

## **ЗАЩИТА ЛИНИИ НА ВЫСОКОВОЛЬТНОМ ПОТЕНЦИАЛЕ ПРОВОДОВ**

Шмойлов А.В., Корнев В.А.

Научный руководитель: Шмойлов А.В., к.т.н., доцент  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050  
E-mail: Shm\_AV@rambler.ru, KornevVA3007@gmail.com

## **LINE PROTECTION ON WIRES HIGH-VOLTAGE POTENTIAL**

Shmoilov A.V., Kornev V.A.

Scientific Supervisor: Shmoilov A.V.  
Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Lenin str., 30, 634050, Russia  
E-mail: Shm\_AV@rambler.ru, KornevVA3007@gmail.com

Проводится анализ возможности исполнения дифференциально-фазной защиты на высоковольтном потенциале с ВЧ обменом информацией комплектов защиты на концах защищаемой линии.

Прежде всего необходимо разделение линии на двухконцевые участки длиной, обеспечивающей однотипное построение защиты для всех видов линий, достаточно малое затухание ВЧ сигнала по проводам при передаче на противоположный конец, надежный информационный обмен между комплектами аппаратуры на концах каждого участка и тем самым гарантированное недействие защиты при сквозных токах.

Нецелесообразна установка ВЧ заградителей на каждом участке, т.к. ВЧ обмен по проводам линии необходим не только для выявления места КЗ на участках, но также для передачи кода поврежденного участка на концы линии для отключения линии и указания информации о поврежденном участке, что целесообразно делать также по проводам. При установке заградителей на концах участков возникнет необходимость установки удвоенного количества датчиков тока, появления мертвых зон между заградителями на границах участков. Требуется также разработка полной конструкции аппаратуры и процедур пере приема кодов поврежденного участка и передачи кодов на головные участки линии с выключателями. Хотя данные мероприятия весьма ординарны, практически не слишком расточительны, а мертвые зоны между заградителями незначительны и ими можно пренебречь, либо разработать для них дополнительную защитную аппаратуру, однако возможна накачка энергии в передаваемый код на выбранной высокой частоте несущей передаваемого кода поврежденного участка на каждом датчике, разделяющим двухконцевые участки без пар заградителей. Благодаря разделению участков датчиками тока в виде силовых шунтов в каждом проводе фаз вместо заградителей, мертвые зоны исключаются. Но наряду с преимуществом исключения мертвых зон устранение заградителей приводит к распространению ВЧ несущих для контроля состояния каждого участка на соседние участки, что может вызвать влияние на правильность контроля этих участков. В связи с этим необходимы разные частоты ВЧ несущих соседних участков, чтобы с помощью резонансной фиксации частоты несущей каждого участка для контроля его состояния исключить влияние несущих частот соседних участков. Количество несущих частот для контроля состояний участков ограничено достаточным затуханием ВЧ несущих соседних участков с ростом длины распространения несущей данного участка. Расчеты показывают, что достаточным будет затухание несущей и соответственно возможность возобновления ее частоты через каждые 4 – 5 10-и километровых участков линии. При более длинных участках возобновление частоты несущей возможно через меньшее количество участков.

Поскольку для электропитания аппаратуры на концах участков линии необходимы блоки питания

на высоковольтном потенциале, целесообразно их использовать также как источники энергии для восстановления затухания несущей кода поврежденного участка на концах каждого участка, через концы которых передается код поврежденного участка на головные участки линии. Импульсы кода заполнены колебаниями несущей для передачи кода. Данная несущая является единой для всех участков защищаемой линии с заданной частотой, отличной от частот несущих для выявления повреждения на участках. Итого, требуется 3 – 5 частот несущих для выявления повреждения на участках линии и частота для передачи сигнала отключения и информации о поврежденном участке.

Выявление повреждения на участке как в производимой аппаратуре дифференциально-фазных защит путем заполнения положительного полупериода промышленного тока колебаниями ВЧ несущей и контроля наличия непрерывных или с полупериодной паузой промышленного тока ВЧ колебаний на каждом комплекте аппаратуры РЗ линии невозможно, т.к. заградители на концах участков не предусмотрены. Кроме того, предлагаемая дифференциально-фазная защита предназначена для выявления КЗ как в установившихся режимах, так и в переходных процессах, Свободные составляющие переходных процессов существенно изменяют картину ВЧ колебаний и пауз, что не позволяет однозначно настроить быстродействующую защиту. Данный недостаток тем более возрастает из-за различия параметров переходных процессов в первичных и вторичных цепях. Поэтому построение быстродействующей защиты с использованием традиционного способа взаимной передачи углов промышленного тока на концах каждого участка с помощью ВЧ несущей практически невозможно. В связи с этим требуется другой алгоритм выявления КЗ на участке.

Один такой алгоритм с контролем времени между точками перехода промышленного тока при внешнем КЗ относительно защищаемого участка линии и внутренним КЗ на участке ниже описывается с иллюстрацией на рис.1 при сквозном токе рабочих режимов и внешнего КЗ и на рис. 2 при внутреннем КЗ на участке. На рис. 1а и 2а показана схема формирования импульсов на концах каждого участка, в точках перехода мгновенных значений промышленного тока от отрицательных к положительным значениям. Цифрой 1 на фрагменте 1а рис.1 обозначен головной участок 1 с выключателем 3 на одном из концов линии, а цифрой 2 – следующий за головным участок линии. Цифра 4 отражает сборные шины. На одной границе головного участка 1 в высоковольтный провод, например, однопроводной фазы врезан мало-индуктивный П-образный силовой шунт 5, а на другой границе, разделяющей участки 1 и 2, – такой же мало-индуктивный П-образный силовой шунт 6. С помощью датчиков первичного высоковольтного тока ДТ1 и ДТ2 и присоединенных к ним соответственно преобразователей ФИП1 и ФИП2 – формирователей импульсов перехода мгновенных токов на концах участка 1 – формируются короткие импульсы в моменты перехода мгновенных промышленных токов  $i_1$  (сплошные линии на одном конце участка 1) и  $i_2$  (пунктирные линии на противоположном конце участка 1) от отрицательных значений к положительным. Сформированные короткие импульсы, по месту протекания и измерения токов  $i_1$  и  $i_2$  на концах участка 1 обозначены также соответственно сплошными и пунктирными линиями на осциллограммах «б» и «в» рис. 1, на осциллограмме «б» рис. 2. Названные импульсы заполнены колебаниями ВЧ частоты заданной несущей, которую целесообразно назвать несущей переходов и выявления КЗ, и они внедряются через шунты силового тока СШ1 и СШ2 в высоковольтный провод. ВЧ колебания импульсов распространяются по проводу, в том числе на противоположные концы каждого участка.

На примерах осциллограмм сквозных токов по концам участка 1 можно усмотреть, что время  $t$  между импульсами в установившихся режимах (рис. 1б) всегда равно полупериоду промышленного тока или 10 мс, а в переходных процессах КЗ (рис. 1в) это время из-за свободных составляющих может кратковременно измениться в ту или другую сторону. В примере рис. 1в это время увеличивается в начале переходного процесса, а по мере затухания свободных составляющих снова стремится к 10-и мс. Аналогично в переходном процессе внешнего КЗ с другими параметрами короткозамкнутой цепи в начальный момент время между импульсами из-за свободных составляющих может наоборот уменьшиться, но при затухании этих составляющих будет стремиться также к 10-и мс.

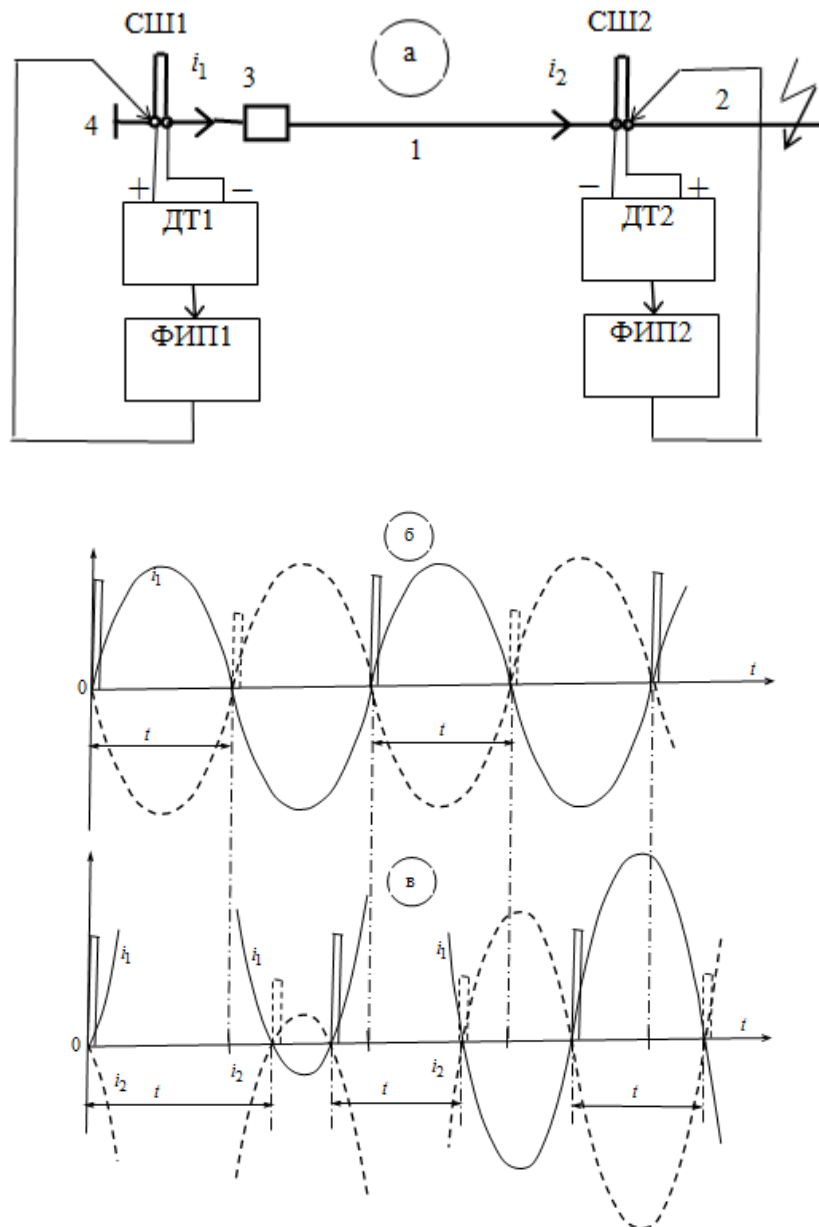


Рис.1 Контроль времени между импульсами ВЧ колебаний в точках перехода промышленного тока от отрицательных к положительным значениям при сквозном токе (внешнем КЗ): а - в установившемся режиме, б – в переходном процессе

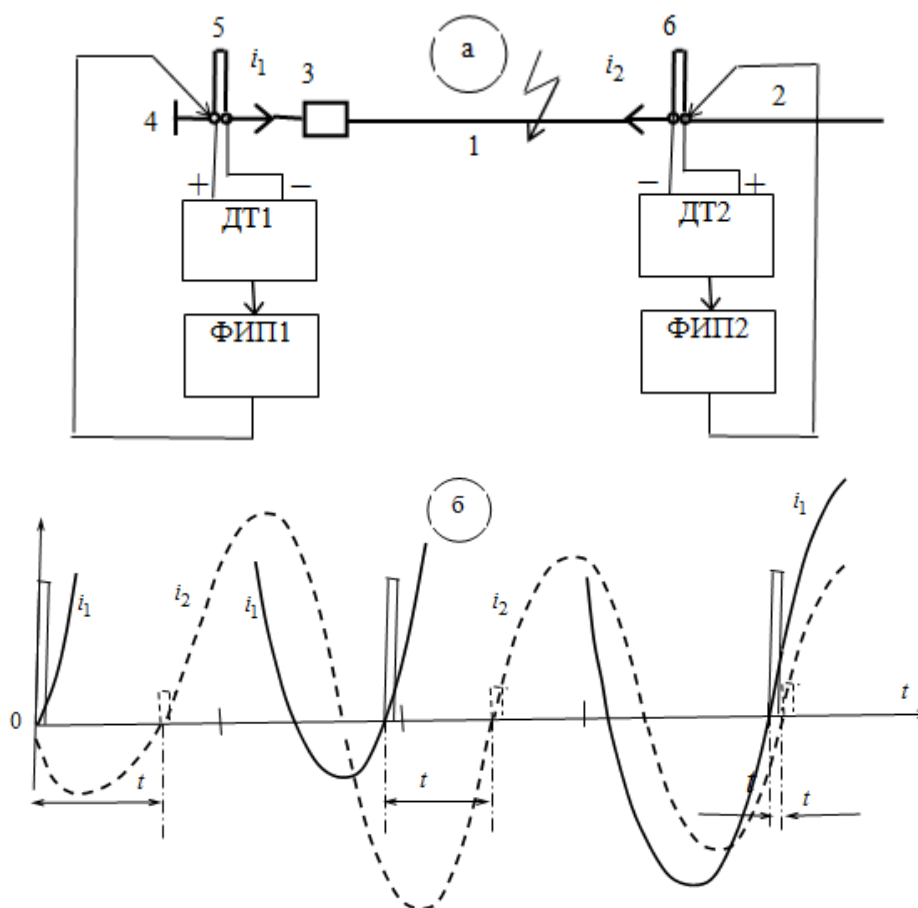


Рис.2 Контроль времени между импульсами ВЧ колебаний в точках перехода промышленного тока от отрицательных к положительным значениям в переходном процессе КЗ на защищаемом участке (внутреннее КЗ)

На другом примере переходного процесса при внутреннем КЗ на участке 1 (рис. 2б) видно, что время  $t$  между импульсами перехода токов  $i_1$  и  $i_2$  на концах участка стремится от 10-и мс, которое было в начале переходного процесса в установившемся режиме, к нулю, т.к. свободные составляющие этих токов КЗ определяются однотипными мало различающимися активно-индуктивными соотношениями параметров короткозамкнутых цепей. Причем индуктивная составляющая сопротивления, как правило, не меньше, а чаще всего заметно или существенно превышает активную составляющую. Поэтому углы роторов генераторных источников с обеих сторон от места КЗ выравниваются и углы токов относительно ЭДС источников также становятся близкими, если не равными. Задавая уставку времени между импульсами  $t$ , близкую к нулю, например, 3 мс, можно надежно различать время рабочих режимов 10 мс и время, характеризующее внутреннее КЗ, которое меньше 3 мс.

Однако импульсы с противоположной стороны могут быть небольшими для восприятия и сравнения аппаратурой на концах участка 1, т.к. передача импульса с противоположной стороны производится через место КЗ, которое вызывает затухание в среднем на 22 дБ. В связи с этим необходим дополнительный параллельный канал, гарантирующий надежность контроля КЗ на участке. Таким может быть канал, сформированный логикой отсутствия импульса с противоположной стороны участка

в течение определенного времени периода промышленного тока. Отсутствие импульса с противоположной стороны в течение двух симметричных промежутков времени относительно полупериода 10 мс в меньшую и большую стороны, например, 3 и 17 мс может гарантировать КЗ на участке. Действительно, если это внешнее КЗ, то через каждые 10 мс (установившийся сквозной ток) или в установленном промежутке (3, 17) мс (переходный сквозной ток) будет гарантированно появляться импульс с противоположной стороны участка и свидетельствовать, что КЗ на участке нет. Если же будет зафиксирован противоположный импульс в пределах (0, 3) мс или (17, 20) мс, то это гарантированно КЗ на участке. Первый промежуток – это внутреннее КЗ в течение или за пределами времени выравнивания электромагнитных и электромеханических переходных процессов в левой и правой цепях относительно КЗ на участке, которое произошло ранее с началом переходного процесса. Второй промежуток – это маловероятное начало переходных процессов, сложившееся вследствие соответствующих значений параметров электромагнитных и электромеханических переходных процессов в левой и правой цепях относительно КЗ на участке. Проведенный анализ для одного периода промышленного тока показывает возможность обнаружения КЗ на участке в течение этого периода. В следующий период промышленного тока также возможно обнаружение КЗ на участке, которое подтвердит первоначальное более быстродействующее обнаружение КЗ.

Аппаратура на каждом конце участка должна содержать компоненты вноса энергии в код поврежденного участка, передаваемого на головные участки концов линии информацию об отключении выключателей, номера поврежденного участка и провода фазы на линии. Внесенная энергия позволит поддерживать ВЧ колебания кода поврежденного участка на уровне, легко воспринимаемой аппаратурой каждого конца участка, включая головные.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС» Презентация Цифровая подстанция: Официальный сайт. 2012. URL: [http://www.ntc-power.ru/media/files/Presentation\\_CPS.pdf](http://www.ntc-power.ru/media/files/Presentation_CPS.pdf) (дата обращения: 16.03.2015).
- [2] Alex Golovin Современные волоконно-оптические преобразователи тока // Цифровая подстанция: Электронный журнал. 2012. URL: <http://digitalsubstation.ru/blog/2012/12/04/sovremenny-e-volokonno-opticheskie-pr/> (дата обращения: 16.03.2015).
- [3] Alex Golovin Опыт применения оптических датчиков тока в электросетевой компании Transpower New Zealand: Электронный журнал. 2012. URL: <http://digitalsubstation.ru/blog/2013/01/10/opy-t-primeneniya-opticheskikh-datchikov/> (дата обращения: 16.03.2015).
- [4] Патент РФ № 2010136422/07, 30.08.2010. Шмойлов А.В., Прутик А.Ф. Способ построения и настройки релейной защиты с высокочастотным обменным блокирующим сигналом по проводам линии // Патент России № 2435267. 27.11.2011 Бюл. № 33.