб} = 0,2 \text{ мкФ}$; 2- при $C_{свб} = 0,02 \text{ мкФ}$)

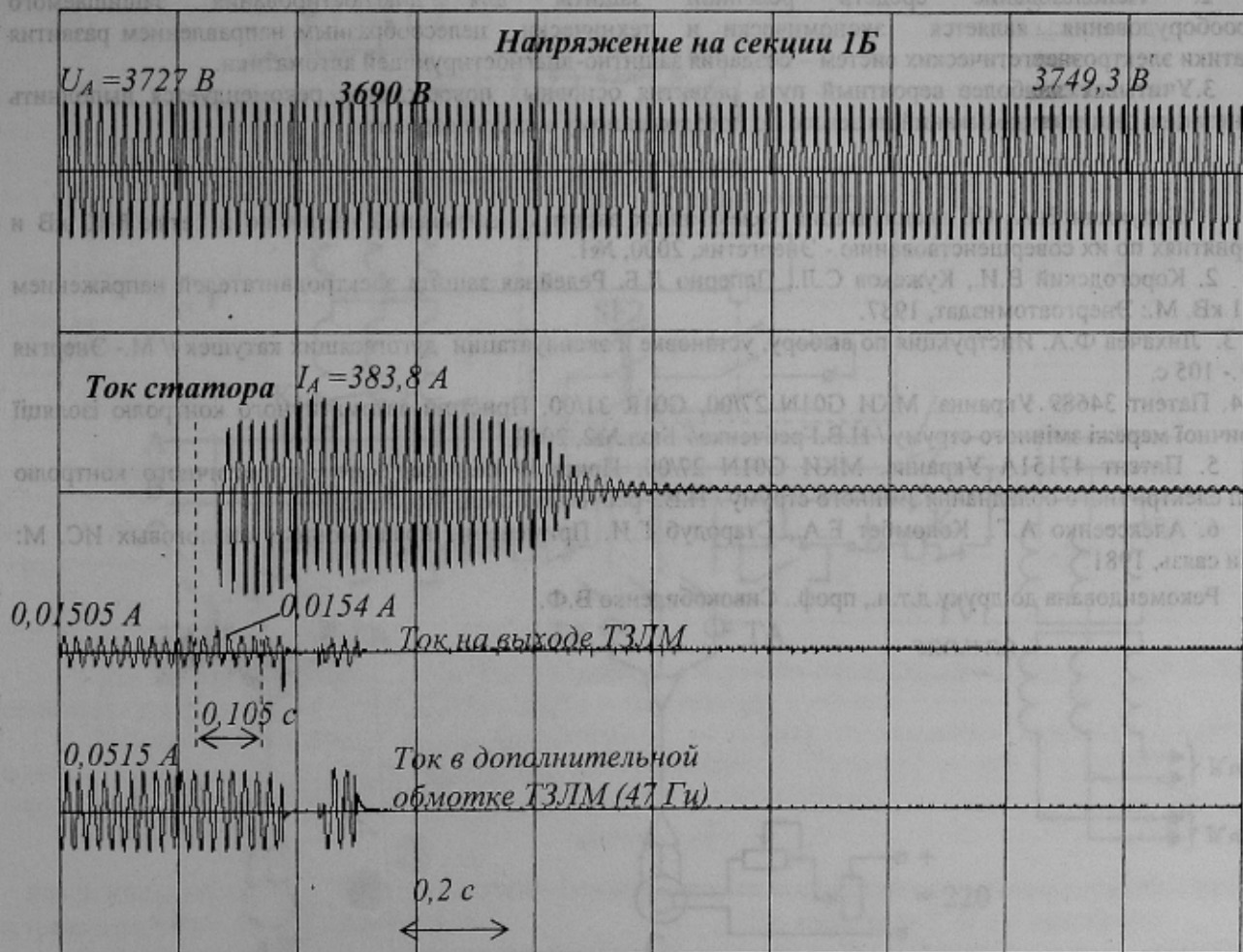


Рис.4 - осциллограмма включения присоединения 6 кв и пуска двигателя 2кн-2а при подключенном сопротивлении 110 ком между выводом фазы а обмотки статора и землей

Испытания I-й ступени защиты ДЗЗ проведены на присоединении 6 кВ с двигателем типа АОВ2-14-41-4УЗ мощностью 500 кВт привода конденсатного насоса, установленного на стенде прокрутки электродвигателей, который питается от секции с.н. 6 кВ блока. При проведении испытаний работа защиты проверялась в двух режимах: при отсутствии дефектов изоляции присоединения и при имитации дефекта изоляции путем подключения блока резисторов 110 кОм к выводу фазы А обмотки статора электродвигателя. Величина резистора выбрана из условия допустимости величины напряжения на «здоровых» фазах в режиме имитации дефекта изоляции. При этом выполнены пуски электродвигателя (ЭД) и осциллографирование его пусков и установившихся режимов работы при отсутствии дефектов изоляции, а также при подключенном резисторе 110 кОм между выводом обмотки статора и землей. В связи с тем, что суммарная емкость сети в опыте была невелика, а сопротивление в 110 кОм относительно велико, то для обеспечения наиболее благоприятных условий срабатывания защиты ток срабатывания ее реле преднамеренно был снижен до минимально возможного в нормальном режиме работы присоединения. При включении присоединения и последующем пуске ЭД без дефекта изоляции и введенной в работу защите ее поведение было правильным - она не сработала. Осциллограмма включения присоединения, последующего режима пуска ЭД и рабочего режима при наличии дефекта изоляции приведена на рис.4. Дефект изоляции искусственно создан на отключенном ЭД путем подключения блока резисторов 110 кОм к выводу фазы А обмотки статора электродвигателя. Как видно из осциллограммы, ток генератора дополнительного тока и вторичный ток трансформатора тока нулевой последовательности исчез через 0,105 с после включения присоединения. В этот момент правильно сработала первая ступень ДЗЗ. Несрабатывание защиты при протекании пусковых токов через ТТНП показывает, что I-я ступень защиты отстроена от токов небаланса.

В настоящее время проводятся работы по внедрению ДЗЗ на присоединениях собственных нужд 6 кВ Зуевской ТЭС.

Выводы

1. Для предотвращения возникновения повреждений и повышения надежности работы сетей 6-10 кВ требуется повышение чувствительности защит от замыканий на землю. Рекомендуемый первичный ток срабатывания чувствительных ступеней составляет 0,01 А.

2. Использование средств релейной защиты для диагностирования защищаемого электрооборудования является экономически и технически целесообразным направлением развития автоматики электроэнергетических систем – создания защитно-диагностирующей автоматики.

3. Учитывая наиболее вероятный путь развития основных повреждений рекомендуется выполнить модернизацию защит от замыканий на землю по предложенному в статье варианту.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борухман В.А. Об эксплуатации селективных защит от замыканий на землю в сетях 6-10 кВ и мероприятиях по их совершенствованию.- Энергетик, 2000, №1.

2. Корогодский В.И., Кужекков С.Л., Паперно Л.Б. Релейная защита электродвигателей напряжением выше 1 кВ. М.: Энергоатомиздат, 1987.

3. Лихачев Ф.А. Инструкция по выбору, установке и эксплуатации дугогасящих катушек // М.- Энергия - 1971.- 105 с.

4. Патент 34689 Украина. МКИ G01N 27/00, G01R 31/00. Пристрій автоматичного контролю ізоляції електричної мережі змінного струму / Н.В.Гребченко// Бюл.№2, 2003.

5. Патент 47151А Украина. МКИ G01N 27/00. Пристрій безперервного автоматичного контролю ізоляції електричного обладнання змінного струму / Н.В.Гребченко// Бюл. №6, 2002.

6. Алексеенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых ИС. М: Радио и связь, 1981.

Рекомендована до друку д.т.н., проф. Сивокобиленко В.Ф.