

ДИСТАНЦИОННОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕСТА ПОВРЕЖДЕНИЯ НА ЛИНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НОВОГО АДАПТИВНОГО АЛГОРИТМА

ПИРГОВ М. Г., начальник бюро системотехники ООО «НТЦ «Механотроника»

ЧЕПЕЛЕВ В. Н., инженер-системотехник бюро системотехники ООО «НТЦ «Механотроника»

Высокая надежность современных систем энергоснабжения обеспечивается системами релейной защиты и автоматики, осуществляющими защиту и своевременное селективное отключение поврежденных узлов. Однако для восстановления работоспособности поврежденного узла необходимо не только произвести качественное и селективное отключение, но и выполнить оперативное устранение повреждения с целью восстановления основной схемы электроснабжения с сохранением максимального количества резервных комбинаций. Один из факторов, влияющий на оперативность устранения неисправности – временной интервал установки точного места повреждения.

Учитывая географические особенности России, задача высокоточного дистанционного определения места повреждения (ДОМП) ЛЭП остается крайне важной и актуальной. ПУЭ в п.2.5.18 и п.1.6.23 однозначно определяет обязательное требование оснащения оборудования ВЛ 110 кВ и выше специальной аппаратурой ДОМП. Дополнительно, как

показала динамика рынка сбыта релейной защиты и автоматики (РЗА), многие энергокомпании предпочитают наличие функции ДОМП в микропроцессорных терминалах защиты сетей 6–10–35 кВ. И это неудивительно. Точное определение и своевременное устранение аварии экономит финансовые ресурсы энергокомпании. Таким образом, ДОМП востребован на рынке. Большинство производителей РЗА оперативно отреагировали на эту тенденцию, с переменным успехом и качеством разработав и внедрив собственные алгоритмы. И как показал практический опыт – не всегда успешно.

К основным факторам, снижающим точность работы ДОМП, относятся:

- неопределенность и неустойчивость переходного сопротивления короткого замыкания, приводящая к неустойчивости измеренных параметров КЗ (рис. 1);
- наличие «тока подпитки» короткого замыкания на линиях с двусторонним питанием, высокореактивная нагрузка, «выбег» двигателей, затухающие колебательные процессы в системе после отключения;
- погрешность измерений и неточность заданных априори параметров ЛЭП, со временем уточняемых службами эксплуатации по фактическим результатам.

Используемые в настоящее время математические модели позволяют частично компенсировать неопределенность переходного сопротивления КЗ, однако проведенные исследования, а главное, практические результаты показали, что расчетные методы несовершенны.

ООО «НТЦ «Механотроника», являясь первым в России самостоятельным разработчиком и производителем цифровой релейной защиты, было в числе первых российских компаний, допол-

нивших качественной функцией ДОМП свои изделия. К таким блокам относятся, например, БМРЗ-КЛ-13-33-13, БМРЗ-КЛ-13-33-12. Накопив богатейший опыт в цифровой обработке сигналов, в анализе переходных процессов в реальных электрических системах, специалисты ООО «НТЦ «Механотроника» в настоящий момент сделали следующий шаг в развитии этого направления. В результате проведенных исследований для применения в цифровых устройствах защиты разработан адаптивный принцип одностороннего ДОМП, обеспечивающий высокую точность определения расстояния до междуфазного повреждения. В основе разработанного принципа лежит известная основа – измерение полного комплексного сопротивления петли «фаза–КЗ–фаза» в течение всего процесса КЗ с последующей адаптивной цифровой обработкой и фильтрацией полученных данных.

В ходе обработки записанного процесса КЗ производится анализ отклонения вектора сопротивления от «нормального» состояния, описанного параметрами контролируемой линии. Результаты данного анализа используются при расчете мгновенных значений расстояния до короткого замыкания. Сложность данного анализа заключается в неустойчивости результата расчета сопротивления переходного процесса (неопределенность сопротивления электрической дуги, аperiodическая составляющая и т.д.). На рис. 2 наглядно показано это явление, полученное в результате экспериментов с упрощенной математической моделью ЛЭП с односторонним питанием. В начале аварии результат расчета расстояния (функция $L(t)$) значительно отличается от истинной величины расстояния до точки повреждения. Погрешность минимизи-

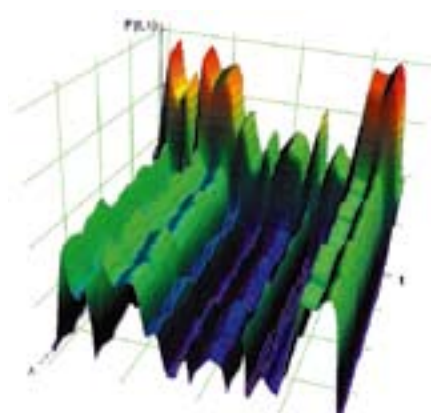


Рис. 1. Срез пространства поиска решений адаптивного алгоритма ДОМП

руется через некоторое время, которое в зависимости от фактических параметров энергосистемы при устойчивом КЗ может достигать 0,6 секунды. В случае неустойчивого КЗ функция $L(t)$ не стабилизируется. И главное, отключение аварии, как правило, происходит быстрее стабилизации режима для качественного расчета расстояния. Обращаем внимание читателей на тот факт, что в некоторые моменты времени, при определенных условиях значение $L(t)$ истинно!!!

Специалистами ООО «НТЦ «Механотроника» определен ряд целевых функций, отражающих степень стабильности процесса. Целевые функции используют как физические, так и статистические параметры анализируемого процесса, для решения задачи формируя в общей сложности трехмерное пространство поиска решения. Срез пространства поиска решений представлен на рис. 1 (стабильность процесса и близость к истине отображается более темным тоном со сглаженной, максимальной по высоте амплитудой и равномерной, большей площадью). Видно, что области оптимального результата малы и немногочисленны. Однако разработанный алгоритм позволяет выделить такие области и провести ДОМП с высочайшей точностью (рис. 3).

Используемый в алгоритме блок оценки отклонений позволяет дополнительно проанализировать поступающие данные и спрогнозировать возможное отклонение результата расчетов от реального места КЗ. Важнейшая роль в алгоритме отводится адаптивному фильтру на базе медианной фильтрации, выполняющему определение окончательного результата.

Расчетная погрешность для таких случаев составляет от 0,1 %, в зависимости от сложности случая, и намного превосходит реальные возможности прочих способов одностороннего ДОМП.

Работа представленного алгоритма была всесторонне испытана на многочисленных осциллограммах разнообразных реальных аварий.

Другим сложным случаем поиска решения является стабильный, но отличающийся от истины результат расчета расстояния. Какой участок принять за правильный результат? На рис. 4 представлен результат ДОМП анализа переходной аварии (переход КЗ на смежную линию), произошедшей на ВЛ 110 кВ «Северная-7». Реальное расстояние до места повреждения – 2,22 км; рас-

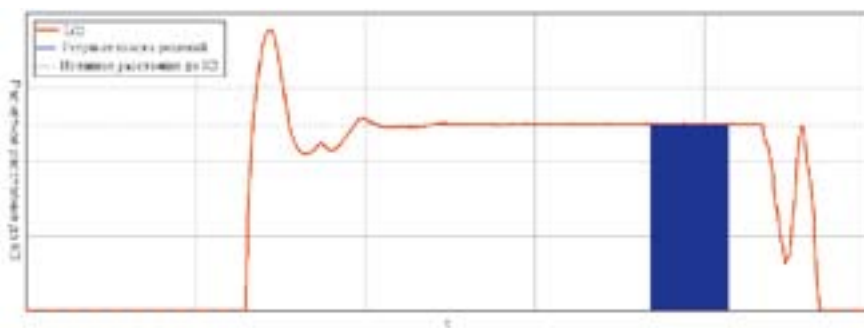


Рис. 2. Изменение стабильности результата расчета расстояния до точки повреждения в результате устойчивого двухфазного КЗ (получено с упрощенной модели ЛЭП)



Рис. 3. Результат работы адаптивного алгоритма ДОМП при анализе неустойчивого КЗ



Рис. 4. Результат работы ДОМП при анализе аварии на ВЛ-110 кВ

считанное алгоритмом ОМП – 2,19 км. И при таких неявных условиях адаптивный алгоритм имеет качественный результат.

Разработанный метод позволяет определять расстояние до места повреждения с высокой степенью точности как для стабильных, так и для нестабильных и перемежающихся коротких замыканий, учитывать и сглаживать отрицательное действие на результат расчета подпитки со стороны реактивной нагрузки. Разработанное адаптивное ядро применимо для реализации ДОМП в сетях различной конфигурации напряжением 6, 10, 35, 110, 220 кВ. Таким образом, сделан серьезный шаг в направлении развития адаптивных методов определения расстояния до места аварии.

ООО НТЦ «Механотроника», входящая в Группу компаний «ЭЛЕКТРОЦИТ – Самара» – передовое и динамично развивающееся предприятие с богатым кадровым, научным и производственным потенциалом. В ближайшее время на рынок будет представлен новый продукт БМРЗ-200, являющийся гармоничным продолжением серии БМРЗ-100. В составе функций БМРЗ-200 дополнительно к увеличенному составу функций защит и автоматики, возможностям коммуникации, будет реализован и новый адаптивный алгоритм ДОМП.

Ведется активная работа по реализации представленного метода в составе распространяемого бесплатно программного обеспечения «FastView», предназначенного для обработки и анализа аварийных осциллограмм, в том числе в формате «COMTRADE».