

Авторы:

к.т.н. Дони Н.А.,

ООО НПП «ЭКРА»,

г. Чебоксары, Россия,

к.т.н. Иванов И.Ю.,

Филиал ОАО «СО ЕЭС»

РДУ Татарстана, г. Казань,

Россия,

к.т.н. Иванова В.Р.,Казанский государственный
энергетический университет,

г. Казань, Россия.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, РАБОТАЮЩЕЙ НА БАЗЕ ВЕКТОРНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ТОКОВ

SIMULATION LINE DIFFERENTIAL PROTECTION OPERATING ON THE BASIS OF VECTOR VALUES CURRENT

Аннотация: с использованием компьютерного моделирования рассматриваются особенности функционирования дифференциальной защиты линии, работающей на базе векторных значений токов. Данные особенности учитываются при модернизации алгоритмов функционирования и функциональной схемы дифференциальной защиты линии электропередачи напряжением 110-220 кВ, что открывает возможности создания микропроцессорных устройств дифференциальной защиты с повышенными быстродействием и чувствительностью.

Ключевые слова: дифференциальная защита линии, насыщение трансформаторов тока, переходный режим, компьютерное моделирование.

Abstract: using computer simulation considered features of functioning of the line differential protection, operating on the basis of vector values current. These features are taken into account in the modernization operation algorithms and functional schemes of line differential protection voltage of 110-220 kV, allowing the creation of microprocessor-based differential protection with increased speed and sensitivity.

Keywords: line differential protection, saturation of current transformers, transient conditions, computer simulation.

Рост мощности и сложности энергообъектов и единичных агрегатов, повышение чувствительности современных промышленных технологий к кратковременным нарушениям электроснабжения обуславливают постоянное повышение требований к чувствительности и быстродействию устройств релейной защиты.

Современные микропроцессорные устройства дифференциальной защиты [1] ответственных электроэнергетических объектов должны селективно и быстро, с временем до двух периодов промышленной частоты [2], отключать повреждённое оборудование. При достаточно больших значениях постоянной времени затухания аperiodической составляющей в токе короткого замыкания (КЗ) дифференциальные защиты работают в условиях интенсивных электромагнитных переходных процессов.

Сложность в обеспечении селективности и быстродействия дифференциальных защит в условиях влияния переходных процессов обусловлена насыщением электромагнитных трансформаторов тока (ТТ), погрешности которых в переходных режимах КЗ оказываются значительно выше, чем в установившемся режиме [3]. При внешних КЗ повышенные погрешности ТТ могут привести к неселективной работе дифференциальной защиты, а при повреждениях на защищаемом оборудовании – к существенным задержкам в ликвидации аварий.

В алгоритмах дифференциальных защит могут использоваться различные вспомогательные признаки, свойственные режимам внутреннего и

внешнего КЗ в переходных режимах [4] и позволяющие обеспечить требуемые показатели чувствительности и быстродействия защиты. Однако эти признаки применимы только для дифференциальных защит, работающих на базе мгновенных значений токов. В то же время известно, что большинство фирм-производителей дифференциальных защит линий (ДЗЛ) используют векторные величины токов для передачи их на противоположную сторону линий электропередачи (ЛЭП) [5].

Повышение чувствительности и быстродействия ДЗЛ в условиях интенсивных переходных процессов требует применения новых алгоритмических подходов, реализация которых возможна на базе микропроцессорной техники с использованием прогрессивных способов обработки информации. Поэтому разработка и совершенствование алгоритмов функционирования ДЗЛ является актуальной задачей.

Для исследования влияния параметров первичной сети и погрешностей электромагнитных ТТ на работу ДЗЛ, а также получения количественной оценки чувствительности и быстродействия защиты разработана компьютерная модель ДЗЛ напряжением 110-220 кВ. Принятая методика моделирования основана на вычислении переходного тока КЗ в симметричной трёхфазной сети с сосредоточенными активными сопротивлениями и индуктивностями, численном дифференцировании нелинейного уравнения, описывающего работу электромагнитного трансформатора тока в переходном процессе с

Рис. 1. Траектория перемещения рабочей точки на характеристике срабатывания ДЗЛ при внутреннем КЗ без насыщения ТТ

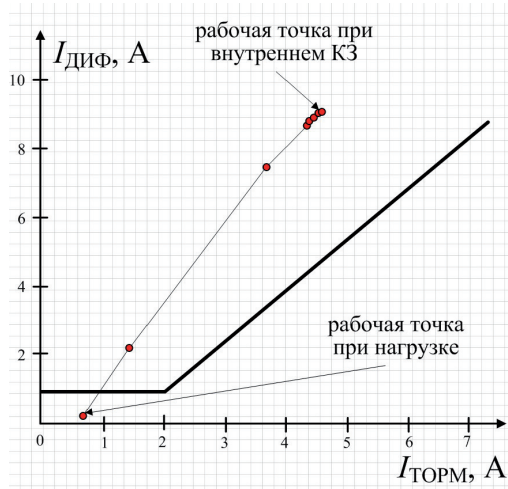


Рис. 2. Траектория перемещения рабочей точки на характеристике срабатывания ДЗЛ при внутреннем КЗ с насыщением ТТ стороны 1 через 40 мс с момента возникновения повреждения

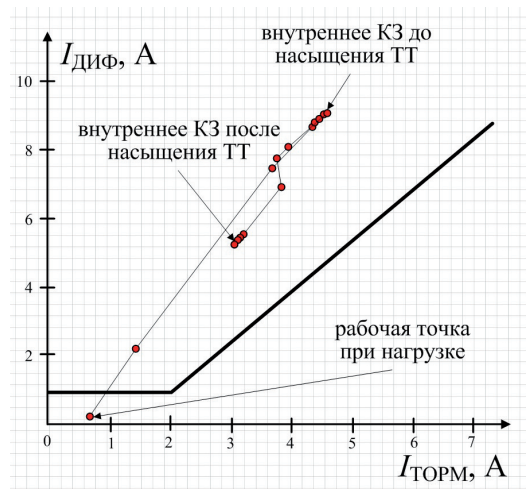


Рис. 3. Траектория перемещения рабочей точки на характеристике срабатывания ДЗЛ при внутреннем КЗ с насыщением ТТ стороны 1 через 10 мс с момента возникновения повреждения

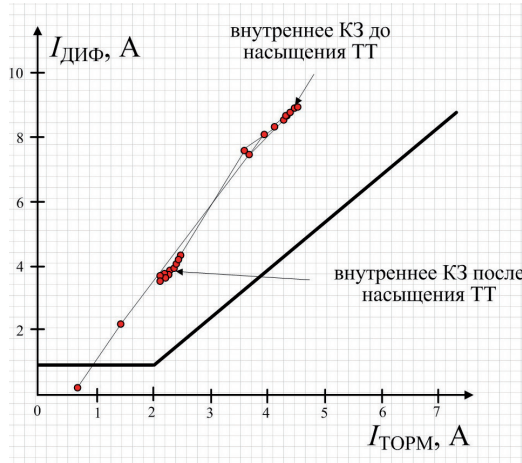
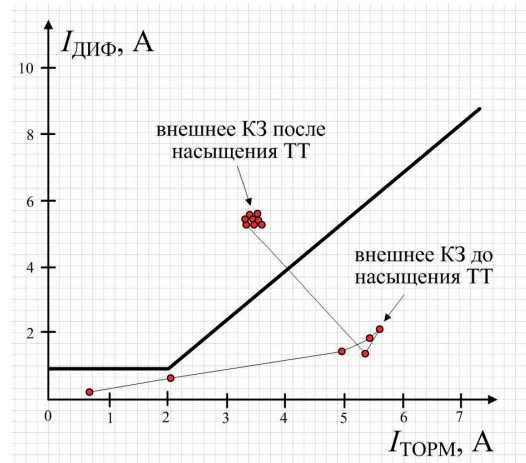


Рис. 4. Траектория перемещения рабочей точки на характеристике срабатывания ДЗЛ при внешнем КЗ



учетом его насыщения, и на дискретизации входного сигнала устройства релейной защиты с помощью дискретного преобразования Фурье.

По результатам моделирования проведён анализ траектории перемещения рабочей точки на характеристике срабатывания ДЗЛ с двумя наклонными участками и отмечено следующее:

1. При КЗ рабочая точка перемещается из положения нагрузочного режима в положение, соответствующее повреждению примерно за 4 такта, что соответствует одному периоду промышленной частоты (рис. 1). Эта задержка связана с временем полного цикла дискретного преобразования Фурье, используемого для вычисления векторов фазных токов.

2. Положение рабочей точки на характеристике срабатывания меняется после насыщения ТТ относительно положения, соответствующего КЗ без насыщения ТТ (рис. 2).

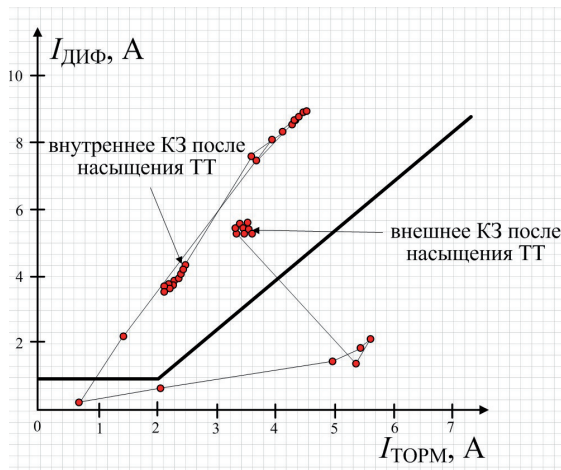
Отсюда следует, что искажение фазных токов, обусловленных насыщением ТТ, может приводить к уменьшению чувствительности ДЗЛ при внутренних КЗ.

3. Конечное положение рабочей точки на характеристике срабатывания ДЗЛ при внутреннем КЗ всегда разное и зависит от момента возникновения насыщения ТТ (рис. 3). Однако до наступления насыщения ТТ наблюдается одинаковая траектория перемещения рабочей точки из положения нагрузочного режима в положение, соответствующее повреждению.

4. Для внешних КЗ после наступления насыщения ТТ характер перемещения рабочей точки существенно отличается от траектории, характерной для внутренних КЗ (рис. 4). Из рис. 4 следует, что искажение фазных токов, обусловленных насыщением ТТ, может приводить к неselectивной работе ДЗЛ при внешних КЗ.



Рис. 5. Совмещённые траектории перемещения рабочей точки на характеристике срабатывания ДЗЛ для внутреннего и внешнего КЗ



5. До насыщения ТТ можно наблюдать разную траекторию перемещения рабочей точки при внешнем и при внутреннем КЗ (рис. 5).

Описанные факторы использовались при разработке алгоритма определения зоны повреждения с помощью детектора повреждений (ДП).

Алгоритм функционирования ДП основан на вычислении отношения приращения дифференциального тока к приращению тормозного тока и сравнения данного отношения с заданными уставками C_1, C_2, C_3 (рис. 6).

При возникновении КЗ вычисляются приращения тормозного тока $\Delta I_{\text{ТОРМ}}$, приращения дифференциального тока $\Delta I_{\text{ДИФ}}$ и отношение приращения дифференциального тока к приращению тормозного тока за один такт D и за два такта $2D$ в момент выборки n .

Предлагаемый детектор повреждения состоит из пускового органа и блока определения зоны повреждения. Пусковой орган срабатывает при превышении значения приращений дифференциального или тормозного тока уставок срабатывания. При внутреннем КЗ в первый момент после возникновения повреждения отношения D и $2D$ являются большими величинами, в алгоритме срабатывают соответствующие логические элементы, при этом на выходе ДП устанавливается сигнал F , равный «1».

При внешнем КЗ в первый момент после возникновения повреждения отношение D является малой величиной, в алгоритме срабатывают соответствующие логические элементы, при этом на выходе ДП устанавливается сигнал F , равный «0».

Уставки пускового органа, а также параметров C_1, C_2, C_3 в общем случае зависят от частоты выборки мгновенных значений тока (частоты дискретизации) $f_{\text{диск}}$ и частоты формирования пакета передачи данных на другой конец ЛЭП $f_{\text{пак}}$. ДП имеет встроенные таймеры логики для сброса и изменения выходного сигнала F на установленные выдержки времени.

Функциональная схема ДЗЛ с использованием детектора повреждений представлена на рис. 7. Из сравниваемых токов по концам линии I', I'' формируются в каждой фазе:

- дифференциальный сигнал $I_{\text{ДИФ}}$ в блоке формирования дифференциального сигнала;
- тормозной сигнал $I_{\text{ТОРМ}}$ в блоке формирования тормозного сигнала.

В реагирующем органе производится сравнение величины дифференциального сигнала $I_{\text{ДИФ}}$



Дойн Николай Анатольевич

Дата рождения: 26.10.1946 г. Окончил энергетический факультет Новочеркасского политехнического института в 1969 году. В 1981 году во ВНИИЭ защитил кандидатскую диссертацию «Исследование и разработка высокочастотной защиты линий сверхвысокого напряжения». Директор по науке – заведующий отделом перспективных разработок. Имеет более 120 научных публикаций в области релейной защиты, микропроцессорной техники и цифровой обработки сигналов электроэнергетических систем.

Рис. 6. Функциональная схема детектора повреждений

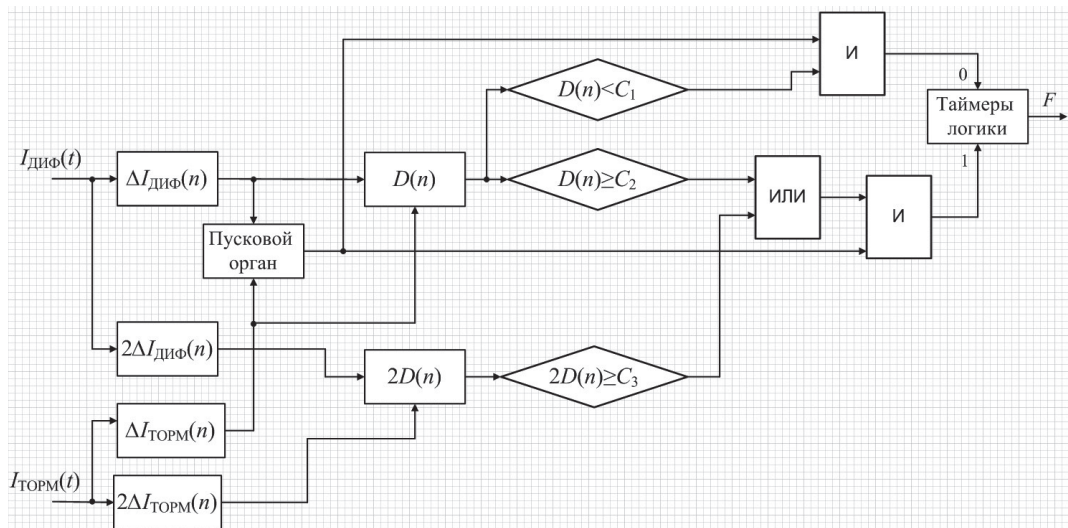


Рис. 7. Функциональная схема ДЗЛ с использованием детектора повреждений



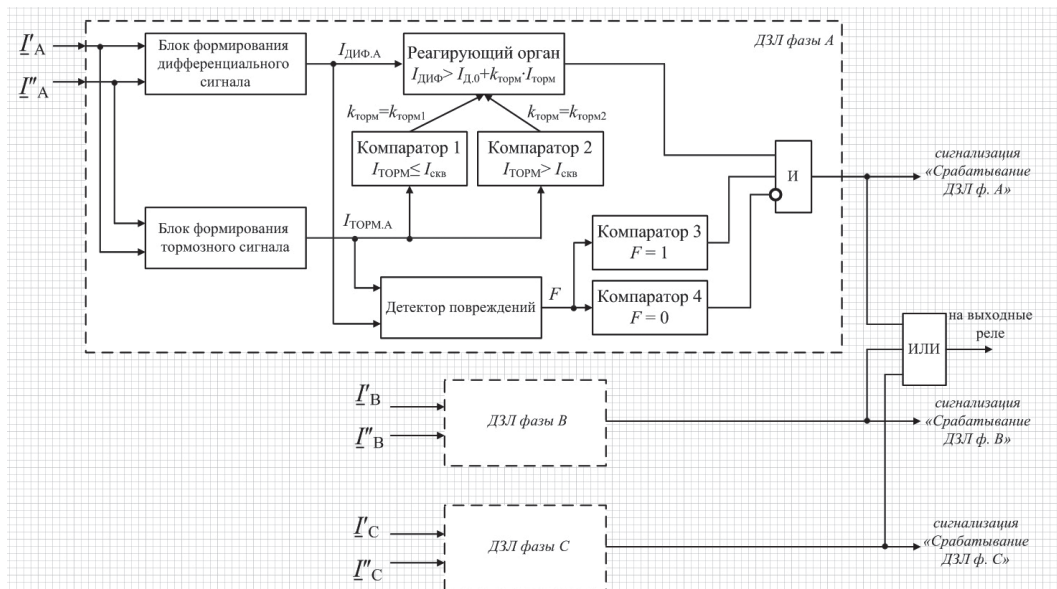
Иванов Игорь Юрьевич

Дата рождения: 23.12.1985 г. В 2012 г. окончил аспирантуру Казанского национального исследовательского технического университета им. А.Н. Туполева по специальности 05.09.03 «Электротехнические комплексы и системы». Главный специалист Службы релейной защиты и автоматики Филиала ОАО «СО ЕЭС» РДУ Татарстана.



Иванова Вилия Равильевна

Дата рождения: 05.08.1985 г. В 2012 г. окончила аспирантуру Казанского государственного энергетического университета по специальности 05.11.13 «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий». Старший преподаватель Казанского государственного энергетического университета.



с уставкой срабатывания $I_{ДУСТ}$ согласно традиционному алгоритму действия ДЗЛ.

Для реализации характеристики срабатывания с двумя наклонными участками в разработанном алгоритме используются компараторы тормозного тока. При этом выделяются следующие режимы работы ДЗЛ:

- 1) при малых сквозных токах ($I_{ТОРМ} \leq I_{СКВ}$): дифференциальная защита работает с меньшим коэффициентом торможения $k_{ТОРМ1}$;
- 2) при нормальных и больших сквозных токах ($I_{ТОРМ} > I_{СКВ}$): дифференциальная защита работает с большим коэффициентом торможения $k_{ТОРМ2}$.

ДП вычисляет текущее положение рабочей точки $I_{Диф}/I_{ТОРМ}$ на характеристике срабатывания ДЗЛ и, в зависимости от траектории перемещения рабочей точки, идентифицирует внешние или внутренние КЗ. При фиксации внешнего КЗ выходной сигнал ДП F устанавливается равным «0» и работа ДЗЛ блокируется. При фиксации внутреннего КЗ выходной сигнал ДП F устанавливается равным «1» и работа ДЗЛ разрешается.

Основные выводы по результатам исследования работы ДЗЛ на компьютерной модели:

1. Для реализации предлагаемых алгоритмов потребуется обмен данными между комплектами ДЗЛ, установленными по концам защищаемой ЛЭП, не менее четырёх раз за период. При типовой скорости передачи данных 64 кбит/с это требование вполне может быть выполнено.

2. Разработанные алгоритмы позволяют определять зону повреждения до срабатывания

реагирующих органов ДЗЛ и формировать в функциональной схеме защиты разрешающие и запрещающие сигналы, благодаря которым обеспечивается селективность ДЗЛ в переходных режимах КЗ без уменьшения быстродействия и чувствительности защиты.

3. Увеличение быстродействия и чувствительности ДЗЛ, в свою очередь, позволит снизить глубину и длительность провалов напряжения при КЗ в сети 110-220 кВ и имеет существенное значение для эффективной работы промышленных предприятий с непрерывным технологическим циклом, нарушение электроснабжения которых даже на доли секунды приводит к значительному экономическому ущербу.

Литература

1. Циглер Г. Цифровая дифференциальная защита. Принципы и область применения. – М.: Знак, 2008. – 273 с.
2. Типовые технические решения по релейной защите и автоматике линий 10-750 кВ. Стандарт организации ОАО «ФСК ЕЭС», 2010. – 198 с.
3. Кужеков С.Л. О требованиях к трансформаторам тока и устройствам релейной защиты в переходных режимах при наличии аperiodической составляющей в первичном токе / Кужеков С.Л., Дегтярев А.А., Сербиновский Б.Б. // Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем: материалы международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: 2013.
4. Дони Н.А. Повышение технического совершенства дифференциальной защиты линий электропередачи напряжением 110-220 кВ / Дони Н.А., Гарке В.Г., Иванов И.Ю. // Релейная защита и автоматизация. – 2012. – № 4. – С. 30-35.
5. Дони А.Н. Особенности продольной дифференциальной защиты линии с цифровыми каналами связи между подкомплектными / Дони А.Н., Дони Н.А. // Материалы конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», 2009. – С. 192-197.