



Международный журнал информационных технологий и  
энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 62.1

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВИДОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ЗАЩИТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

<sup>1</sup> Сивеев Т. М., <sup>2</sup> Цветков А. С., <sup>3</sup> Груздов А. Г., <sup>4</sup> Пашковская Е. Е.

Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия (111250, г. Москва,  
ул. Красноказарменная, 17, стр. 3), e-mail: <sup>1</sup>tichonsiveev@gmail.com, <sup>2</sup>  
sashatsvetkov131202@mail.ru, <sup>3</sup> GruzdovAG@mpei.ru, <sup>4</sup> PashkovskayaYY@mpei.ru

Энергетическая система представляет собой совокупность электроустановок, предназначенных для производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии. В настоящее время неотъемлемой частью объектов энергосистемы являются устройства релейной защиты и автоматики. Релейная защита – это совокупность автоматических устройств, которые позволяют выявлять повреждения в системе энергообъектов и отключать поврежденные участки, не позволяя наносить ущерб энергосистеме. В связи с этим, к релейной защите предъявляются следующие требования: селективность, чувствительность, надежность и быстродействие. Под селективностью в данном случае понимается способность релейной защиты определять поврежденный объект и отключать именно его от исправно работающей части системы. Чувствительность характеризует способность РЗ включаться в работу при малейших отклонениях от нормальных режимов. Быстродействие обосновано рядом существенных негативных последствий, возникающих в системе при коротких замыканиях. В данной статье анализируются наиболее эффективные виды релейной защиты линий электропередач, а также возможность применения метода цепей Маркова, для исследования функционирования канала связи релейной защиты.

Ключевые слова: высокочастотные (ВЧ) защиты линий, канал связи релейной защиты, дифференциально-фазные защиты (ДФЗ), направленные защиты с высокочастотной блокировкой (НВЧЗ), короткое замыкание (КЗ).

## INVESTIGATION OF TYPES OF DIFFERENTIAL PROTECTION OF POWER LINES

<sup>1</sup> Siveev T. M., <sup>2</sup> Tsvetkov A. S., <sup>3</sup> Gruzdov A. G., <sup>4</sup> Pashkovskaya E. E.

National Research University "MPEI", Moscow, Russia (111250, Moscow, Krasnokazarmennaya st.,  
17, building 3), e-mail: <sup>1</sup>tichonsiveev@gmail.com, <sup>2</sup> sashatsvetkov131202@mail.ru, <sup>3</sup>  
GruzdovAG@mpei.ru, <sup>4</sup> PashkovskayaYY@mpei.ru

An energy system is a set of electrical installations designed for the production, transmission, distribution and consumption of electrical energy. Currently, relay protection and automation devices are an integral part of the power system facilities. Relay protection is a set of automatic devices that allow detecting damage in the system of power facilities and disconnecting damaged areas, preventing damage to the power system. In this regard, the following requirements are imposed on relay protection: selectivity, sensitivity, reliability and performance. Selectivity in this case refers to the ability of relay protection to detect a damaged object and disconnect it from a properly functioning part of the system. Sensitivity characterizes the ability of the RS to be included in the operation at the slightest deviation from normal modes. The performance is justified by a number of significant negative consequences that occur in the system during short circuits. This article analyzes the most effective types of relay protection of power lines, as well as the possibility of using the Markov circuit method to study the functioning of the relay protection communication channel.

Keywords: high-frequency line protection, relay protection communication channel, differential-phase protection, directional protection with high-frequency blocking, short circuit.

Широко известные ступенчатые (токовые и дистанционные) защиты линий электропередач используются для защиты линий с односторонним питанием и не могут использоваться для защиты линий с двухсторонним питанием, поскольку в данном случае не обеспечивают селективность отключения, решить проблему позволяет применение дифференциальных защит.

Главное отличие дифференциальных защит линий от ступенчатых заключается в том, что они имеют связь между комплектами защитных устройств, установленных по концам линии и поэтому обладают абсолютной селективностью. Для этого в защитах применяется канал связи, с помощью которого осуществляется постоянный обмен данными между комплектами РЗ, установленных по концам защищаемой линии.

Исследование процесса работы канала связи целесообразно проводить с помощью метода математического моделирования, математическая модель позволяет спрогнозировать поведение реальной системы объектов и получить аналитические выражения для определения ее параметров. Применительно к системе релейной защиты и автоматики особенно важно создание математической модели ее функционирования, что позволит провести исследование работы РЗ в разных режимах (особенно в случае аварийных режимов), а так же получить аналитические выражения, определяющие показатели надежности ее работы и вероятности отказа различных элементов системы. Одним из таких методов является метод цепей Маркова, при котором вероятность последующего состояния в любой момент времени определяется состоянием в настоящий момент, независимо от прошлого. Для описания возможности применения данного метода необходимо подробно разобраться в особенностях функционирования канала связи релейной защиты ЛЭП.

Обращаясь к СТО «Каналы связи РЗА» [1, с.15], можно выделить следующие виды защит линий электропередач 35-330 кВ, использующие канал связи: дифференциально-фазные защиты, направленные высокочастотные защиты, продольные дифференциальные токовые защиты линий. Необходимо провести сравнение данных видов защит и выявить преимущества и недостатки каждого из них.

Дифференциально-фазные защиты (ДФЗ) – используется в качестве основной защиты от всех видов повреждений линий 110-330 кВ с двусторонним питанием необходимо в случаях, когда для сохранения устойчивости системы необходимо отключение повреждений на всем протяжении защищаемой линии без замедления, а также когда применение других видов защит невозможно и нецелесообразно. [2,с.7]. Данная защита имеет следующие преимущества: правильно работает в неполнофазных режимах; при качаниях; асинхронном ходе; имеет однотипные органы приемопередатчика, действующие на пуск и на отключение, что значительно облегчает их согласование по чувствительности. Принцип действия основан на сравнении фаз токов по концам линии. Это сравнение осуществляется с помощью высокочастотных сигналов, которые, генерируются приемопередатчиком на одном конце защищаемой линии и принимаются на другом. Для управления высокочастотным сигналом применяется ток манипуляции. ДФЗ состоит из следующих органов: орган манипуляции, орган сравнения фаз, пусковой орган.

Орган манипуляции (ОМ) формирует ток манипуляции – синусоидальный сигнал. Если напряжение данного сигнала будет ниже порога чувствительности манипуляции, орган

манипуляции будет выдавать сплошной сигнал. При превышении напряжения чувствительности манипуляции на определенное нормированное значение, к примеру, в случае короткого замыкания на защищаемой линии, срабатывает защита. При внешних коротких замыканиях в канале присутствует непрерывный ВЧ сигнал.

Орган сравнения фаз (ОСФ) – определяет разность фаз токов, сравнивая длительности пауз между сигналами, приходящими с приемопередатчиков. При длительности паузы больше значения, заданного уставкой, линия отключается.

К пусковым органам (ПО) относятся токовые органы, способные реагировать на обратной и нулевой последовательности, тем самым обеспечивая чувствительность защиты ко всем видам коротких замыканий. Пусковые органы делятся на блокирующие и отключающие. Блокирующие ПО осуществляют пуск приемопередатчика, а отключающие разрешают работу органа сравнения фаз [3, с.5-6].

Направленные защиты с высокочастотной блокировкой – применяются в случаях, когда для сохранения работоспособности системы, необходимо незамедлительное действие защиты. Принцип действия данной защиты заключается в сравнении направления мощностей по концам защищаемой линии. При внутреннем коротком замыкании потоки мощности концов линии направлены навстречу друг другу, что является сигналом, для срабатывания защиты. В данном случае органом, регистрирующим направление мощности, является реле мощности. В момент КЗ на защищаемой линии, реле мощности срабатывает и блокирует работу приемопередатчиков, которые обмениваются сигналами тока высокой частоты, сигнал прекращается и защита срабатывает. Таким образом, НВЧЗ имеет в своем составе *высокочастотную часть*, по которой замыкаются токи высокой частоты и *релейную часть*, регистрирующую направление мощности в линии.

Пусковой орган выполняется при помощи двух комплектов реле, один из которых пускает в работу высокочастотный передатчик, а второй отключает защиту. Для срабатывания защиты при междуфазных коротких замыканиях применяется реле тока, включенные на фазный ток, при недостаточной их чувствительности применяют реле сопротивления.

Данная система, по сравнению с дифференциально-фазной, имеет ряд существенных недостатков: может излишне срабатывать в неполнофазных режимах, для предотвращения излишних срабатываний в схемах (НВЧЗ) используют дополнительные цепи, снижающие надежность системы; может излишне срабатывать при качаниях и асинхронном ходе, в связи с чем так же усложняется ее устройство; затруднения в согласовании пусковых органов, действующих на пуск и на отключение; несколько большее время срабатывания, связанное с наличием промежуточных реле.[4, с.4].

Продольная дифференциальная токовая защита – предназначена служить основной защитой линий электропередач небольшой протяженности (до 15 км) в сетях с большими и малыми токами замыкания на землю. [5]. Принцип работы, как и в случае с дифференциально-фазной защитой, основан на сравнении фаз токов по концам линии, однако возможно также и сравнение значений токов, протекающих по вспомогательным элементам защиты. К таким элементам относятся соединенные между собой проводами обмотки трансформаторов тока, расположенных по концам защищаемой линии. Ток в соединительном проводе равен сумме токов обмоток. Соответственно, при равенстве коэффициентов трансформации трансформаторов тока, сумма этих токов равна нулю, поскольку они имеют встречное направление. Реле тока в данном случае блокирует защиту от срабатывания. При

возникновении короткого замыкания в линии токи через реле совпадут по фазе и равенство суммарного тока нулю перестанет выполняться, реле даст сигнал на отключение линии.

Однако, применение соединительных проводов, выполненных на всю протяженность линии, вносят определенные ограничения в работу защиты. Во первых, они обладают внутренним сопротивлением, превышающим, допустимую нагрузку для трансформаторов тока, что вносит необходимость дополнительного включения промежуточных трансформаторов тока. Во вторых, для подключения протяженных линий, одного реле оказалось недостаточным, и возникла необходимость установки отдельного реле на каждом конце линии. В третьих, подключение двух реле повлекло за собой неравномерное распределение токов (токи распределялись обратно пропорционально сопротивлениям цепей). Как итог: возникла необходимость снижения чувствительности защиты.

Таким образом, проведя анализ дифференциальных видов защит линий электропередач, можно утверждать, что наиболее эффективной является дифференциально-фазная защита, поскольку она обладает выраженным превосходством в реализации предъявляемых к ней требований, по сравнению с другими видами. Однако, стоит отметить, что в определенных случаях, применение направленной защиты с высокочастотной блокировкой или продольно-дифференциальной токовой защиты может быть более целесообразным.

Соотнося проведенное исследование, с действительным практическим применением видов дифференциальных защит, стоит отметить наиболее широкое распространение дифференциально-фазных защит линий электропередач в современной системе релейной защиты и автоматики. Данная защита обеспечивает абсолютную селективность отключения, повышенную чувствительность ко всем видам коротких замыканий, высокую скорость срабатывания, наряду с этим она так же способна работать в несимметричных режимах и при этом исключать излишние срабатывания.

Исследование функционирования канала связи РЗ целесообразно проводить с помощью метода цепей Маркова. Применение данного метода дает возможность определить несовершенство конкретного вида релейной защиты при работе в различных режимах, а именно: вероятности излишних или ложных срабатываний, отказа в срабатывании системы защиты. В конечном итоге данный метод позволит составить аналитические выражения для определения показателей надежности конкретного вида защиты линий электропередач.

## Список литературы

1. Каналы связи для РЗА. Технические решения для сетей 35-220 кВ: СТО 34.01-9.2-004-2019 – Введ.28.06.2019 – ПАО Россети, 2019 – 15 с.
2. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 9. Дифференциально-фазная защита линий 110-330 кВ. Москва, «Энергия», 1972 г.
3. Дифференциально-фазная защита линий 110-220 кВ: СТО ДИВГ-053-2019 – Взамен СТО ДИВГ-053-2012 Линии электропередач 110-220 кВ. Дифференциально-фазная защита. – Введ.21.08.2019 – ООО НТЦ Механотроника, 2019 – С. 5-6.
4. Руководящие указания по релейной защите. Выпуск 10. Высокочастотная блокировка дистанционной и токовой направленности нулевой последовательности защит линий 110-220 кВ, Москва, «Энергия», 1972 г.
5. Руководящие указания по наладке, проверке и эксплуатации продольной дифференциальной защиты типа ДЗЛ-1. Я.М. Смородинский, В.М. Волков, 1962 г.

## References

1. Communication channels for relay protection and automation devices. Technical solutions for networks 35-220 kV: STO 34.01-9.2-004-2019 - Introduced. 06/28/2019 - PJSC Rosseti, 2019 - p.15.
  2. Guidelines for relay protection. Issue 9. Differential-phase protection of 110-330 kV lines. Moscow, Energia, 1972
  3. Differential-phase protection of 110-220 kV lines: STO DIVG-053-2019 - Instead of STO DIVG-053-2012 Power lines 110-220 kV. Differential-phase protection. - Introduced.21.08.2019 - STC Mechatronics LLC, 2019 – pp. 5-6
  4. Guidelines for relay protection. Issue 10
  5. Guidelines for the adjustment, testing and operation of longitudinal differential protection type DZL-1. Ya.M. Smorodinsky, V.M. Volkov, 1962.
-