

Алгоритмическое моделирование в базисе мгновенных величин в условиях асинхронного режима

Подшивалин А.Н., ООО «Релематика», г. Чебоксары

Михайлов М.В.¹, ООО «Релематика», г. Чебоксары

Аннотация: Необходимость скорейшего предотвращения опасных условий работы энергосистемы требует от измерительных органов (ИО) быстроедействие срабатывания в режиме короткого замыкания (КЗ) и точность работы во всем диапазоне возможных частот в режиме асинхронного хода. Этим требованиям удовлетворяют измерительные органы, действующие в базисе мгновенных величин. В настоящей работе выполнено сравнение измерений, выполненных с использованием алгоритмических моделей на основе фильтров ортогональных составляющих и мгновенных величин.

Ключевые слова: распознавание режимов, быстроедействие, мгновенные значения, релейная защита, алгоритмическая модель.

Abstract: In the problem of prevention dangerous operating conditions of power system, the fault state requires fast operation of relay protection, and in the asynchronous state need accurate measuring in the whole range of possible frequencies of power system with blocking of certain functions of relay protection. These requirements can satisfy the measuring in the basis of instantaneous quantities. The paper shows the test results of the algorithmic models in the basis of instantaneous quantities and in the basis of orthogonal components.

Keywords: power system states detection, fast operation, instantaneous values, relay protection, algorithmic model.

Введение

Существующая классификация режимов работы энергосистемы имеет многоступенчатую структуру разделения видов повреждений и ненормальных режимов. В каждом режиме ожидается определенный набор воздействий от устройств релейной защиты и автоматики (РЗА). Точное и своевременное выявление вида режима в заданной точке сети позволяет выполнить скорейшее предотвращение и ликвидацию опасных условий работы энергосистемы. В режиме короткого замыкания (КЗ) требуется быстроедействие срабатывания, а в режиме асинхронного хода необходима точная работа измерительных органов защит во всем диапазоне возможных частот и, возможно, блокирование действия

¹ Михайлов Максим Васильевич, mikhaylov_mv@relematika.ru

отдельных функций РЗА. Этим требованиям удовлетворяют измерительные органы, действующие в базисе мгновенных величин. Использование мгновенных величин позволяет обойти недостатки, присущие цифровым фильтрам ортогональных составляющих.

В работе представлены результаты исследования режима асинхронного хода. Показаны результаты испытания алгоритмической модели, способной «перешагнуть» через элемент электрической сети и предоставить напряжения и токи в заданной точке наблюдения, даны точностные характеристики алгоритмической модели. Приведено сравнение результатов с традиционными измерительными органами на базе фильтров ортогональных составляющих.

Моделирование электрических процессов в линии электропередачи в базисе мгновенных величин

Алгоритмическое моделирование предполагает расчет электрических величин в заданной точке сети на основе определенного набора измерений. Рассмотрим RL-модель линии электропередачи, представленную на рис. 1. Уравнения модели в дискретной форме

$$\begin{cases} u_2(k) = u_1(k) - i_1(k) \cdot R - Li_1'(k) \\ i_2(k) = i_1(k) \end{cases}, \quad (1)$$

Уравнения (1) могут быть использованы для вычисления напряжения u_2 и тока i_2 по известным значениям напряжения u_1 , тока i_1 и производной тока i_1' . Один из способов расчета производной тока по времени i_1' связан с численным дифференцированием. Производную тока будем определять с применением разностных уравнений [1].

Если по линии электропередачи протекает емкостный ток значительной величины, то в модели необходимо дополнительно учесть поперечную емкостную проводимость. На рис. 2 представлена П-образная модель линии.

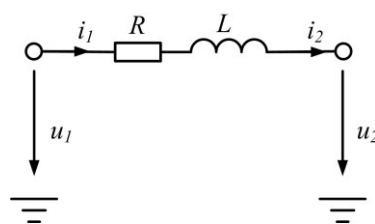


Рисунок 1 – RL-модель линии электропередачи

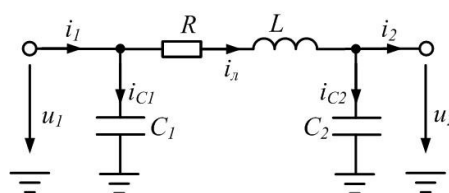


Рисунок 2 – П-образная модель линии электропередачи

Добавление в схему элементов емкости означает отбор тока, вычисление которого основано на производной напряжения по времени:

$$i_c(k) = Cu'(k).$$

П-образная модель линии электропередачи содержит три реактивных элемента, ток или напряжение на которых определяются уравнением с производной. Последовательно от «входа» модели к ее «выходу» необходимо решить три дифференциальных уравнения для каждого реактивного элемента. На каждом этапе решения точка замера «сдвигается» на один реактивный элемент ближе к «выходу» модели. Число таких этапов определяет порядок модели. Таким образом, П-образная модель линии электропередачи имеет третий порядок.

На рис. 3 приведено сравнение осциллограмм напряжения u_2 и тока i_2 в режиме асинхронного хода (АХ) на линии 500 кВ длиной 100 км, полученных с использованием алгоритмической модели линии (АМО) (RL- или П-образной модели) и измеренных в имитационной модели (ИМО). Входные величины АМО – напряжение u_1 и ток i_1 в начале линии, измеренные в ИМО. Относительная приведенная погрешность получена по выражению:

$$\Delta(a_2) = \frac{|\hat{a}_2 - a_2|}{A_{ном}} \cdot 100\%,$$

где $A_{ном}$ – номинальная величина тока или напряжения соответственно; a_2 – величина, измеренная в ИМО; \hat{a}_2 – оценка величины при помощи АМО. RL-модель не учитывает емкостную проводимость линии, что приводит к погрешности расчета тока i_2 до 10%, напряжения u_2 – до 0,2%. Погрешность расчета в П-образной модели достигает 0,03% для i_2 , 0,06% – для u_2 . Осциллограммы погрешностей обнаруживают преимущества П-модели при необходимости определения тока i_2 . Погрешности в режиме АХ имеют один порядок величины с погрешностями, наблюдаемыми в нагрузочном режиме.

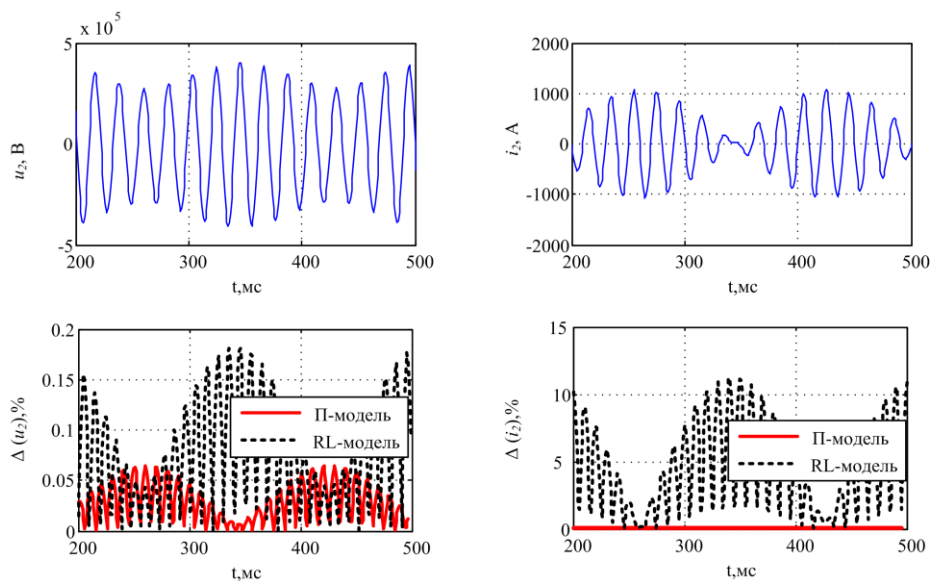


Рисунок 3 – Сравнение моделей в базисе мгновенных значений

Сравнение АМО, построенных в разных базисах

Для сравнения с описанными ранее моделями построена комплексная АМО, оперирующая ортогональными составляющими сигналов напряжения и тока на основной частоте. Комплексная АМО задана трехфазной однородной линией электропередачи с распределенными параметрами. Входные величины напряжения \underline{U}_1 и тока \underline{I}_1 определяются в каждый момент времени скользящим окном фильтра Фурье на периоде 20 мс. В задачах автоматики ликвидации асинхронного режима важной оказывается измеряемая величина разности фаз напряжений \underline{U}_1 и \underline{U}_2 : $\delta = \angle(\underline{U}_1; \underline{U}_2)$ [2]. На рис. 4 показано сравнение расчета разности фаз δ , полученной с помощью АМО в базисе комплексных и мгновенных величин. В среднем определение фазы напряжения в комплексной АМО запаздывает на 16 мс, тогда как АМО в базисе мгновенных величин дает результат в ту же миллисекунду. Кроме того, на рис. 5 показана вариация погрешности определения δ в комплексной АМО во времени. Для режима АХ с частотой скольжения 6 Гц погрешность определения δ непостоянна и может достигать 12° . Частота и амплитуда колебаний погрешности увеличиваются с ростом частоты скольжения. Эти особенности необходимо учитывать в структуре измерительного органа разности фаз напряжений в задаче АЛАР.

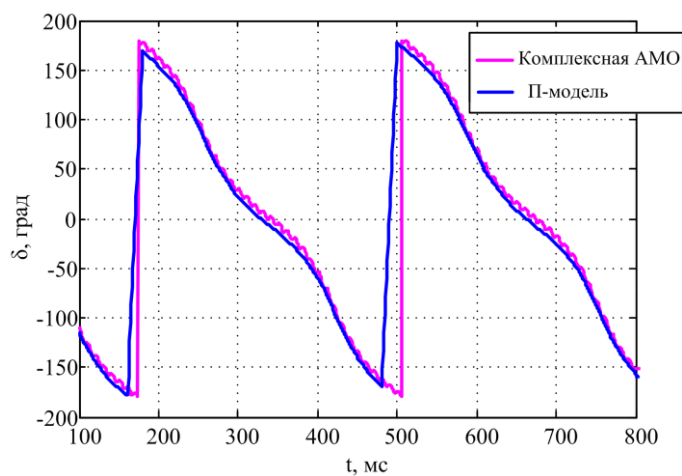


Рисунок 4 – Сравнение расчета разности фаз напряжений δ

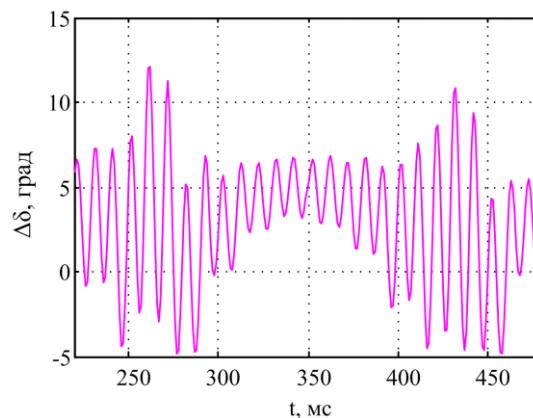


Рисунок 5 – Погрешность определения δ в комплексной АМО

Выводы

В работе представлены результаты исследования способа алгоритмического моделирования линий электропередачи в базисе мгновенных величин в условиях асинхронного режима. Расчеты показали, что погрешность моделирования напряжения удаленного конца линии при использовании RL- или П-образной модели удовлетворительная и не превышает 0,2% даже при значительном отклонении напряжения и тока от номинальной частоты. Выявлено, что АМО на основе фильтров ортогональных составляющих имеет запаздывание на 16 мс и погрешность до 12° относительно имитационной модели в режиме АХ.

Список литературы

1. *Турчак Л.И.* Основы численных методов / Л.И. Турчак, П.В. Плотников – М.: Физматлит, 2002. – 304 с.
2. *Наровлянский В.Г.* Современные методы и средства предотвращения асинхронного режима электроэнергетической системы / В.Г. Наровлянский – М.: Энергоатомиздат, 2004. – 360 с.