

Усовершенствование дифференциально-фазной защиты

Валерий ЕФРЕМОВ,
директор Центра применения продукции, к.т.н.,
Николай ПОДШИВАЛИН, директор Центра разработки ПО, к.т.н.,
Юрий РОМАНОВ, завсектором, к.т.н.,
ООО «Исследовательский центр «Бреслер»

Дифференциально-фазная защита (ДФЗ), разработанная более 70 лет назад [1], практически без изменений и сегодня эффективно используется в энергосистемах России.

Известно, что сам дифференциально-фазный принцип наряду с очевидными преимуществами имеет ряд недостатков, основной из которых заключается в существовании вероятности отказа в действии в случаях сложных видов повреждений, например в режиме одновременного замыкания и обрыва фазы линии электропередачи (ЛЭП). Такая ситуация ограничивает внедрение ДФЗ на линиях с пофазным управлением выключателями, поэтому разработчикам приходится вносить в защиты дополнительные фазные реле сопротивления, которые из-за вынужденной отстройки от субгармонических составляющих на отключённой с двух сторон фазе имеют большое время срабатывания (до 100 мс и более).

Важным условием применения дифференциально-фазного принципа является его селективная работа в режиме реверса тока (мощности) в защищаемой линии, когда из-за различий протекания переходных процессов в элементах полуккомплектов защит при изменении направления тока в ВЧ-сигнале появляются условия, достаточные для неселективного срабатывания ДФЗ. Особенно такая ситуация вероятна, когда микропроцессорная ДФЗ и электромеханическая ДФЗ на разных концах одной и той же линии работают совместно. К тому же низкий коэффициент возврата токовых измерительных органов электромеханической ДФЗ и большое время их отпускания могут вызвать неселективное действие в результате отключения внешнего КЗ. Для отстройки от избыточных срабатываний в этих режимах в защиты вынужденно вводят дополнительные задержки на отключения, что в результате постоянного увеличения токов короткого замыкания приводит к увеличению теплового и динамического воздействия токов короткого замыкания на первичное оборудование.

Ниже описываются алгоритмы ДФЗ, которые лишены указанных недостатков. Для исследования проблем применены методы информационного анализа [2].

ПРОБЛЕМА 1. НЕСЕЛЕКТИВНАЯ РАБОТА ДФЗ В РЕЖИМЕ РЕВЕРСА МОЩНОСТИ В ЗАЩИЩАЕМОЙ ЛИНИИ. ЗАДЕРЖКИ НА ОТКЛЮЧЕНИЕ

В современных версиях микропроцессорных (МП) защит с абсолютной селективностью (ДФЗ, направленная ВЧ-защита) российского произ-

водства при внешних повреждениях в канале наблюдается сплошной ВЧ-сигнал, который может служить индикатором повреждения вне зоны защиты. В дифференциально-фазных защитах появление пауз в длительном сплошном ВЧ-сигнале на входе МП ДФЗ приводит к дополнительному блокированию защиты посредством выдачи «сплошного» сигнала с выхода программируемого элемента времени, работающего на возврат. Уставка срабатывания такого элемента времени определяется длительностью переходного процесса в фильтрах симметричных составляющих МП ДФЗ и с учётом запаса не должна превышать 25 мс (у электромеханических ДФЗ длительность переходного процесса намного короче). В существующей реализации происходит блокирование только собственного срабатывания полуккомплектов. Возникающие же в ВЧ-сигнале паузы в рассматриваемых режимах иногда приводят к неселективной работе ДФЗ-201. Чтобы исключить неселективное действие ДФЗ-201, в РАО ЕЭС России был выпущен циркуляр [3], который предписывал вносить задержки в цепи отключения защиты. Задержка на отключение автоматически вводится и в случае повреждения в зоне действия защиты, тем самым увеличивая время устранения аварии. Во ВНИИЭ разработано устройство, которое способно определять внешние КЗ и только при этом вносить задержки в цепи отключения. Однако в сетях 110–220 кВ оно практически не встречается.

На рис. 1 представлена усовершенствованная логическая схема для отстройки от режимов реверса мощности (тока).

В предлагаемой схеме с помощью выдержки времени на срабатывание DT1 фиксируется сплошной ВЧ-сигнал в канале (кратковременные паузы в ВЧ-канале длительностью до 1–2 мс ликвидируются элементом времени на возврат DT0), что является фактором наличия внешнего КЗ в системе. После отключения выявленного повреждения МП защита срабатыванием DT2 блокирует посредством ВЧ-канала не только себя, но и защиту противоположного конца линии.

Рис. 1. Усовершенствованная логическая схема отстройки от реверса мощности

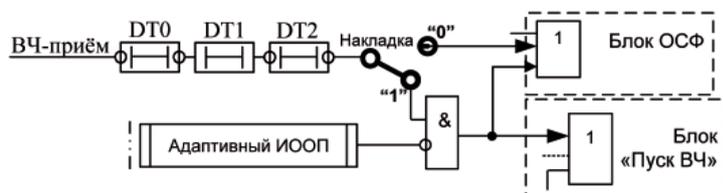
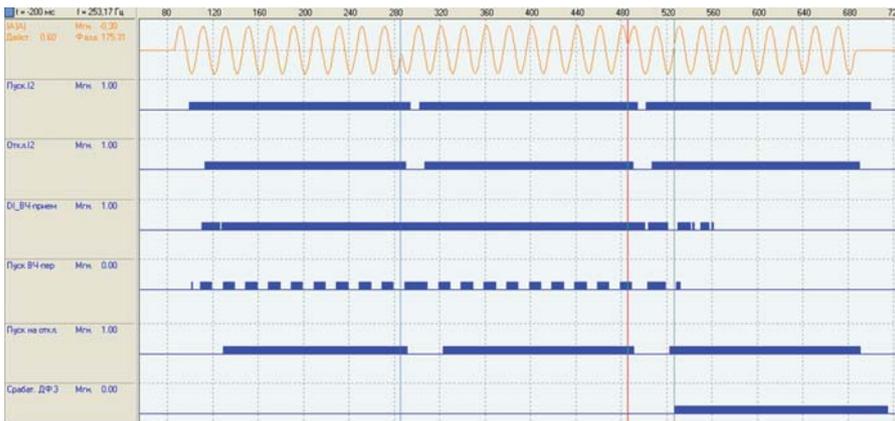


Рис. 2. Осциллограмма работы ДФЗ в режиме реверса мощности



Наиболее сложной задачей в этой ситуации является быстрое отключение «вторичных КЗ» на своей линии, возникающих в местах с ослабленной изоляцией во время протекания по защищаемой линии токов внешнего КЗ. Здесь можно рассмотреть несколько возможных случаев:

- внутреннее «вторичное КЗ» появляется раньше набора уставки элементом времени $DT1$ ($t < t_{устDT1}$). В этом случае ДФЗ работает без задержек, как в случае повреждения в зоне;
 - внутреннее «вторичное КЗ» появляется по истечении выдержки времени $DT1$. В этом случае следует мгновенно снять блокировку защит по ВЧ-каналу и дать работать органу сравнения фаз для обеспечения селективной работы защиты. В качестве критерия выявления «вторичного КЗ» на защищаемой линии предлагается использовать адаптивный к току внешнего КЗ измерительный орган (ИО) тока обратной последовательности («адаптивный ИООП» на рис. 1). Появление сигнала срабатывания этого ИО в момент истечения выдержки элемента времени $DT2$ приводит к деблокировке обоих полукомплектов ДФЗ линии и определению защитой факта внутреннего повреждения. В случае несрабатывания реле тока в режиме внутреннего «вторичного КЗ» из-за малого значения тока ДФЗ будет отключать линию с дополнительной задержкой до 20 мс;
 - наиболее неблагоприятным является случай внешнего «вторичного КЗ» с увеличением тока, превышающим адаптивную уставку реле тока обратной последовательности (внешнее «вторичное КЗ» вблизи шин полукомплекта ДФЗ-201). Одновременно с этим необходимо, чтобы было изменение направления тока в полукомплектах защит, что практически невозможно, т.е. здесь не будет провалов в ВЧ-сигнале. Наличие на обоих концах ЛЭП микропроцессорной ДФЗ решает эту задачу безусловно.
- Основное достоинство предлагаемой схемы заключается в обеспечении селективной работы полукомплектов ДФЗ в режимах реверса мощности в энергосистеме только с одним полукомплексом МП ДФЗ на линии и без задержек на отключение в случае возникновения первичных и вторичных КЗ на защищаемой ЛЭП.

На рис. 2 приведена осциллограмма совместной работы полукомплектов ДФЗ-201 и МП ДФЗ «Бреслер ШЛ 2604» на разных концах линии, где зафиксированы двойное изменение направления мощности и «вторичное» повреждение на защищаемой линии.

ПРОБЛЕМА 2. ОТКАЗ РАБОТЫ ДФЗ ПРИ СЛОЖНЫХ ВИДАХ ПОВРЕЖДЕНИЙ

Проведённые ещё в 1941 г. Г.И. Атабековым исследования [1] показали, что в режиме однофазного КЗ с обрывом фазы в зависимости от параметров системы могут иметь место неблагоприятные с точки зрения чувствительности ДФЗ фазовые соотношения между токами одной и той же последовательности по обе стороны от места повреждения. Оказалось, что, когда ЭДС эквивалентных источников равны, фазовый сдвиг между одноимёнными симметричными составляющими тока всецело зависит от отношения сопротивлений прямой (обратной) Z_{11} и нулевой Z_{01} последовательностей участка электропередачи с той стороны, где заземлена фаза. Если $Z_{11} > Z_{01}$, то токи прямой и обратной последовательностей по концам повреждённого участка совпадают по фазе, а токи нулевой последовательности сдвинуты на 180° . Если $Z_{11} < Z_{01}$, то токи нулевой последовательности совпадают по фазе, а токи прямой и обратной последовательностей сдвинуты на 180° .

Относительно предотвращения отказа ДФЗ в режиме однофазного КЗ в зоне с одновременным обрывом фазы заслуживает внимания идея, заключающаяся в останове ВЧ-передатчика, когда в защищаемой линии выявляется обрыв. Вместе с тем если обрыв «за спиной», то имеет смысл, наоборот, блокировать защиты посредством посылы в канал сплошного ВЧ-сигнала. В результате МП ДФЗ, реагирующая на сложные виды повреждений, окажется эффективной только с использованием модифицированных защит по обоим концам ЛЭП, иначе могут наблюдаться случаи неселективной работы в режиме КЗ с обрывом вне зоны.

В результате проведённых с применением метода информационного анализа исследований выяснилось, что блок защиты от однофазных КЗ на землю с обрывом особой фазы можно построить на основе двух измерительных органов (рис. 3):

Рис. 3. Логическая схема модуля защиты, реагирующего на КЗ с обрывом особой фазы

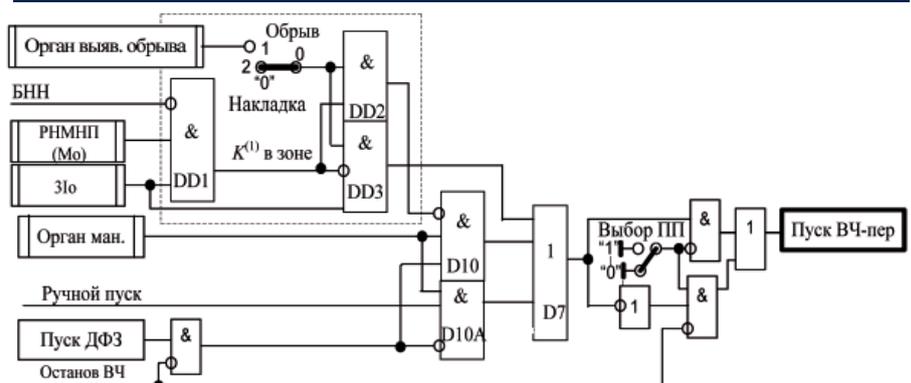
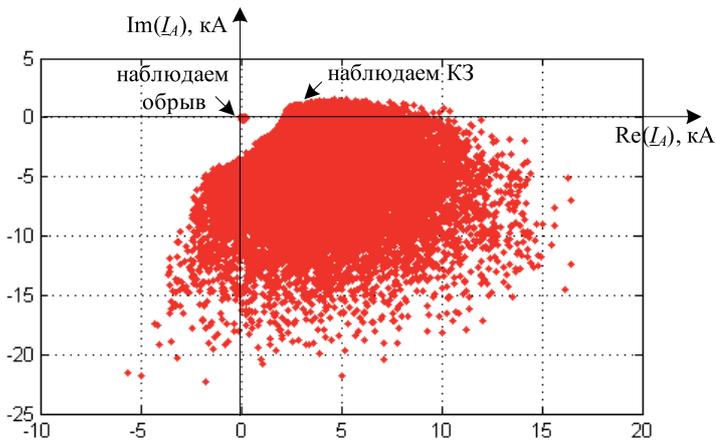


Рис. 4. Ток в повреждённой фазе (фаза тока считается относительно U_A) при $K_A^{(1)}$ с обрывом, расположенным относительно места наблюдения тока после или перед КЗ



- измерительного органа выявления обрыва;
- реле направления мощности нулевой последовательности (РНМНП), которое контролируется ИО тока нулевой последовательности.

Существует по крайней мере два варианта построения ИО выявления обрыва:

- по уровню фазных токов;
- с помощью избирателя повреждённых фаз (фазового селектора).

В первом случае следует отстраиваться от токов в линиях, имеющих значительную нагрузку на ответвительных подстанциях (рис. 4).

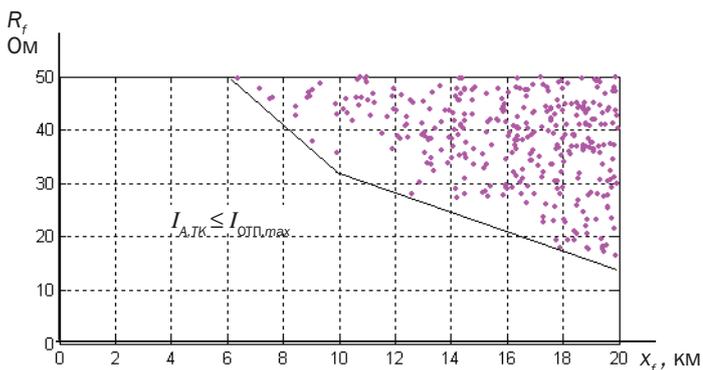
Одновременно нужно учитывать, что обрыв может быть избыточно выявлен в случае однофазного КЗ через некоторое большое переходное сопротивление (рис. 5), где $I_{отп, max}$ — максимально возможный ток в отпайке, выделенная область — область избыточного выявления обрыва по уровню фазного тока. Это, однако, не лишает защиты селективности.

Во втором случае возможны сложности реализации фазового селектора.

Логично предположить, что наилучший эффект может быть достигнут путём объединения обоих способов.

Как показали исследования, для однофазного замыкания на землю [$K^{(1)}$] с обрывом можно построить изби-

Рис. 5. Пример области избыточного срабатывания органа выявления обрыва при $K_A^{(1)}$ без обрыва

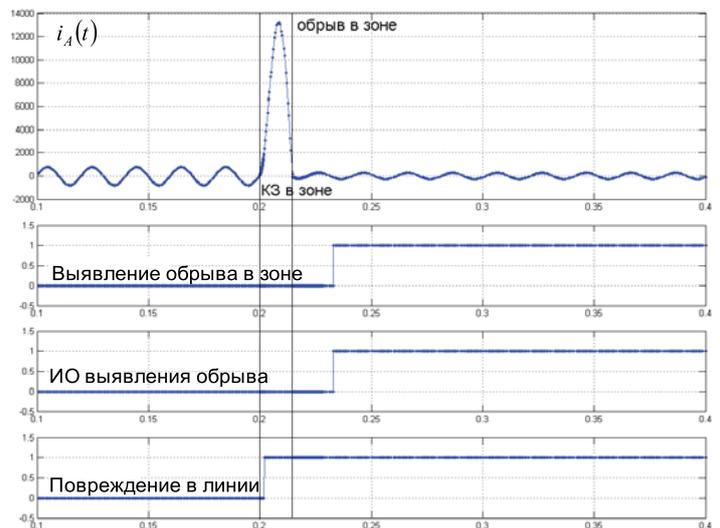


R_f — переходное сопротивление в месте КЗ
 x_f — координата места повреждения

ратель повреждённой фазы только на основе токов, без привлечения замеров напряжения, что отвечает идеологии построения МП ДФЗ «Бреслер».

На рис. 6 приведён пример работы органа выявления обрыва. Как видно из осциллограммы тока особой фазы $i_A(t)$, до момента времени 200 мс существовал нормальный рабочий режим ЛЭП с отпайкой, нарушенный возникновением однофазного КЗ в момент 200 мс с переходом в режим обрыва фазы через 12 мс. Столь короткое время наблюдения режима КЗ недостаточно для срабатывания ДФЗ, а орган сравнения фаз классифицирует последующий режим обрыва как внешнее КЗ, что приводит к отказу традиционной защиты. Однако благодаря применению органа выявления обрыва в сочетании с РНМНП (сигнал «Повреждение в линии» на рис. 6) удаётся определить факт повреждения в защищаемой зоне через 17 мс после его возникновения и селективно отключить линию.

Рис. 6. Пример работы органа выявления обрыва



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Использование усовершенствованного алгоритма отстройки от реверса мощности позволяет без дополнительных условий применять защиты на различной элементной базе на разных концах защищаемой линии.
2. Проведённые на имитационных моделях испытания разработанного модуля защиты, реагирующего на КЗ с обрывом особой фазы, подтвердили его высокую эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Атабеков Г.И. Теоретические основы релейной защиты высоковольтных сетей. М.-Л.: Государственное энергетическое издательство, 1957 г., 344 с.
2. Liamets Y., Ivanov S., Podchivaline A., Nudelman G., Zakonjšek J. Informational analysis — new relay protection tool // Proc. 13th Int. Conf. Power System Protection, Slovenia, Bled, 2002, P. 197–210.
3. Циркуляр № Ц-04-94(Э) «О предотвращении излишних действий защит ДФЗ линий 110–500 кВ при внешних КЗ». РАО «ЕЭС России», Москва, 30 декабря 1994 г.