



PS3 – S7-03



Требования к моделированию дистанционной защиты

А. АПОСТОЛОВ
OMICRON electronics
США

Alexander.Apostolov@omicronusa.com

1 ВВЕДЕНИЕ

Современные устройства дистанционной защиты (ДЗ) представляют собой сложную задачу для специалистов РЗА на этапах проектирования, наладки и обслуживания. Такая ситуация складывается по причине того, что у разных производителей данные устройства реализованы по-разному. Как правило, в таких устройствах есть много различных уставок, при этом некоторые из уставок пользователь не видит.

Требования к стандартной модели ДЗ в устройствах на модемном принципе различаются и зависят от особенностей применения. Несмотря на то, что МЭК 61850 до определенного предела описывает видимые параметры связи ДЗ, которые могут быть представлены несколькими элементами в модели, этого может быть недостаточно для комплексного проектирования и полной проверки.

2 ИЕРАРХИЯ МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Моделирование многофункциональных устройств ДЗ, таких как ДЗ на модемном принципе, возможно только при условии комплексного понимания всей задачи. В то же время, следует иметь в виду, что модели реализуют только видимые параметры связи между устройствами.

Для моделирования многофункционального устройства следует учитывать цель моделирования, методику моделирования и функциональную иерархию модели.

Функции в относительно простых устройствах, таких как защита распределительных линий, довольно легко понимаемы и реализуемы при построении модели. Однако, ситуация с комплексными устройствами (например, дистанционная защита линий СВН) несколько усложняется.

Дистанционная защита состоит из нескольких элементов, которые должны быть приняты во внимание при моделировании. Сложно реализовать также и многофункциональные защиты передающих ВЛ, которые часто содержат ДЗ, а также функции быстрого взаимодействия между оконечными устройствами.

МЭК 61850 определяет не только задачи моделирования устройств и функций в системе автоматизации подстанций, но и параметры взаимодействия между элементами всей системы с различными системными требованиями. Важно отметить, что возможность моделирования функции устройства или АСУ подстанции не означает, что происходит попытка стандартизации функции. Это особенно важно для устройств ДЗ. Существует такое большое количество алгоритмов и характеристик, равно как и предпочтений и мнений, что подобная задача была бы невероятно сложной. В модели всего лишь представлены видимые атрибуты связи и функционирования защит. Это одна из главных причин существования отличий в требованиях к моделированию в МЭК 61850 и инструментах анализа и тестирования.

Моделирование сложных многофункциональных устройств различных производителей требует наличия определения основных элементов, которые могут функционировать самостоятельно или друг с другом. Взаимосвязи могут осуществляться между элементами, находящимися физически в одном устройстве, или между разными устройствами (в схемах РЗА) в локальной сети подстанции. Основные элементы, определяемые в МЭК 61850, называются Логические узлы (*Logical Nodes*).

Логический узел - это «самая маленькая часть функции, которая обменивается данными». Это объект, определяемый данными и методом. Когда функция получает приписанное значение, она становится Логическим узлом. Разные логические узлы становятся компонентами защиты, управления, мониторинга в системе АСУ подстанции. Они используются для представления отдельных ступеней или зон защит.

Многофункциональное устройство защиты имеет сложную функциональную иерархию, которая должна быть смоделирована в соответствии с определениями МЭК 61850. Существует две основные группы функций: (1) защиты и (2) не связанные с защитами.

Функции защит далее могут подразделяться на основные, резервные, смежные функции. Основной функцией защиты в системе ДЗ, очевидно, является сама дистанционная защита.

Резервными функциями могут быть направленная МТЗ или УРОВ.

Функциями, не связанными с защитами, являются:

- Измерения
- Управление
- Мониторинг и диагностика
- Осциллографирование
- Анализ событий

Каждая из функций может подразделяться на подфункции, представляющие собой группы соотносящихся функциональных элементов. В группе защит, например, могут присутствовать такие подфункции, как ДЗ от междуфазных КЗ или земляных КЗ.

Каждая подфункция может далее быть разбита на функциональные элементы. Функциональный элемент - это самый маленький элемент системы, существующий сам по себе, который может обмениваться данными в другими элементами или устройствами. Примером функционального элемента защит может являться фазный измерительный орган ДЗ, который используется для представления разных ступеней защиты или каждой зоны.

На рис. 1 показана функциональная иерархия многофункционального устройства защиты линии.

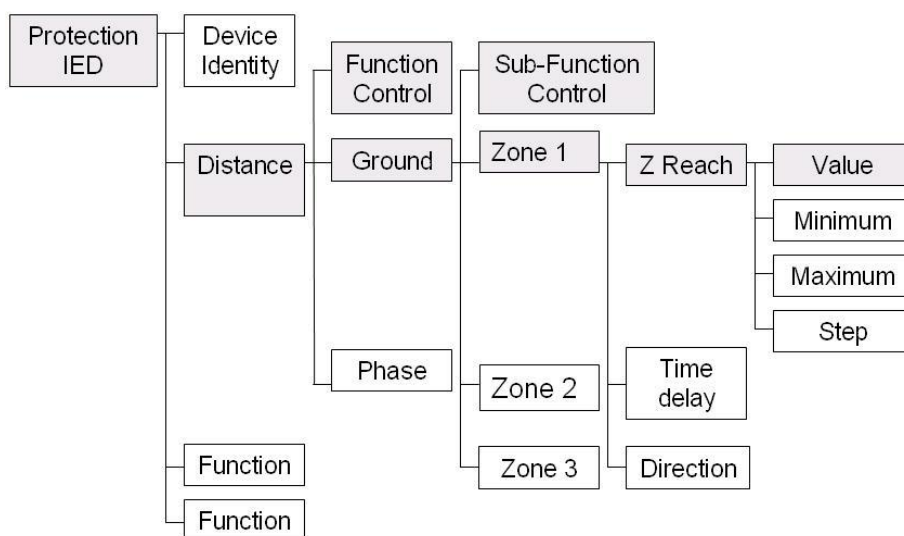


Рис. 1: Функциональная иерархия ДЗ

Вышеописанная иерархия должна быть представлена в соответствии с иерархической структурой, описанной в 7 части МЭК 61850.

3 МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВА ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Функциональная иерархия современной ДЗ во многом зависит от области применения и реализации устройства дистанционной защиты. Самое простое устройство может иметь весьма простую и ограниченную функциональность, а устройство с поддержкой МЭК 61850, как правило, имеет более сложную иерархию. В защитах линий ВЛ или СВЛ также требуется учитывать большое количество аналоговых входов, что имеет место в схемах с двумя выключателями, «полуторной» схеме или в кольцевой конфигурации.

Моделирование многофункциональной защиты линии можно сравнить с проектированием панелей защит ВЛ в прошлом: на панели устанавливаются отдельные устройства, выполняющие различные функции защит и управления.

Одна из важных идей, которую необходимо понять в самом начале работы с моделями, состоит в том, что модель содержит только видимые параметры взаимодействия. Устройство может содержать большое количество данных, связанных с взаимодействием между элементами фиксированной внутренней логики. Если эта логика представлена во «внешнем» мире в качестве «чёрного ящика» с входами и выходами, такие внутренние сигналы будут невидимы и не включаются в модель.

В то же время производитель РЗА может сделать видимыми некоторые уставки, которые не видны через интерфейс пользователя в связи с тем, что эти уставки не регулируются. Однако, уставки такого рода являются обязательными для задания характеристики ДЗ. Например, в некоторых устройствах с четырёхугольной характеристикой угол наклона характеристики может быть приравнен углу линии, т.е. является нерегулируемым. В зависимости от задачи моделирования, он должен быть включен в ту или иную модель. Если требуется смоделировать только те уставки, которые доступны в файле уставок, эту уставку включать в модель не нужно. В том случае, когда требуется выполнить моделирование срабатывания защиты, эта уставка должна быть включена в модель.

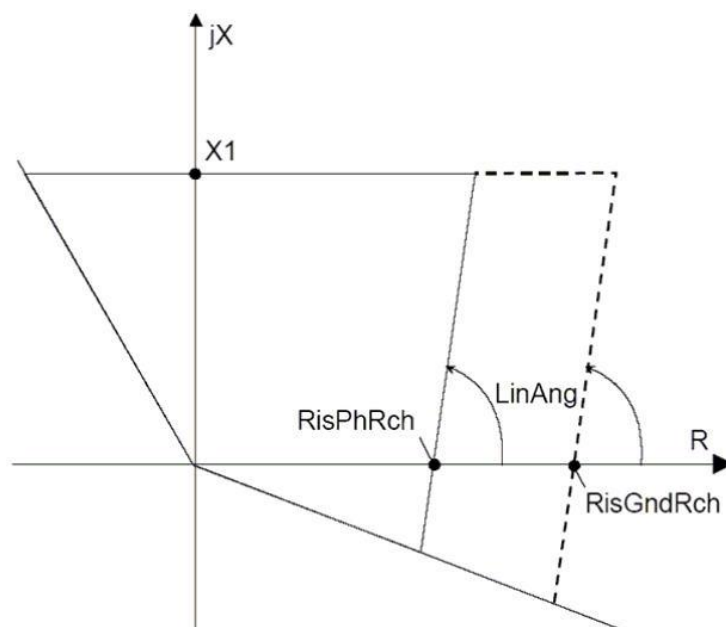


Рис. 2: Четырёхугольная характеристика ДЗ

Моделирование сложных устройств защит зависит не только от функциональности, но и от конфигурации подстанции. Модель для ВЛ, работающей через один выключатель будет отличаться от модели для «полуторной» схемы, т.к. аналоговый интерфейс при этом будет

другим. Во многих устройствах РЗА реализовано три токовых входа, что соответствует схеме ВЛ с одним выключателем.

Однако, на линиях СВН, по требованиям надежности и устойчивости, часто используется «полуторная» или кольцевая схема.

Устройства ДЗ с тремя токовыми входами могут использоваться для защиты таких линий, но с учетом некоторых функциональных ограничений. К примеру, самые современные устройства ДЗ имеют встроенный алгоритм УРОВ. Наличие только трёх токовых входов ограничивает функциональность устройства и не позволяет реализовать в нём УРОВ, т.к. нет возможности определить, какой из двух выключателей не отключился.

На рис. 3 показана упрощенная модель ДЗ в «полуторной» схеме. В этом случае защита должна принимать токи от ТТ на обоих выключателях и напряжения от ТН, установленного на защищаемой линии.

Моделирование многофункциональных ДЗ должно отражать вышеописанную иерархию, однако, при этом должна использоваться иерархия, описанная в документах по стандарту МЭС 61850. Первый уровень - это Abstract Communication Service Interface (ACSI). ACSI задает модели и функции для доступа к определенным объектам, например, функции чтения или записи объектных значений или управления первичным оборудованием.

Второй уровень определяет Common Data Classes (CDC) и атрибуты типов общих данных. CDC задает структуру, которая включает в себя один или несколько атрибутов данных.

Третий уровень определяет совместимые классы логических узлов и данных, зависящие от Common Data Classes, в соответствии с функциональным назначением.

В пятой части МЭК 61850 определяется концепция логического узла и даются требования по взаимодействию между различными функциями и устройствами в моделях. В части 7-2 определён первый уровень моделирования – ACSI. В части 7-3 дается описание CDC, в части 7-4 определены совместимые логические узлы и классы данных.

Многофункциональная ДЗ в модели выступает как Сервер: как правило, это физическое устройство, которое моделируется как часть АСУ подстанции. Сервер представляет собой видимые функции устройства, содержащее от одного до нескольких логических узлов. Логическое устройство определяется как “виртуальное устройство, позволяющее объединить связанные логические узлы и массивы данных”.

Многофункциональные устройства моделируются с использованием нескольких типов логических узлов в зависимости от назначения устройства. Логические узлы содержат данные, необходимые для определенной функции, такие как уставки или измеряемые величины. Логическое устройство содержит Logical Node Zero (нулевой логический узел), один Logical Node Physical Device (физическое устройство), а также один или несколько логических узлов.

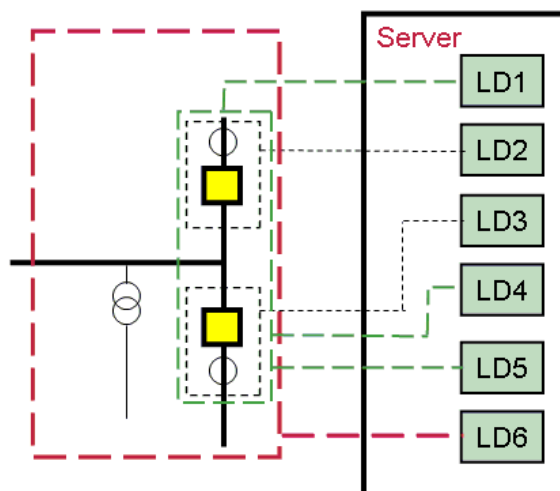


Рис. 3: Модель Сервера с несколькими логическими устройствами

Как говорилось ранее, в случае с оборудованием РЗА со сложной иерархией потребуется объединение логических узлов в группы (например, Дистанционная защита. Принадлежность логического узла функциональной группе может быть представлена в имени логической группы. Моделирование может выполняться различными способами. Сложность функциональной иерархии защит позволяет утверждать, что модель в виде сервера с одним логическим устройством и несколькими узлами далека от реальной иерархии современной дистанционной защиты.

При необходимости группирования различных функций и элементов (например, для контроля или активации группы элементов) моделирование следует выполнять с применением объектной иерархии и наименований, принятых для объектов данных в МЭК 61850. В этом случае модель включит в себя несколько логических устройств, как это показано на рис. 3.

Для взаимодействия между логическими узлами в локальной сети подстанции необходимо стандартизировать объекты данных, входящие в них.

На рис. 4 показана функциональная конфигурация защиты ВЛ. Модель такого устройства в МЭК 61850 может быть выполнена путем преобразования различных функций защиты в логические устройства. Одно логическое устройство при этом будет представлять собой основную функцию защиты, другое будет определять измерительный орган, а третий - функцию осциллографирования. Функция ОМП и контроль состояния выключателя моделируются с помощью дополнительных логических устройств.

При опускании вниз по иерархии (рис. 1) логическое устройство защиты (Protection Logical Device) включает в себя несколько функций защит. Каждая из функций может быть *Введена* или *Выведена*. Если функция *Выведена*, все функциональные элементы (логические узлы), входящие в нее, тоже будут выведены. Это одна из причин, по которой необходимо группирование функций.

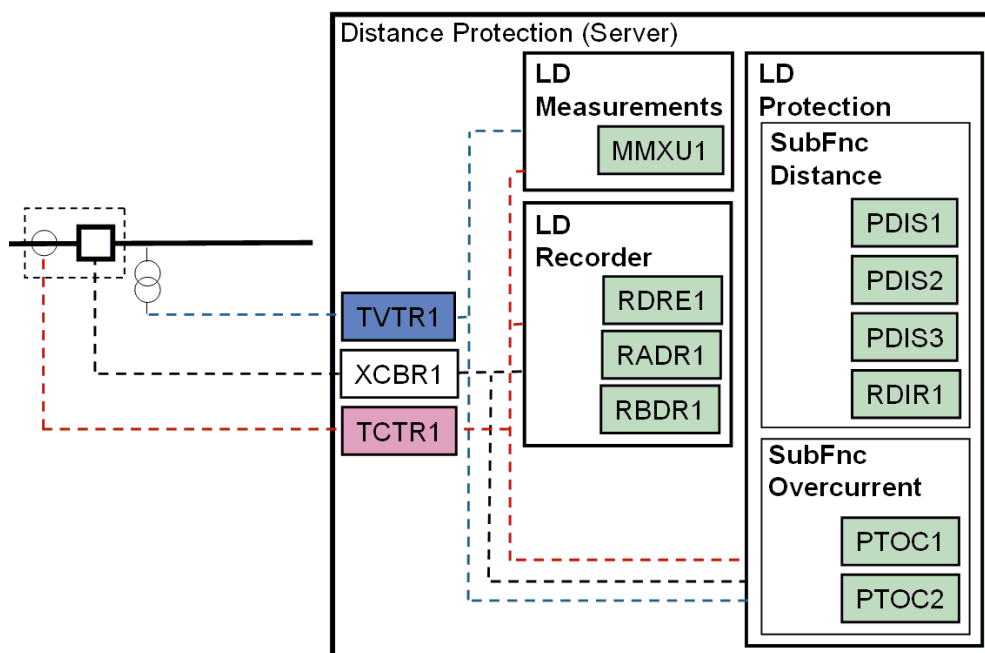


Рис. 4: Упрощенная объектная модель дистанционной защиты

Функциональная иерархия еще более усложняется при включении устройства ДЗ в «полторную» или кольцевую схему (Рис. 3). Один из способов заключается в задании логических устройств Защита, Измерения и Осциллографирование, а затем, при необходимости, различных групп для линии и выключателей, опускаясь вниз по иерархической структуре.

Другой способ заключается в использовании логического устройства для каждого физического интерфейса (показано пунктиром на рис. 3) и некоторых функций для линии. Затем каждое из логических устройств включает в себя функции Защита, Измерения и

Осциллографирование. Логическое устройство линии также содержит функцию осциллографирования. Первая редакция МЭК 61850 не разрешает вложенность логических устройств, поэтому необходимы соглашения по наименованиям для представления функциональной иерархии. В новой второй редакции стандарта данное требование будет изменено.

XCBR1 на рис. 4 представляет собой логический узел, моделирующий выключатель, на который действует защита. TCTR и TVTR - логические узлы, представляющие блок аналоговых входов дистанционной защиты, который преобразует аналоговые сигналы в выборочные значения, передаваемые по шине данных для осциллографирования (логические узлы RDRE1, RADR1 and RBDR1), функции измерений (MMXU1) и защит PDISi, PTOCj. Каждый из этих логических узлов имеет объектную иерархию в соответствии с МЭК 61850.

Моделирование многофункциональных устройств ДЗ различных производителей выполняется аналогичным образом, однако, у каждого существуют свои особенности, которые не позволяют автоматически обработать модели данных разными инструментами испытаний и наладки оборудования. Кроме этого, насколько известно автору, производители не стандартизировали уставки защит. Это связано с тем, что раздел по уставкам в объектных моделях, особенно в части ДЗ, не осуществлен в первом издании стандарта.

Работа, которая ведется в настоящее время экспертами IEEE Power Systems Relaying Committee's Working Group H5-а направлена на то, чтобы завершить эту модель, что позволит определить общий формат данных для уставок многофункциональных устройств РЗА.

4 ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ

Дистанционный орган – основная функция защиты ВЛ без применения оборудования связи и представляет собой один из самых сложных логических узлов защиты. Логический узел класса имеет название PDIS (см. таблицу ниже), при этом модель дистанционного органа включает в себя столько узлов, сколько измерительных органов ДЗ содержит комплект защиты.

Данный класс содержит различные объекты данных, которые определяют состояние органов дистанционной защиты (Пуск или Срабатывание), а также уставки. Уставка может быть обязательной или необязательной.

Ясно, что те объекты уставок в классе PDIS, которые определены в первом издании стандарта МЭК 61850, недостаточно отображают полную возможную функциональность дистанционной защиты. На рис. 5 показана упрощенная схема компонентов и элементов, от которых зависит определение, описание и конфигурация модели дистанционного органа.

Конфигурация дистанционного органа зависит от полного сопротивления ВЛ и уставок защиты. Сопротивление линии может рассчитываться по фазному принципу или по симметричным составляющим, в зависимости от реализации ДЗ.

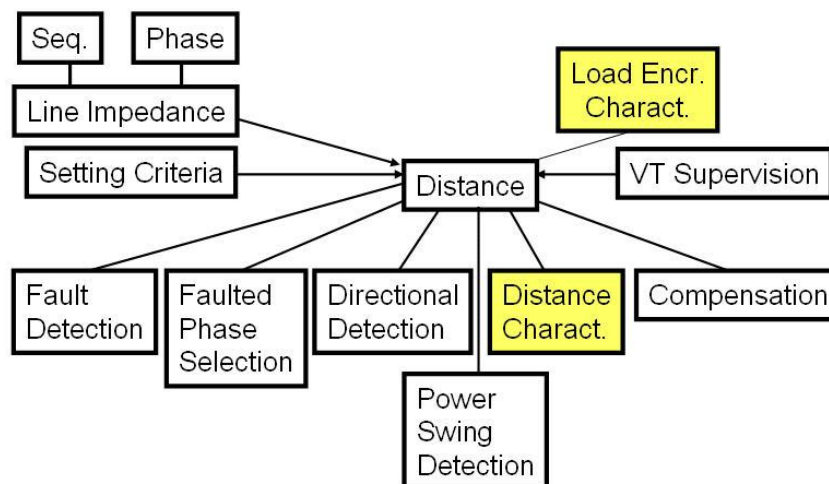


Рис. 5: Упрощенная функциональная модель дистанционной защиты

Контроль цепей напряжения используется для блокировки защиты при любой неисправности в цепях напряжения.

Работа дистанционной защиты может быть как простой, так и сложной, в зависимости от реализованного алгоритма защиты.

Определение повреждения

Многофункциональная дистанционная защита может использовать разные факторы для определения повреждения в защищаемом объекте, т.е. осуществлять пуск защиты при повреждении (КЗ) в системе.

Определение повреждения выполняется по следующим принципам работы:

- Орган максимального тока
- Орган минимального напряжения
- Орган минимального сопротивления
- Наложённые составляющие токов и напряжений

Моделирование пускового органа защиты выполняется с помощью логических узлов, которые задают вышеперечисленные функции защит.

Избиратель поврежденной фазы

Избиратель поврежденной фазы должен определить тип КЗ и измерительный орган, который будет использоваться для определения местонахождения КЗ (в зоне или вне зоны характеристики). Как правило, используются принципы, перечисленные в предыдущем пункте.

Определение направления мощности

Характеристика может быть построена на одном элементе, например, смещенная круговая характеристика по проводимости; также может использоваться измерение направления мощности.

Определение направления мощности может выполняться с помощью поляризованных величин или по наложенным составляющим. Второй способ имеет ряд преимуществ, т.к. такое измерение является более быстрым и не сильно зависит от изменений поляризованных величин, которые используются в традиционных алгоритмах определения мощности.

Отстройка от качаний

При качаниях возможно возникновение кажущегося импеданса, что может привести к ложной работе дистанционного органа защиты, при его вхождении в характеристику. Блокировка при качаниях предотвращает ложную работу дистанционной защиты.

Разные производители используют разные способы реализации блокировки при качаниях. Большинство из них основано на времени вхождения (прохождения) кажущегося сопротивления через характеристики. В некоторых современных защитах отстройка от качаний реализуется по принципу наложенных токов.

Методы компенсации

Влияние различных факторов системы, трансформаторов тока, параметров защищаемого объекта по-разному учитывается разными производителями, т.е. существуют различные способы компенсации воздействующих факторов для улучшения работы защиты.

Некоторые из методов компенсации:

- По току нулевой последовательности
- Учет взаимоиндукции
- Учет переходного процесса
- Ток заряда

Характеристика защиты

Характеристика ДЗ является одним из главных элементов, который требует особого внимания при моделировании. Характеристика может быть простой или сложной. Как правило, используются окружность, многоугольники (вырезы областей активного и реактивного сопротивления) или линейные характеристики.

Группа экспертов IEEE PSRC WG H5-а близка к тому, завершить работу над созданием модели, которая включает в себя известные в настоящее время характеристики органов ДЗ. На рис. 6 показаны уставки 3-й ступени смещенной характеристики проводимости, а также соответствующие имена объектов, использующиеся в модели МЭК IEC 61850.

Справа в таблице показаны имена объектов, соответствующие уставкам дистанционной защиты. Слева дается описание этих уставок, а в центре указаны их значения. Первая уставка – характеристика – не описана в первом издании стандарта (логический узел PDIS). Поэтому данная уставка обозначена как «новая» (*new*). Существуют и другие примеры уставок, которые отсутствуют в модели МЭК 61850.

В некоторых защитах зона характеристики задается уставкой по сопротивлению, а в некоторых – в процентах от сопротивления линии (как на рис. 6). В таком случае значения сопротивления линии доступны в логическом узле ОМП (RFLO) или в модели ВЛ.

PHASE DISTANCE		PhsPDIS
Phase Chars.	Mho	DisChr (New)
Zone 3 Ph Status	Enabled	Mod
Zone 3 Ph Reach	250.0%	PctRch
Zone 3 Ph Offset	Enabled	ModOfs
Z3Ph Rev Reach	10.00%	PctOfs
tZ3 Ph. Delay	600.0ms	PhDITmms
Zone P Ph Status	Enabled	Mod
Zone P Ph Dir.	Forward	DirMod
Zone P Ph Reach	200.0%	PctRch

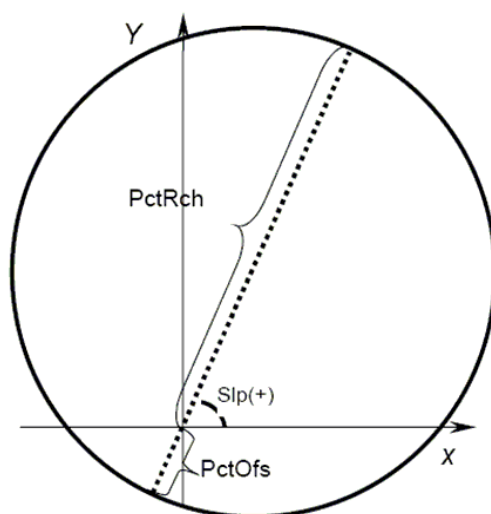


Рис. 6: Модель дистанционного органа на основе характеристики проводимости

Органы ДЗ должны группироваться по логическим узлам PDIS в функциональные подгруппы – от междуфазных КЗ и от КЗ на землю. Следует помнить, что имя конкретного логического узла содержит, по крайней мере, имя класса логического узла (четыре заглавные буквы), за которым следует порядковый номер узла (например, PDIS3 для 3-й ступени ДЗ).

Пусковой орган, при необходимости, должен быть смоделирован в отдельном логическом узле. Вышесказанное относится к областям выреза нагрузки в характеристиках и другим функциям дистанционной защиты.

5 ВЫВОДЫ

Для моделирования многофункциональной ДЗ на основе МЭК 61850 требуется хорошее знание функциональной иерархии защиты, а также знание принципов моделирования, определенных в стандарте.

Сложные устройства, такие как защиты ВЛ, моделируются как серверы с несколькими логическими устройствами, соответствующими тем или иным функциям системы (Защита, Измерение, Осциллографирование).

В модели необходимо должным образом представить функциональную иерархию защиты, а также иерархию моделирования, определяемую в стандарте. В модель необходимо включить различные компоненты, определяющие функции дистанционной защиты или имеющие к ним отношение.