

2. Интеграция электростанций на основе возобновляемых источников энергии в Единой энергетической системе России: обзор проблемных вопросов и подходов к их решению / П.В. Илюшин // Вестник МЭИ. Энергоустановки на основе возобновляемых видов энергии. – 2022. – №4. – С. 98–107.
3. Интерес инвесторов к теме ВИЭ в России сохраняется // Ассоциация развития возобновляемой энергетики. URL: <https://tredda.ru/information-bulletin-july2022> (дата обращения 10.11.2022).
4. Анализ влияния возобновляемых источников энергии с силовыми преобразователями на процессы в современных энергосистемах / Н.Ю. Рубан, А.Б. Аскарлов, М.В. Андреев, А.В. Киевец, В.Е. Рудник // Вестник ПНИПУ. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2020. – №36.
5. Исследование влияния крупной СЭС на переходные процессы при возмущениях во внешней сети / К.А. Скурихина, М.Г. Тягунов, В.В. Чумаченко, А.В. Субботин // Электроэнергия. Передача и распределение. – 2018. – №3(48). – С. 52–59.
6. Synthetic inertia and its role in improving grid stability // Current±. URL: <https://www.current-news.co.uk/blogs/synthetic-inertia-and-its-role-in-improving-grid-stability> (дата обращения 10.11.2022).
7. Synthetic inertia versus fast frequency response: a definition / R. Eriksson, N. Modig, K. Elkington // IET Renew Power Gener. – 2017. – V. 12. – P. 507-514.
8. Smart frequency control in low inertia energy systems based on frequency response techniques: A review / Y. Cheng, R. Azizipanah-Abarghooee, S. Azizi, L. Ding, V. Terzija // Applied energy. – 2020. – V. 279.
9. Effects of inertia emulation in modern wind parks on isolated power systems // C. Rahmann, J. Jara, M. B. C. Salles / IEEE Power & Energy Society General Meeting. – 2015.
10. Frequency stability enhancement for low inertia systems using synthetic inertia of wind power // H. T. Nguyen, G. Yang, A. H. Nielsen, P. H. Jensen // Proceedings of 2017 IEEE PES General Meeting. – 2017. – P. 2–5.

Научный руководитель: к.т.н. А.А. Суворов, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ С ПОМОЩЬЮ ИНТЕРАКТИВНЫХ МОДЕЛЕЙ

В.Д. Лощенков

Томский политехнический университет
ИШЭ, ОЭЭ, группа 5АМ21

Воздушные и кабельные линии электропередачи, имея большую протяженность, подвержены повреждениям в большей степени, чем другое электрическое оборудование. Особенно это относится к воздушным линиям, которые подвержены повреждениям от грозовых ударов, гололеда, сильного ветра, загрязнения изоляторов и т. п.

Неправильная работа релейной защиты является одной из главных причин крупных аварий в энергосистеме, поэтому поиск новых решений в области повышения надежности РЗА является актуальным на сегодняшний день. К ступеням дистанционной релейной защиты линии электропередачи, которая является основной защитой для линий 110-220 кВ, предъявляются высокие требования, в частности надежное распознавание аварийного режима и в то же время, необходимым требованием является несрабатывание на различные нагрузочные режимы и режимы качаний.

Актуальность данной работы заключается в том, что с развитием электроэнергетических систем связано постоянное совершенствование релейной защиты. Из-за повышения сложности электрических сетей, увеличением протяженности воздушных линий электропередачи и

передаваемых мощностей, предъявляют более высокие требования к эффективности функционирования РЗ. Короткие замыкания, аварийные режимы, изменения мощностей нагрузок являются причинами возникновения переходных процессов, которые характеризуются быстрым временем протекания и сильным влиянием на параметры энергосистемы. В результате данных процессов может быть спровоцировано ложное срабатывание релейной защиты и автоматики. Оценить поведение органов защиты за такой краткий промежуток времени достаточно сложно. Поэтому для повышения эффективности работы релейной защиты, а в частности дистанционной, предлагается детальный анализ поведения данной защиты с учетом всех возможных переходных процессов.

Целью данной работы, является создание математической модели электрической сети, с возможностью детального анализа дистанционной защиты, а именно поведения годографа сопротивления в различных переходных и аварийных режимах.

Для достижения данной цели решались следующие задачи:

- Разработка интерактивной модели высоковольтной линии для анализа процессов в энергосистеме.
- Разработка модели дистанционной защиты для анализа поведения вектора сопротивления в различных неблагоприятных режимах.

Область применения дистанционной защиты

В сетях сложной конфигурации с несколькими источниками питания МТЗН не обеспечивает селективности действия. В этом случае применяют дистанционную защиту. Дистанционной называют защиту, выдержка времени которой автоматически изменяется в зависимости от удаленности места КЗ от места установки защиты. Основным элементом дистанционной защиты является дистанционный орган, определяющий удаленность КЗ от места установки защиты. В качестве такого органа используется реле сопротивления.

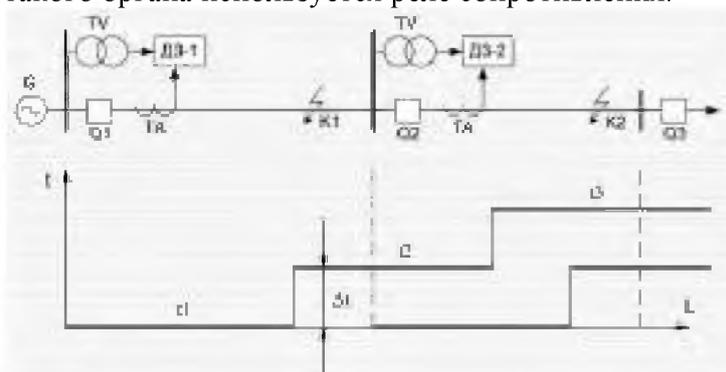


Рис. 1. Ступени дистанционной защиты

Обычно дистанционная защита выполняется в виде трех ступеней: 1-ступень охватывает около 85 % линии; 2-ступень выбирается из условия надежного охвата защищаемой линии; 3-ступень выполняет задачи ближнего и дальнего резервирования.

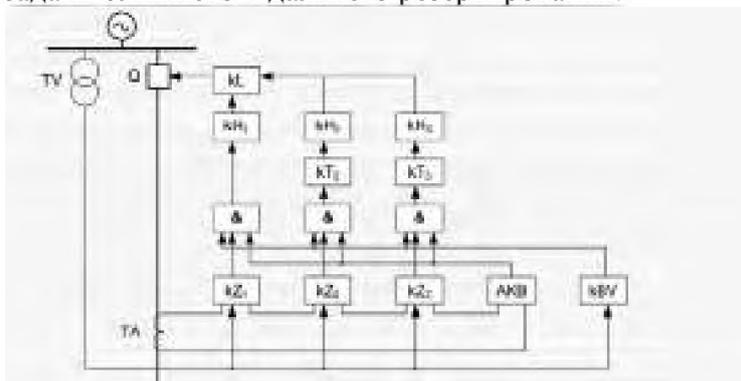


Рис. 2. Структурная схема дистанционной защиты

На рисунке 2 применены следующие обозначения: kZ1, kZ2, kZ3 – реле сопротивления, соответственно 1-ой, 2-ой и 3-ей ступеней защиты соответственно; АКВ – блокировка от качаний; kBV – блокировка от обрыва цепей напряжения; & – логический элемент «И». Срабатывает, когда все три условия, подводимые к нему, выполняются; кТ2, кТ3 – выдержки времени второй и третьей ступени соответственно; кН1, кН2, кН3 – сигнальные реле 1-ой, 2-ой и 3-ей ступеней защиты соответственно [1].

Разработка интерактивной модели высоковольтной линии для анализа процессов в энергосистеме. Схема модели защищаемой линии, построенная в Matlab Simulink представлена на рисунке 3.

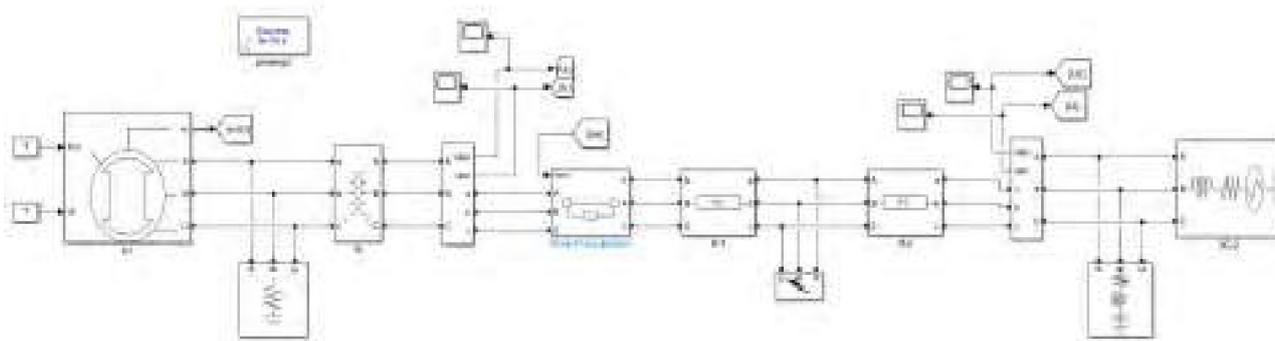


Рис. 3. Модель защищаемой линии в Matlab Simulink

Преимущество работы с энергосистемой, построенной в Matlab Simulink, заключается в том, что мы можем использовать программы графического построения графиков для более наглядного анализа.

Данная модель позволяет исследовать поведение защиты во время переходных процессов, которые в реальности происходят за секунды, и производить корректировки по функциональной составляющей защит.

Внося изменения в схему можно исследовать поведение дистанционной защиты для различных конфигураций: линии с продольной компенсацией, линии с отпайкой, варьируя местом положения отпайки, линии со взаимной индуктивностью и др.

На рисунке 4 показана характеристика срабатывания реле сопротивления и годограф вектора сопротивления для двух случаев: замыкание вне зоны (а) и в зоне действия защиты (б).

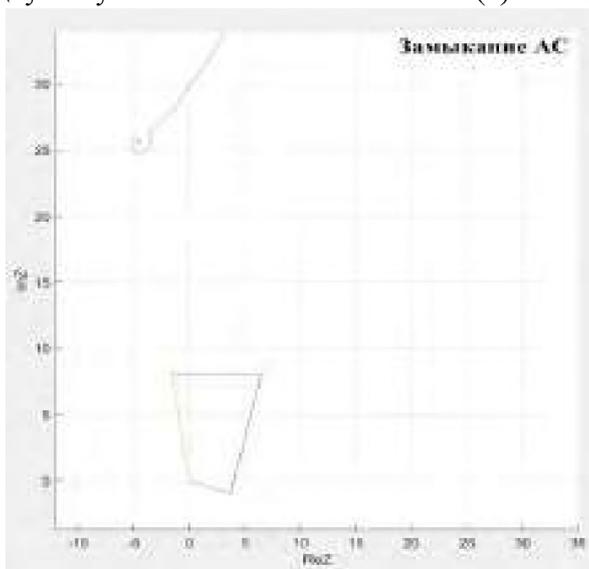


Рис. 4а. Характеристика срабатывания реле сопротивления и годограф вектора сопротивления при замыкании вне зоны действия защиты

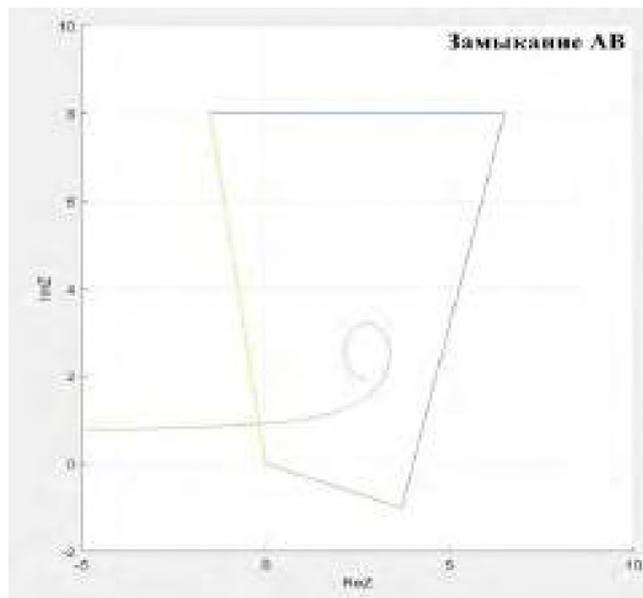


Рис. 46. Характеристика срабатывания реле сопротивления и годограф вектора сопротивления при замыкании в зоне действия защиты

ЛИТЕРАТУРА:

1. Релейная защита и автоматика электроэнергетических систем. URL:https://portal.tpu.ru/SHARED/p/PONAMAREV/uchebnaya/relayprotect/Tab1/Lecture_07.pdf. (дата обращения 11.11.2022)
2. Экспонента//Моделирование электроэнергетических сетей и объектов в MATLAB/SIMULINK. 2021. URL:<https://exponenta.ru/events/modelirovanie-elektroenergeticheskikh-setej-i-obektov-v-matlab-simulink>, (дата обращения 11.11.2022)
3. СТО 56947007-29.120.70.241-2017. Технические требования к микропроцессорным устройствам РЗА: URL: https://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.120.70.241-2017_izm_11122019.pdf. (дата обращения 11.11.2022)

Научный руководитель: доцент, к.т.н. С.М. Юдин, доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ СИНХРОНИЗИРОВАННЫХ ВЕКТОРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ ФУНКЦИЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

А.А. Гранская¹, Г.А. Гранский², Р.Г. Мустафин
Казанский государственный энергетический университет
ИЭЭ, РЗиА, АУСм-1-21^{1,2}

Цифровая подстанция (ЦПС) согласно протоколу МЭК 61850 является наиболее совершенной технологией для автоматизации подстанций [1]. Измеренные значения токов и напряжений на цифровой подстанции передаются по протоколу SV [2], и потоки пакетов SV сильнее всех остальных сигналов нагружают цифровую сеть подстанции: поток постоянен, и формирует пакеты с частотой 80 (или 256) измерений за период первой гармоники сети $T_1 = 0,02$ секунды. В последнее время предлагается интегрировать технологии СВИ для замены сигналов измерений SV цифровой подстанции [3]. Использование СВИ приводит к снижению объема передаваемой информации, поскольку передается всего шесть синхронизированных векторов (тока и напряжения) за период T_1 [4]. Переход от сигналов SV к сигналам СВИ особенно актуален для цифровой подстанции четвертого типа: на базе централизованного сервера РЗА [5],