

## РЕЛЕЙНАЯ ЗАЩИТА ОТ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ С РЕЗИСТИВНЫМ ЗАЗЕМЛЕНИЕМ НЕЙТРАЛИ

Шалин А.И. д.т.н., профессор, ведущий специалист  
ООО «ПНП БОЛИД», г. Новосибирск, Россия

Наиболее частым видом повреждений в сетях 6-35 кВ являются однофазные замыкания на землю - ОЗЗ (75-90% от общего числа электрических повреждений). Они нередко приводят к крупным авариям, сопровождающимся значительными ущербами.

Замыкание фазы на землю в сетях такого напряжения могут привести к следующим неприятным последствиям.

В сети появляются *перенапряжения* порядка 2,4 – 3,5 кратных по сравнению с фазным, что может привести к пробое изоляции неповреждённых фаз и переходу ОЗЗ в «двухместное» или двойное замыканий на землю по своим характеристикам близкое к двухфазным коротким замыканиям (КЗ). Риск возникновения таких *двойных замыканий* заметно вырос в последнее время в связи со старением изоляции электрических машин и аппаратов многих энергетических объектов и отсутствием средств на их модернизацию и замену.

Возможны явления *феррорезонанса*, от которых в рассматриваемых сетях чаще всего выходят из строя трансформаторы напряжения. Иногда повреждаются и слабо нагруженные силовые трансформаторы, работающие в режиме, близком к холостому ходу.

Навоздушных ЛЭП ОЗЗ часто происходит при обрыве провода и падению его на землю. При этом возникает опасность *поражения людей и животных электрическим током*. Особенно велика такая опасность, если ЛЭП проходит по густонаселённым районам, например, по городу. Такие случаи известны на Российском Севере.

*Пробои изоляции* статорной обмотки *двигателей* на металл статора часто происходят через дугу и могут привести к значительным повреждениям не только самой обмотки, но и железа статора (вызвать «пожар железа»). «Пережог» изоляции приводит к появлению опасных витковых или междуфазных коротких замыканий. Неоднократно отмечалось, что «вторичные» пробои изоляции, возникающие после появления в сети 3-10 кВ ОЗЗ происходят именно на двигателях поскольку качество их изоляции обычно уступает качеству изоляции ЛЭП и другого оборудования.

Многие специалисты – практики, работающие на предприятиях, говорят о большом количестве повреждений на двигателях, сетуют на значительные затраты, связанные с их ремонтом и простым соответствующих механизмов. При этом подчёркивают, что двигатели отключаются защитами от междуфазных КЗ. Если учесть, что большинство этих КЗ возникают как последствия ОЗЗ, становится очевидным, что, установив в сети эффективную защиту от ОЗЗ, можно резко сократить количество КЗ на двигателях и сопутствующий им ущерб.

Перекрытие фазной изоляции на арматуру железобетонной опоры, если ЛЭП долго не отключается, может привести к *разрушению бетона опоры* в месте его соприкосновения с землёй. В результате опора теряет свою прочность и «ложится» на землю.

В результате длительного протекания тока ОЗЗ грунт возле опоры высыхает, растёт его сопротивление, в результате чего увеличивается опасность поражения людей шаговым напряжением или напряжением прикосновения.

Если ОЗЗ длительно не отключается, существенно повышается *вероятность возникновения пожаров*, например в ячейках КРУ, из-за возникновения высокотемпературной дуги в месте ОЗЗ.

В последнее время в Российских энергосистемах введено в эксплуатацию значительное количество импортных кабелей, наружная оболочка (броня) которых выполнена многожильными проводниками относительно малого суммарного сечения. Например, при сечении жилы трёхфазного кабеля в 70 мм<sup>2</sup> общее сечение брони составляет около 20 мм<sup>2</sup>. При возникновении «многоместных» замыканий на землю наружная оболочка сильно перегревается и вызывает пожар покрывающей её пластмассовой изоляции.

При дуговых замыканиях на воздушных ЛЭП наводятся значительные помехи в расположенных поблизости линиях связи (например, телефонной) и т.д.

Если в дополнение к сказанному отметить, что качественные селективные защиты от ОЗЗ по ряду причин на энергетических предприятиях отсутствуют (по данным [1] селективные токовые защиты от ОЗЗ отсутствуют на 80% подстанций России), и в сетях поиска повреждённого присоединения при ОЗЗ часто ведётся «дедовским» методом – поочерёдным отключением присоединений и затягивается на несколько часов, то становится понятным интерес специалистов – практиков к защитам от ОЗЗ.

Специалисты из проектных организации справедливо сетуют на то, что, несмотря на десятилетия эксплуатации защит от ОЗЗ, до сих пор отсутствует, например, методика расчёта уставок и проверки чувствительности направленных токовых защит от ОЗЗ. Нет даже качественной информации относительно видов и величин некоторых составляющих небаланса, которые могут оказать существенное влияние на выбор уставок таких защит. В результате из-за неправильного выбора уставок эффективность чувствительных защит от ОЗЗ дополнительно снижается.

Как правило, даже зная уставку реле, невозможно точно рассчитать ток срабатывания защиты от ОЗЗ, установленной на кабельных линиях, особенно при наличии «пучков кабелей». На практике приходится уточнять ток срабатывания путём натуральных испытаний. Известны случаи неправильной работы защиты от ОЗЗ на «пучках» кабелей, вызванные, например, нарушением контактных соединений по концам кабеля или неправильной схемой включения питающихся от такого «пучка» потребителей. Действующие сегодня рекомендации по выбору схем включения трансформаторов тока на отдельных кабелях, входящих в «пучок» устарели, их необходимо пересмотреть.

В Новосибирском государственном техническом университете и ООО «ПНП БОЛИД» выполнена разработка нового устройства защиты от ОЗЗ на «пучках» кабелей, способного предупредить персонал о том, что сопротивление контактного соединения кабеля опасно возросло. Это позволяет своевременно провести ревизию и восстановление исправности контактных соединений и исключить отказы в функционировании защиты по этой причине. Разработанное устройство может использоваться не только в сетях с резистивным заземлением нейтрали, но и в сетях с изолированной и компенсированной нейтралью. В отличие от серийно выпускаемых реле разработанное устройство способно правильно работать при наличии на кабеле прерывистой или перемежающейся дуги, что характерно для отечественных кабелей с бумаго-масляной изоляцией.

В настоящее время есть трудности с выбором уставок и проверкой чувствительности токовых защит нулевой последовательности на воздушных линиях электропередачи. В качестве источников тока нулевой последовательности здесь часто приходится использовать трёхтрансформаторные фильтры, небаланс на выходе которых может быть весьма большим, что вызывает необходимость выбора большого тока срабатывания. А при ОЗЗ на воздушных ЛЭП с падением провода на землю, как показали проведённые эксперименты, в месте замыкания могут возникать большие, порядка 5-7 кОм и более переходные сопротивления, что приводит к значительному уменьшению токов и напряжения нулевой последовательности и снижает чувствительность защиты повреждённого присоединения.

Как известно, характер процессов, протекающих в сети при ОЗЗ, в большой степени зависит от режима заземления нейтрали. В настоящее время в России используются три способа заземления нейтрали в рассматриваемых сетях: *изолированная, компенсированная и резистивно-заземлённая*, начинает применяться и четвёртый – *с резистором и дугогасящим реактором в нейтрали*.

В [1] показано, что эксплуатируемые в российских сетях с изолированной и компенсированной нейтралью защиты далеки от совершенства. Требуется разработка новых, более совершенных защит от ОЗЗ.

Опыт работы позволяет сделать вывод о том, что при сохранении традиционных способов заземления нейтрали существенного «прорыва» в этой области едва ли можно

ожидать. Принципиально новые возможности появляются при заземлении нейтрали через резистор. При этом в некоторых случаях (при больших, порядка десятков и сотен ампер, ёмкостных токах сети) резистивное заземление совмещают с включением в нейтраль дугогасящего реактора (рис.1).

Устойчивым признаком повреждённого присоединения в резистивно-заземлённой сети в соответствии с рис.2 является протекание по нему активного тока заземляющего резистора. По неповреждённым линиям протекают преимущественно реактивные токи (собственный ёмкостный ток присоединения и ток утечки по изоляции).

Ниже описаны разные способы и средства для выявления пути протекания этого тока. Во многих случаях это позволяет эффективно решить задачу селективной защиты от ОЗЗ, однако использование дугогасящих реакторов может существенно осложнить ситуацию, и в некоторых случаях, возможно, придётся для выявления повреждённого присоединения использовать другие признаки.

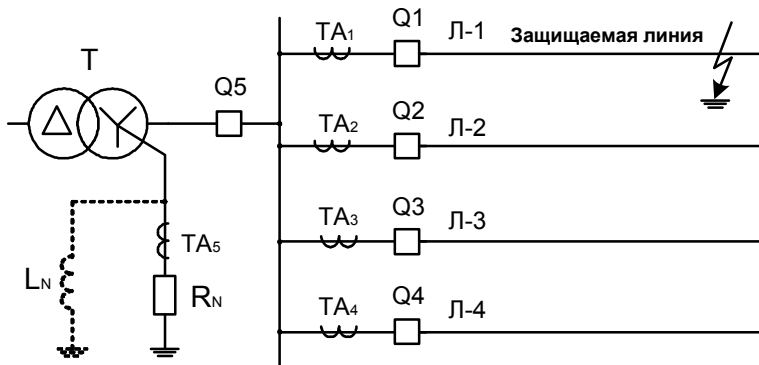


Рис.1. Схема сети

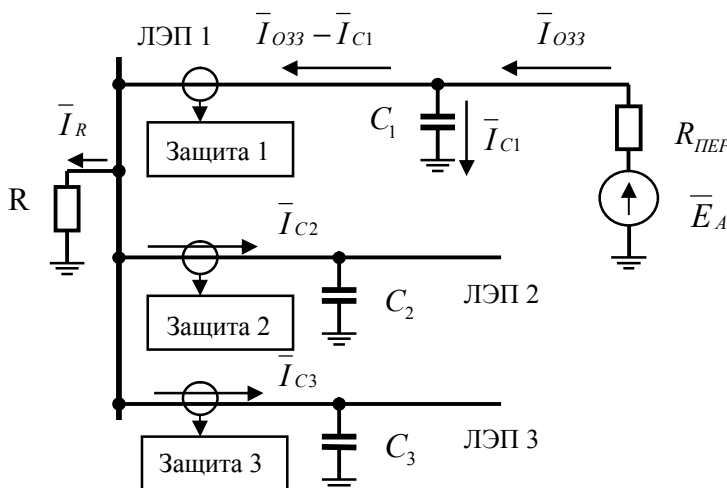


Рис.2. Распределение токов в сети с резистивным заземлением нейтрали

Введение резистивного заземления нейтрали сети снижает уровень перенапряжений, исключает явления феррорезонанса и даёт хорошие предпосылки для построения эффективной релейной защиты от ОЗЗ. Эта защита может действовать на отключение повреждённой линии или на сигнал, если такое неожиданное отключение невозможно или нежелательно.

Эффективная защита от ОЗЗ позволяет снизить опасное влияние на аппаратуру сетей 6-35 кВ тех воздействий, которые возникают при ОЗЗ. Это, в свою очередь, повысит надёжность работы двигателей, кабелей и других элементов сети и позволит продлить срок их

эксплуатации. Повышается также безопасность для людей и животных, которые могут оказаться в зоне падения провода воздушной ЛЭП.

В настоящее время в России и за рубежом применяются следующие основные разновидности защит от ОЗЗ.

1. Защиты, измеряющие напряжение нулевой последовательности.
2. Ненаправленные защиты, регистрирующие составляющую промышленной частоты тока нулевой последовательности.
3. Направленные защиты, реагирующие на составляющие промышленной частоты тока и напряжения нулевой последовательности.
4. Защиты, фиксирующие «наложенный» ток с частотой, отличной от промышленной.
5. Защиты, реагирующие на высокочастотные составляющие в токе нулевой последовательности, возникающие естественным путём.
6. Защиты, реагирующие на составляющие тока и напряжения нулевой последовательности в переходном процессе ОЗЗ.

С определёнными ограничениями перечисленные защиты могут применяться также и при резистивном заземлении нейтрали, однако, при этом имеется ряд особенностей, которые необходимо учитывать.

Защиты, измеряющие напряжение нулевой последовательности могут действовать на отключение линии с ОЗЗ в том случае, если от сборных шин подстанции отходит только одна линия. Такие объекты иногда встречаются. Совсем недавно рабочая группа ООО «ПНП БОЛИД» завершила работу по проектированию, изготовлению, монтажу, наладке и вводу в эксплуатацию заземляющих резисторов и защиты от ОЗЗ на одном таком очень ответственном и дорогостоящем объекте.

По сравнению с ненаправленными токовыми и другими защитами рассматриваемый вариант обладает существенными преимуществами – в напряжении нулевой последовательности содержится гораздо меньше высокочастотных составляющих и защита по напряжению нулевой последовательности лучше ведёт себя, например, при ОЗЗ, сопровождающихся перемежающимися и прерывистыми дугами. Ей не мешает наличие в сети дугогасящего реактора. Однако при наличии нескольких присоединений к сборным шинам такая защита может быть использована только в качестве неселективной сигнализации, т.е. сигнализировать появление в сети ОЗЗ без указания повреждённого присоединения. Именно в таком качестве она и используется в подавляющем большинстве случаев.

В некоторых случаях необходимую эффективность можно обеспечить с помощью ненаправленных токовых защит нулевой последовательности.

В первую очередь это относится к резистивно-заземлённым сетям и установкам с малыми ёмкостными токами. Если, например, речь идёт о защите кабельной сети собственных нужд электростанции, в которой установлен заземляющий резистор, а в месте ОЗЗ протекает активный ток резистора порядка 35-40 А и ёмкостные токи отдельных присоединений не превышают нескольких ампер, то здесь успешно могут быть использованы многие из известных ненаправленных токовых устройств защиты.

Второй подобный случай – это внутрицеховые сети на предприятиях, где может быть установлен дугогасящий реактор, но имеется большое количество присоединений с малым ёмкостным током. Выполнить эффективную селективную защиту без заземляющего резистора в таком случае сложно. Установив же такой резистор с током 10-15 ампер, получаем возможность на большинстве присоединений установить простую токовую защиту нулевой последовательности.

В настоящее время на российском рынке можно приобрести следующие устройства ненаправленной токовой защиты нулевой последовательности.

Защиты, построенные на отечественных реле типа РТЗ-51, блоках микропроцессорной защиты БМРЗ (например, БМРЗ-КЛ-11, БМРЗ-КЛ-36, БМРЗ-КЛ-42, БМРЗ-КЛ-51) НТЦ Механотроника, терминалах защиты SEPAM типа S20 (код ANSI 50N/51N или 50G/51G) фирмы Schneider Electric, защиты серии SPACOM, например, SPAC-800 фирмы «АББ Реле-

Чебоксары», устройства типа MiCOM P121, P122 Compact, P123 фирмы AREVA (бывшая ALSTOM), защита типа SIPROTEC 4 7SJ61 фирмы SIEMENS и т.д.

Наиболее подходящие для конкретного предприятия устройства должны выбираться с учётом местных условий и возможностей.

Ток срабатывания ненаправленных токовых защит приходится отстраивать от собственного ёмкостного тока защищаемого присоединения, поэтому на присоединениях с большими ёмкостными токами такие защиты часто оказываются нечувствительными.

Представляют существенный интерес ненаправленные токовые защиты нулевой последовательности, основанные на *«относительном замере»*, например, устройство микроконтроллерное МКЗЗП-6 фирмы «ЭСТРА» (НГТУ – г. Новосибирск). Это устройство запускается при ОЗЗ по признаку появления напряжения нулевой последовательности и сравнивает токи нулевой последовательности во всех присоединениях защищаемой системы или секции сборных шин. То присоединение, где основная гармоника тока нулевой последовательности больше, считается повреждённым. Такую защиту нельзя использовать при наличии в сети дугогасящего реактора или при малом количестве присоединений к сборным шинам (например, при двух присоединениях). При большом же количестве присоединениях защита работает весьма эффективно.

Гораздо более широкая область применения по сравнению с ненаправленными токовыми защитами у направленных токовых защит, реагирующих на основные гармонические составляющие токов и напряжения нулевой последовательности. Эти защиты отстроены от собственных ёмкостных токов защищаемых присоединений по направлению, поэтому их токи срабатывания обычно можно принять гораздо более низкими, чем у ненаправленных токовых защит. В результате направленные токовые защиты удаётся выполнить более чувствительными и эффективными.

Название «направленные защиты» относится к широкому классу устройств. Здесь защиты, реагирующие на величину тока нулевой последовательности и направление мощности, защиты, рабочей величиной которых является проекция тока нулевой последовательности на некий «характеристический угол», определяющий середину зоны срабатывания. Сюда относятся дистанционные защиты и устройства, реагирующие на отдельные составляющие или полную проводимость цепей нулевой последовательности. Разрабатываются также устройства, реагирующие на интеграл произведения мгновенных значений основных гармонических составляющих тока и напряжения нулевой последовательности и некоторые функции этих величин.

Отдельным и очень важным вопросом, который требует особого внимания, является выбор уставок и проверки чувствительности таких защит, который в настоящее время далёк от своего окончательного решения. Официально принятой методики выбора уставок таких защит в настоящее время не существует. Проектиранты вынуждены, как правило, предлагать потребителям следующий вариант поведения. Вначале на выбранных устройствах защиты устанавливаются минимальные уставки. Если в процессе эксплуатации защита работает неправильно, уставки заглубляются до тех пор, пока неправильные действия не прекратятся. Такие рекомендации существенно усложняют эксплуатацию защит и снижают их эффективность. Изначально предполагается, что на первом этапе эксплуатации защита будет часто срабатывать неправильно.

Большинство разработчиков и изготовителей направленных токовых защит от ОЗЗ в рекламных материалах указывают максимально возможную чувствительность своих устройств как реально пригодную к использованию на практике. Речь часто идёт о том, что предлагаемые устройства способны чувствовать первичные токи ОЗЗ порядка 0,2-0,3 ампера. Такие данные только вводят в заблуждение проектантов и заказчиков защитных устройств, поскольку не учитывают реальных условий эксплуатации. Дело в том, что в реальной сети постоянно присутствуют разного рода небалансы, т.е. в неповреждённой сети имеются такие сигналы, которые воспринимаются защитами как признак возникновения ОЗЗ. Эти небалансы могут появляться на короткое или продолжительное время и в определённых пределах

изменяться по величине. Сеть как бы «живёт и дышит». Если не учесть этих особенностей, то обеспечить высокую эффективность защиты не удастся. В настоящее время нет методики расчёта этих небалансов. Нет даже достаточно полного представления о некоторых причинах их возникновения.

В ООО «ПНП БОЛИД» в проводятся исследования причин возникновения таких небалансов, накоплен некоторый опыт по их учёту в процессе проектирования защит от ОЗЗ.

В настоящее время на российском рынке можно приобрести следующие устройства направленной токовой защиты нулевой последовательности, которые могут быть использованы в сетях с резистивным заземлением нейтрали.

Реле типа ЗЗН производства ЧЭАЗ, микропроцессорное устройство БМРЗ НТЦ Механотроника, реле защиты типа ЗЕРО, производимое компанией «Объединённая энергия» (г. Москва), терминал защиты SEPAM типа S41 (код ANSI 67N/67NC) фирмы Schneider Electric, защиты серии MiCOM модели - P141, P142 и P143 фирмы AREVA, защиты серии SPACOM, например, SPAC-800 фирмы «АББ Реле-Чебоксары», защита нулевой последовательности типов УЗЛ-1 и УЗЛ-2 производства НГТУ (г. Новосибирск) и т.д.

Ранее уже отмечалось, что существенные сложности возникают в защите от ОЗЗ воздушных линий электропередачи. При обрыве провода такой ЛЭП в месте ОЗЗ иногда возникают переходные сопротивления порядка нескольких килоом. Напряжения и токи нулевой последовательности при этом сильно уменьшаются, причём степень снижения этих рабочих сигналов зависит от величины переходного сопротивления и основных характеристик сети (ёмкость относительно земли, параметры заземляющих резисторов и т.д.). При больших переходных сопротивлениях рабочие сигналы защиты от ОЗЗ становятся соизмеримыми с небалансами, существующими в сети, и от которых защита должна быть отстроена. Значения этих небалансов ограничивают минимальные ток и напряжение срабатывания защиты. Отсюда ясно, что невозможно выполнить направленную токовую защиту от ОЗЗ, которая правильно работала бы во всех без исключения случаях, например, при падении провода на сухой снег зимой или сухой песок или скальный грунт летом и т.д. В то же время в ряде случаев оставлять лежащий на земле и находящийся под напряжением провод невозможно по условиям электробезопасности. Ранее уже отмечалось, что в России реально существуют такие городские сети, где воздушные ЛЭП напряжением 10 кВ проведены по городской территории. Имеются сети 35 кВ с воздушными линиями, расположенными в густонаселённых районах.

Выходом из создавшегося положения может служить комбинация защит, работающих на разных принципах. Например, можно совместно использовать направленную токовую защиту нулевой последовательности и защиту, реагирующую на ток обратной последовательности. Защита нулевой последовательности будет в пределах своей чувствительности реагировать на ОЗЗ с «не очень большими», например, порядка единиц килоом переходными сопротивлениями. Защита же по току обратной последовательности будет отключать воздушную линию при обрыве её провода.

Однако установка защиты от обрывов, реагирующей на ток обратной последовательности, не всегда эффективна на ЛЭП, имеющих малые токи нагрузки в нормальном режиме работы. Удачное решение предлагаемой задачи имеется, например, в защите от ОЗЗ типа P-142 фирмы AREVA. Здесь есть специальная опция обнаружения обрыва проводов воздушных ЛЭП. Защита содержит элемент, который измеряет отношение токов обратной последовательности и прямой последовательности ( $I_2 / I_1$ ). Оно будет меняться в меньшей степени, чем измерение тока обратной последовательности, так как отношение почти неизменно при изменении тока нагрузки. Следовательно, можно получить более низкую уставку и чувствительную защиту. Для успешной работы защиты требуется минимальное значение тока обратной последовательности, равное 8 % от тока прямой последовательности.

Область применения направленных защит от ОЗЗ – сети с изолированной и резистивно-заземлённой нейтралью.

Если в сети установлены дугогасящие реакторы, то направленные и ненаправленные токовые защиты в большинстве случаев становятся неэффективными.

Хороший эффект в таких случаях могут дать, например, защиты, фиксирующие наложенный ток с частотой, отличной от промышленной. Источник наложенного тока частотой, например, 25 герц включают при этом в нейтраль сети и фиксируют токи частотой 25 герц в защищаемых присоединениях [2, 3].

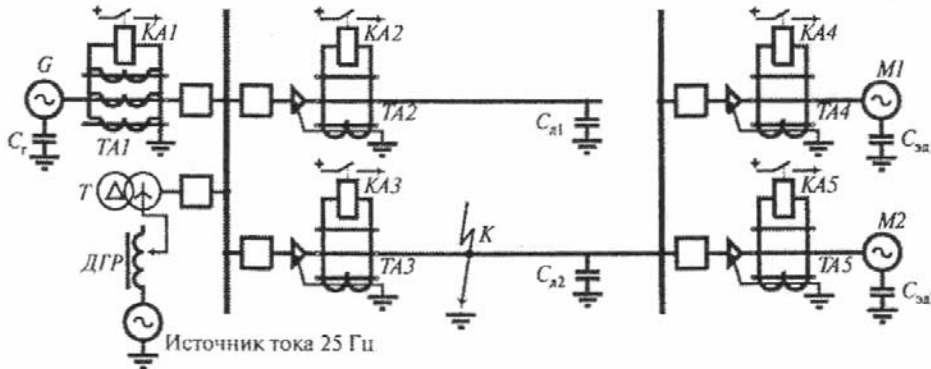


Рис.3. Защита с использованием «наложенного» тока

В установившемся режиме ОЗЗ действие защит линий и генераторов обеспечивается за счет искусственного наложения контрольного тока с частотой 25 Гц. В качестве источника контрольного тока используется электромагнитный параметрический делитель частоты. Выходная обмотка делителя частоты включается последовательно с первичной обмоткой ДГР. При использовании в сети нескольких ДГР их выходы со стороны земли объединяются и подключаются к контуру заземления через выходную обмотку делителя частоты. Защита ЛЭП выполняется с использованием специальных полупроводниковых фильтровых реле тока с рабочим диапазоном в области низких частот, подключаемых к кабельным ТТНП.

Различие по частоте тока небаланса фильтра токов нулевой последовательности (50 Гц и гармоники, кратные трем) и воздействующей величины (25 Гц) упрощает отстройку защиты от небаланса и позволяет избежать загробления защиты по первичному току.

Недостатками устройств, основанных на использовании "наложенного" тока с частотой 25 Гц, являются влияние на устойчивость функционирования защиты погрешностей трансформаторов тока нулевой последовательности, возрастающих при уменьшении рабочей частоты; усложнение схемы первичной коммутации из-за необходимости подключения источника "наложенного" тока; трудности подключения источника вспомогательного тока при использовании в сети нескольких ДГР, установленных на разных объектах; сложности отстройки от естественных гармонических составляющих при внешних дуговых перемежающихся ОЗЗ, при которых спектр тока зависит от параметров сети и режима заземления ее нейтрали; положения точки ОЗЗ в сети и других факторов.

В сетях с дугогасящими реакторами используются также защиты, реагирующие на высокочастотные составляющие в токе нулевой последовательности, возникающие естественным путём.

Наиболее широкое применение в компенсированных сетях 6 - 10 кВ получили токовая защита абсолютного замера, основанная на измерении уровня высших гармоник в токе  $3I_0$  защищаемого присоединения и сравнении его с заданной уставкой, и токовая защита относительного замера, основанная на сравнении уровней высших гармоник в токах нулевой последовательности всех присоединений защищаемого объекта.

Токвые устройства абсолютного замера мало эффективны в условиях нестабильности состава и уровня высших гармоник в токе нулевой последовательности, что особенно характерно для сетей 6 - 10 кВ систем электроснабжения промышленных предприятий.

Токвые устройства абсолютного замера мало эффективны в условиях нестабильности состава и уровня высших гармоник в токе нулевой последовательности, что особенно

характерно для сетей 6 - 10 кВ систем электроснабжения промышленных предприятий. В [4] показано, что условия селективности несрабатывания при внешних ОЗЗ и устойчивости срабатывания при внутренних повреждениях для устройств абсолютного замера высших гармоник обеспечиваются в основном на крупных подстанциях и электростанциях с большим числом присоединений. Область применения централизованных токовых устройств относительного замера значительно шире и в основном ограничивается погрешностями кабельных ТТП [5].

В настоящее время на российском рынке можно приобрести следующие устройства защиты, реагирующие на высокочастотные составляющие в токе нулевой последовательности.

*Токовые защиты абсолютного замера:* устройство типа УСЗ-2/2 производства ЧЭАЗ, микропроцессорные устройства «Сириус» производства выпускаемые НПФ «Радиус» [6], микропроцессорные устройства SPAC 801-013, SPAC 801-113, ООО «АББ Реле-Чебоксары» [7], устройства защиты MICOM P120/121/122/123, P-125, P-126, P-127, P-141, P-142, P-143 фирмы AREVA [8, 9].

*Токовые защиты относительного замера:* устройство УСЗ-3М, выпускаемые ЧЭАЗ (обслуживается вручную и поочередно подключается к трансформаторам тока всех присоединений секции или системы сборных шин), устройства сигнализации ОЗЗ типа КДЗС-2, разработанные СКТБ ВКТ Мосэнерго (автоматически сравнивающие значения высших гармоник). Во ВНИИЭ разработано автоматическое централизованное устройство относительного замера уровней высших гармоник, названное ПАУК [10], использующее принцип параллельного сравнения значений входных сигналов с помощью измерительного органа, выполненного на базе максиселектора.

Микропроцессорные устройства SPAC 801-013, SPAC 801-113, ООО «АББ Реле-Чебоксары» [7] также способны выполнять относительный замер высших гармоник при условии установки АСУ высшего уровня, в которые заводятся сигналы от отдельных микропроцессорных терминалов SPAC. Следует отметить, что такое решение с одной стороны позволяет выполнить не только защиту от ОЗЗ, но и эффективные защиты от междуфазных замыканий, но, с другой стороны, требует значительных капитальных вложений.

*Устройства, реагирующие на составляющие тока и напряжения нулевой последовательности в переходном процессе ОЗЗ.*

Устройства защиты и сигнализации ОЗЗ, основанные на использовании электрических величин переходного процесса, разрабатывались в России и других странах прежде всего для решения проблемы селективной сигнализации ОЗЗ в компенсированных сетях. По принципу действия устройства подобного типа могут быть использованы также в сетях с изолированной нейтралью или с высокоомным заземлением нейтрали через резистор.

Исследования и опыт применения защит от ОЗЗ, реагирующих на переходный процесс, показали, что наибольшую универсальность могут обеспечить устройства, в которых определение поврежденного присоединения осуществляется с использованием следующих двух способов:

- сравнения амплитуд переходных токов в присоединениях защищаемого объекта;
- определения знака мгновенной мощности нулевой последовательности (НП) в начальной стадии переходного процесса.

На основе первого из указанных способов выполняются централизованные токовые устройства относительного замера. По второму способу могут быть получены направленные централизованные и автономные (индивидуальные) устройства защиты от ОЗЗ.

К наиболее известным в России разработкам направленных импульсных защит от ОЗЗ относятся [11]:

- автономные устройства направленной волновой защиты типа ИЗС и УЗС-01, разработанные ЭНИН [12-16];
- централизованное направленное устройство сигнализации ОЗЗ (ЦНУСЗ) "Импульс", разработанное и выпускаемое ИГЭУ [17,18];



- автономное устройство направленной защиты типа КЗЗП, разработанное в Донецком политехническом институте [19,20] и его микроэлектронный аналог — устройство типа ПЗЗМ, разработанное предприятием НТБЭ (Екатеринбург).

Указанные выше автономные и централизованные устройства защиты от ОЗЗ реагируют только на электрические величины переходного процесса и поэтому не обладают свойством непрерывности действия при устойчивых замыканиях на землю. Свойство непрерывности действия при устойчивых повреждениях необходимо, прежде всего, для защит с действием на отключение (например, для упрощения согласования защит по времени срабатывания, учитывая, что напряжение  $3U_0$  не сразу исчезает в сети после отключения поврежденного участка). При выполнении защиты от ОЗЗ с действием на сигнал свойство непрерывности действия упрощает поиск поврежденного участка методом оперативных переключений в сети.

На взгляд авторов [5], наиболее эффективное и универсальное решение в части защит от ОЗЗ с действием на отключение для компенсированных сетей 6 - 10 кВ может быть получено на основе следующих принципов: - направленность в переходных и установившихся режимах ОЗЗ;

- селективность и высокая устойчивость функционирования при всех разновидностях ОЗЗ, включая дуговые прерывистые и дуговые перемежающиеся замыкания;

- возможность фиксации кратковременных самоустраняющихся пробоев изоляции;

- непрерывность действия при устойчивых ОЗЗ.

Эти принципы реализованы в автономном направленном устройстве защиты от ОЗЗ типа "Спектр", выполненном на микроэлектронной элементной базе [21, 22].

Устройство "Спектр" предназначено для выполнения защиты от ОЗЗ с действием на отключение или на сигнал, прежде всего в сетях, работающих с компенсацией емкостных токов. Однако высокая чувствительность устройства по первичному току высших гармоник (до 20 мА в рабочем диапазоне частот) и высокая степень отстройки с помощью фильтров в каналах тока и напряжения НП от влияния составляющих промышленной частоты обеспечивают возможность применения его не только в компенсированных сетях, но и в сетях, работающих с изолированной нейтралью или с высокоомным заземлением нейтрали через резистор.

На переходные составляющие ОЗЗ способен реагировать терминал защиты SEPAM типа S41 (код ANSI 67N/67NC) фирмы Schneider Electric. Достоинством такого решения является то, что этот терминал способен обеспечить как защиты от междуфазных КЗ, так и ненаправленную и направленную токовую защиту от ОЗЗ, реагирующие на установившиеся составляющие токов и напряжения нулевой последовательности. В настоящее время на Российском рынке появляются новые модификации терминалов защиты SEPAM типа S80 (код ANSI 67N/67NC) фирмы Schneider Electric, являющиеся дальнейшей модификации описанных выше терминалов серии S40.

## 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. С.20-22.

2. Вайнштейн Р.А., Головки С.И. Григорьев В.С. и др. Защита от замыканий на землю в компенсированных сетях // Электрические станции. 1998. №7. С. 26-30.

3. Вайнштейн Р.А., Головки С.И., Коберник Е.Д. Защита от замыканий на землю обмотки статора генераторов, работающих на сборные шины // Электрические станции. 1981. №10. С.54-56.

4. Кискачи В.М. Селективная сигнализация замыканий на землю с использованием высших гармоник // Электричество. 1967, №9. С.24-29.

5. Шуин В.А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ. – М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001 г. 104 с.

6. Устройство микропроцессорной защиты «Сириус-2-Л». ЗАО «РАДИУС Автоматика». Техническое описание, инструкция по эксплуатации, паспорт. Москва, 2002.
7. Комплектное устройство защиты и автоматики линии 6-10 кВ SPAC 801-013. Техническое описание и инструкция по эксплуатации, 2000.
8. Универсальные устройства защиты MICOM P120/121/122/123. Технические материалы фирмы ALSTOM.
9. Серия направленных/ненаправленных токовых реле MiCOM P125, P126, P127. Технические материалы фирмы ALSTOM.
10. Гельфанд Я.С. Релейная защита электрических сетей. 2-е изд. М.: Энергоатомиздат, 1987.
11. Борухман В.А. Об эксплуатации селективных защит от замыканий на землю в сетях 6-10 кВ и мероприятиях по их совершенствованию // Энергетик, 2000, №1. С.20-22.
12. Попов И.Н., Соколова Г.Н., Махнев В.И. Импульсная защита электрических сетей от замыканий на землю типа ИЗС // Электрические станции. 1978. № 4. С. 69-73.
13. Попов И. Н., Соколова Г. В. Устройство сигнализации замыканий на землю с импульсным реле направления мощности / В кн.: "Сигнализация замыканий на землю в компенсированных сетях". М.: Госэнергоиздат, 1962. С. 12 — 39.
14. Попов И. Н., Соколова Г. В. Импульсные устройства защиты от замыканий на землю компенсированных сетей / В кн.: Новые устройства защиты и противоаварийной автоматики. Вып. 1. М.: Информстандартэлектро, 1968. С. 34 — 43.
15. Лачугин В. Ф. Направленная импульсная защита от замыканий на землю // Энергетик. 1997. №9. С. 21.
16. Устройство направленной волновой защиты от замыканий на землю воздушных и кабельных линий 6 - 35 кВ типа УЗС-01. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. Казань: Энергосоюз, 1998.
17. Шуин В. А., Гусенков А. В., Дроздов А. И. Централизованное направленное устройство сигнализации однофазных замыканий на землю с использованием переходных процессов // Электрические станции. 1993. № 9. С. 53 — 57.
18. Устройства сигнализации и защиты от однофазных замыканий на землю в компенсированных кабельных сетях / В. А. Шуин, А. В. Гусенков, А. Ю. Мурзин и др. // Энергетическое строительство. 1993. № 10. С. 35 — 39.
19. Дударев Л.Е., Зубков В.В. Комплексная защита от замыканий на землю // Электрические станции. 1981. № 7. С. 59-61.
20. Дударев Л. Е, Зубков В. В. Устройство универсальной комплексной защиты от замыканий на землю для сетей 6 - 35 кВ // Промышленная энергетика. 1982. № 4. С. 36 - 38.
21. Устройства сигнализации и защиты от однофазных замыканий на землю в компенсированных кабельных сетях / В. А. Шуин, А. В. Гусенков, А. Ю. Мурзин и др. // Энергетическое строительство. 1993. № 10. С. 35 — 39.
22. Устройства сигнализации и защиты от однофазных замыканий на землю в компенсированных кабельных сетях / В. А. Шуин, А. В. Гусенков, А. Ю. Мурзин и др. // Энергетическое строительство. 1993. № 10. С. 35 — 39.