

Инновационный электротехнический кластер Чувашской Республики
Академия электротехнических наук Чувашской Республики
Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова
Подкомитет Б5 «Релейная защита и автоматика»
Российского национального комитета СИГРЭ

**СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ
РАЗВИТИЯ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ
РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ
И АВТОМАТИКИ**

**Материалы
научно-технической конференции
молодых специалистов форума
«РЕЛАВЭКСПО-2021»**

Чебоксары
2021

УДК621.311-52+621.316.925](063)
ББК27-051я43
С23

Редакционная коллегия:

В.И. Антонов, доктор технических наук, гл. редактор
Г.С. Нудельман, кандидат технических наук, зам. гл. редактора
В.Г. Ковалев, кандидат технических наук
А.В. Жуков, кандидат технических наук
А.В. Мокеев, доктор технических наук
В.И. Нагай, доктор технических наук
В.А. Шуин, доктор технических наук
В.А. Наумов, кандидат технических наук
В.С. Петров, кандидат технических наук

С23 **Современные** тенденции развития цифровых систем релейной защиты и автоматики: материалы науч.-техн. конф. молодых специалистов форума «РЕЛАВЭКСПО-2021». – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2021. – 226 с.

ISBN 978-5-7677-3248-7

Представлены доклады научно-технической конференции молодых специалистов, состоявшейся в рамках форума РЕЛАВЭКСПО-2021. В сборнике приведены результаты актуальных научных исследований в области совершенствования алгоритмов релейной защиты и автоматики энергосистем, технологий цифровой обработки сигналов, векторных измерений и методов искусственного интеллекта в релейной защите. Рассматриваются научные и практические вопросы кибербезопасности цифровых устройств релейной защиты, её работа в сетях с распределенной генерацией, моделирование электроэнергетических систем для целей релейной защиты и автоматики, надежности релейной автоматики.

Для преподавателей, аспирантов, магистрантов, студентов старших курсов энергетических специальностей вузов, инженерно-технического персонала предприятий и энергосистем.

ISBN 978-5-7677-3248-7

УДК 621.311-52+621.316.925](063)
ББК 27-051я43
© Издательство
Чувашского университета, 2021

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Fedorov, V. Petrov, O. Afanasieva and I. Zlobina, "Limitations of Traveling Wave Fault Location," 2020 Ural Smart Energy Conference (USEC), Ekaterinburg, 2020, pp. 21-25, DOI: 10.1109/USEC50097.2020.9281153.

2. S. Marx, Y. Tong and M.V. Mynam, "Traveling-Wave Fault Locating for Multiterminal and Hybrid Transmission Lines", 45th Annual Western Protective Relay Conference Spokane, October 16–18, 2018.

Авторы:

Христофоров Виталий Андреевич, техник департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», студент факультета энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова по направлению «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем». E-mail: hristoforov_va@ekra.ru.

Фёдоров Александр Олегович, окончил в 2020 г. факультет энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова, получил степень магистра по направлению «Электроэнергетические системы, сети, электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность». Инженер-исследователь 3 категории департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА». E-mail: fedorov_ao@ekra.ru.

Петров Владимир Сергеевич, сведения об авторе приведены на стр. 33.

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ФРОНТА ВОЛНЫ В СИГНАЛЕ

Егоров В.А., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия. E-mail: egorov_va@ekra.ru.

Фёдоров Алексей О., ООО НПП «ЭКРА», Россия. E-mail: fedorov_a@ekra.ru.

Петров В.С., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия. E-mail: petrov_vs@ekra.ru.

Антонов В.И., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия. E-mail: antonov_vi@ekra.ru.

Наумов В.А., ООО НПП «ЭКРА», ЧГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия. E-mail: naumov_va@ekra.ru.

Аннотация: Решение задачи определения места повреждения волновым методом требует локализации фронтов волн во входном сигнале для оценки моментов их возникновения. В настоящей работе предлагается новый способ локализации фронтов волн с

использованием интерполирующего фильтра, состоящего из основного и дополнительного операторов линейного предсказания.

Ключевые слова: волновое определение места повреждения, фронт волны, обработка сигнала

Введение

Все волновые методы ОМП основаны на анализе высокочастотного волнового процесса в месте установки устройства, вызванного КЗ на ЛЭП, с целью локализации фронта волны и оценки момента его возникновения. Очевидно, что точность локализации фронта волны напрямую влияет на точность определения места повреждения [1] – [3].

В настоящем докладе предлагается новый способ локализации фронта волны в сигнале, основанный на выделении его высокочастотных составляющих.

Основная часть

В предлагаемом способе (рис. 1) сначала с использованием входных сигналов фазных величин $x_{\vartheta}(k)$, $\vartheta = A, B, C$ выполняется модальное преобразование [3] (блок MT). После чего, для сигнала $x_{\gamma}(k)$, имеющего наибольший уровень фронта первой волны [4] (определяется селектором рабочего волнового канала WCS), основным и дополнительным операторами линейного предсказания формируется оценка одного и того же произвольно выбранного отсчета сигнала волнового канала (в блоке FLT).

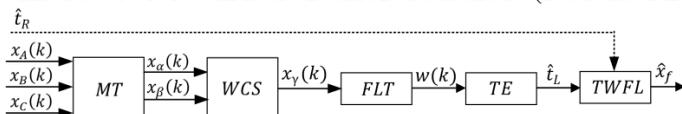


Рис. 1. Структурная схема локализации фронта волны в сигнале: $x_{\vartheta}(k)$, $\vartheta = A, B, C$ – сигналы фазных величин; MT – блок модального преобразования; $x_{\alpha}(k)$, $x_{\beta}(k)$ – сигналы воздушных волновых каналов; WCS – селектор рабочего волнового канала; $x_{\gamma}(k)$ – сигнал рабочего волнового канала; FLT , $w(k)$ – итоговый интерполирующий фильтр и сигнал на его выходе; TE – блок оценки момента возникновения фронта волны; \hat{t}_L , \hat{t}_R – оценка момента возникновения фронта волны на собственном и противоположном конце ЛЭП; $TWFL$ – блок определения расстояния до места повреждения

Основная идея заключается в том, что в каждый момент времени с помощью основного и дополнительного операторов линейного предсказания формируется оценка одного и того же произвольно выбранного отсчета сигнала. Операторы представляют собой линейные фильтры предсказания вперед и назад, а их АФЧХ выбираются таким образом, чтобы сигналы ошибки операторов были равны и противоположны по знаку. Основной и дополнительный операторы вместе образуют интерполирующий фильтр. Поэтому в отсутствии фронтов волн уровень сигнала на выходе фильтра, представляющего полусумму ошибок предсказания операторов, будет мал. Если же в сигнале появится фронт волны, то благодаря сдвигу во времени последовательностей отсчетов, используемых операторами, отсчет фронта волны вначале попадает только в окно обработки основного оператора, а окно обработки дополнительного оператора будет без отсчета фронта волны. Поэтому ошибка предсказания основного оператора $e_o(k)$ значительно возрастет, а ошибка предсказания дополнительного оператора $e_d(k)$ останется на уровне предсказания отсчета при отсутствии фронта волны. Это приведет к резкому повышению уровня сигнала на выходе фильтра:

$$w(k) = \frac{1}{2} [e_o(k) + e_d(k)], \quad (1)$$

что будет свидетельствовать о возникновении фронта волны на текущем отсчете k .

Операторы используют разные последовательности отсчетов, причем их сдвиг относительно друг друга может осуществляться по-разному [5]. Невязка дополнительного оператора представляет собой инвертированную по знаку невязку основного оператора, вычисленную по последовательности отсчетов со сдвигом на шаг назад. Поэтому АФЧХ невязок основного и дополнительного операторов будут противоположны по знаку и сдвинуты на угол $\alpha = \omega T_s$, равный угловому расстоянию между отсчетами на частоте ω .

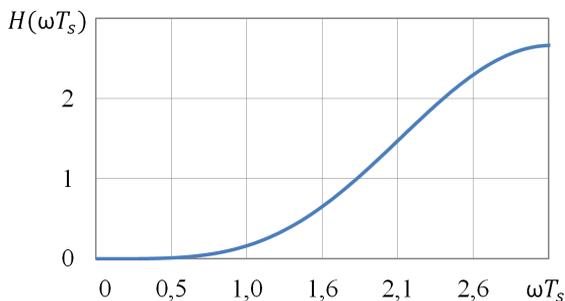


Рис. 2. АЧХ итогового интерполирующего фильтра

Рабочая область частот АФЧХ итогового интерполирующего фильтра (1) [рис. 2] должна располагаться в низкочастотной области – области значительного подавления входного сигнала. Тогда сигнал на выходе итогового фильтра при отсутствии во входном сигнале фронтов волн будет иметь невысокий уровень небаланса. Это важно, поскольку уровень небаланса влияет на выбор порога, по которому оценивается момент \hat{t}_L возникновения фронта волны (TE на рис. 1), который используется для определения расстояния до места повреждения ($TWFL$ на рис. 1).

Выводы

Предложен новый способ локализации фронта волны в сигнале. Его основная идея заключается в том, что в каждый момент времени с помощью основного и дополнительного операторов линейного предсказания формируется оценка одного и того же произвольно выбранного отсчета сигнала. В отсутствии фронтов волн уровень сигнала на выходе фильтра, представляющего полусумму ошибок предсказания операторов, будет мал. Если же в сигнале появится фронт волны, то благодаря сдвигу во времени последовательностей отсчетов, используемых операторами, отсчет фронта волны вначале попадает только в окно обработки основного оператора, а окно обработки дополнительного оператора будет без отсчета фронта волны. Это приведет к резкому повышению уровня сигнала на выходе фильтра, что будет свидетельствовать о возникновении фронта волны на текущем отсчете.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. A. Fedorov, V. Petrov, O. Afanasieva and I. Zlobina, "Limitations of Traveling Wave Fault Location," 2020 Ural Smart Energy Conference (USEC), Ekaterinburg, 2020, pp. 21-25, DOI: 10.1109/USEC50097.2020.9281153.

2. A. Fedorov, V. S. Petrov and V. Naumov, "Theory of single-end traveling wave fault location", 2021 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2021.

3. B. Kasztenny, "Improving Line Crew Dispatch Accuracy When Using Traveling-Wave Fault Locators," 46th Annual Western Protective Relay Conference, Spokane, Washington – 2019, – pp. 1 – 13.

4. V. Alekseev, V. Petrov and V. Naumov, "Invariance of Modal Transformations of Electrical Values in Traveling Wave Fault Locator", 2020 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), Sochi, Russia, 2020, pp. 1-5, DOI: 10.1109/ICIEAM48468.2020.9111912.

5. Петров В.С., "Цифровая система автоматического ограничения повышения напряжения сетей 110-750 кВ". Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Чебоксары, 2015.

Авторы:

Егоров Владимир Алексеевич, техник департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА», студент факультета энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова по направлению «Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем». E-mail: egorov_va@ekra.ru.

Фёдоров Алексей Олегович, инженер-исследователь 3 категории департамента автоматизации энергосистем ООО НПП «ЭКРА». Окончил в 2020 г. факультет энергетики и электротехники ЧГУ им. И.Н. Ульянова, получил степень магистра по направлению «Электроэнергетические системы, сети, электропередачи, их режимы, устойчивость и надежность». E-mail: fedorov_a@ekra.ru.

Петров Владимир Сергеевич, сведения об авторе приведены на стр. 33.

Антонов Владислав Иванович, сведения об авторе приведены на стр. 33.

Наумов Владимир Александрович, сведения об авторе приведены на стр. 34.