

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПАКЕТА MATHCAD**

*Аннотация:* Рассмотрена задача компьютерного моделирования аварийных ситуаций электрической станции с использованием математического пакета MathCad.

*Ключевые слова:* электрическая станция, аварийные ситуации, моделирование.

### **Актуальность**

Много предприятий и энергетических компаний поднимают вопрос о переоснащении устаревшей базы (модернизация электрических сетей и приборов 20-летней давности). Это подразумевает использование новых защитных систем, которые имеют расширенную функциональность и высокий уровень надежности. Защитные системы являются основной частью всего механизма, поскольку они предотвращают возникновение аварий, тем самым экономя средства на ремонт. Компьютерное моделирование позволяет промоделировать нормальную работу системы и аварийные ситуации, которые могут произойти в ней и, на основе полученных результатов, спроектировать защитные устройства. В устройствах релейной защиты реализуются следующие функции: трех уровневая максимальная токовая защита, защита от замыканий на землю и по токам нулевой последовательности, защита максимального и минимального напряжения, автоматическая частотная разгрузка, автоматическое ускорение при включении выключателя, резервирование отказа выключателя и автоматическое включение резерва, двухразовое или однократное автоматическое повторное включение.

В зависимости от сложности рассматриваемой системы, анализируемых процессов, круга решаемых задач, применяются различные подходы при разработке математических моделей электротехнических объектов. Существующие модели можно разделить на несколько классов: Точные модели, основанные на полных *ДУ*, учитывающие многие факторы, особенности конструкции элементов, изменение параметров при изменении режима и т.д. Такие модели разрабатываются обычно для отдельных машин или простейших схем. Они требуют точных исходных данных, сложных расчетов и не позволяют изучать поведение электрической системы в целом. Модели для расчетов в сложноконфигурированных сетях с большим количеством узлов, реализующие классическую модель, когда динамические свойства генераторов в *ДУ* учитываются демпферным моментом. Такие модели основаны, как правило, на упрощенных дифференциальных или алгебраических уравнениях, записанных для однолинейной схемы, из-за чего невозможно на-

блюдают фазные величины, анализировать несимметричные режимы и режимы качаний. Кроме того, такие модели позволяют получать сверхпереходные и установившиеся действующие значения величин при КЗ, но не дают возможности анализировать мгновенные значения.

### Объект моделирования

В качестве объекта моделирования будем рассматривать блочную электростанцию, типовая схема которой приведена на рис. 1, где приняты следующие обозначения: *БТ1, БТ2, БТ3* – блочные трансформаторы; *С1, С2* – электрические системы; *Л1, Л2* – типовые линии; *Г1, Г2, Г3* – генераторы; *СД* – синхронные двигатели; *АД* – асинхронные двигатели.

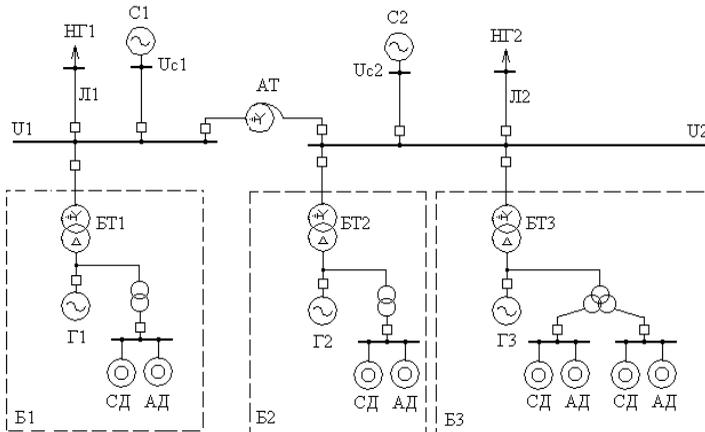


Рис. 1 – Схема моделируемой электростанции

Уравнения для определения напряжений в узлах записываются на основе первого закона Кирхгофа для производных токов в координатах  $a, b, c$  для каждого узла и в общем виде в матричной форме имеют вид:

$$AB = E + PZ, \tag{1}$$

где  $A$  – матрица узловых инверсных индуктивностей;  $B$  – вектор узловых напряжений;  $E$  – вектор скорости изменения задающих узловых токов;  $P$  – диагональная матрица коэффициентов затухания ветвей, подключенных к узлам;  $Z$  – вектор-столбец токов элементов схемы, подключенных к узлу. На рис. 2 представлена схема аналогичная схеме рис. 1, но в трехфазном изображении ( $j = a, b, c$ ), где приняты следующие обозначения: в ней общее количество узлов  $n = 11 \cdot 3 + 18 = 51$ . Принята 3-фазная схема для узлов 1 – 33 и 1-фазная схема нулевой последовательности для узлов 34 – 51: 34, 35 – нагрузки линий  $Л1, Л2$ ; 36, 37 – места замыканий на  $Л1, Л2$ ; 38, 39, 40 – нейтралы  $БТ1, БТ2, БТ3$ ; 41, 42, 43 – выводы  $Г1, Г2, Г3$ ;



Для расчетов токов короткого замыкания в сложных электрических сетях энергообъединений и энергосистем разработаны комплексные программы V-VI-1 - V-VI-50П2. [1-2] В основу программ положена работа с базовой математической моделью сети, которая позволяет работать со схемами объемом до 3000 электрических узлов. При расчете переходных процессов в энергосистеме выделяются участки, со схемами объемом до 100 узлов, которые представляют собой базовую модель района. Именно для базовой модели района, содержащей собственные и взаимные сопротивления и напряжения узлов до аварии, выполняется расчет переходных процессов, а остальная часть энергосистемы при этом эквивалентуруется по отношению к рассматриваемому району.

По программе могут выполняться следующие виды расчетов: многовариантные расчеты коротких замыканий и неполнофазных отключений ветвей для целей релейной защиты в автоматически выделяемых компьютером районах сложной электрической сети. Могут рассчитываться любые виды  $KЗ$  – трехфазное, двухфазное, двухфазное  $KЗ$  на землю и однофазное.

Для расчета динамической устойчивости сложных энергосистем разработаны программы IV-2 - IV-4. В этих программах расчет квазистационарного электрического режима на интервале  $ПП$  выполнялся итерационным методом Гаусса-Зейделя, модифицированным с учетом особенностей задания генерирующих узлов. Моделирование  $APB$  генераторов и динамических характеристик нагрузки в сочетании с объемом решаемых задач (до 70 узлов, 25 генераторов) вполне удовлетворяло требованиям практики и создавало возможность промышленного использования программы.

Для анализа переходных процессов и квазиустановившихся режимов в электрических системах, исследования законов регулирования и свойств систем управления коммутирующим оборудованием, а также законов регулирования возбуждения вращающихся машин создан вычислительный комплекс  $РИТМ$  [3].

В состав исследуемых электрических систем могут входить: трансформаторы и автотрансформаторы, реакторы, вращающиеся электрические машины с различными системами регулирования возбуждения,  $ЛЭП$  переменного и постоянного токов, коммутирующие аппараты и устройства (вентили, разрядники, выключатели и т.п.), элементы электрических систем, которые могут быть представлены расчетными схемами из резисторов, индуктивностей, конденсаторов, идеальных ключей, источников  $ЭДС$  и тока, идеальных трансформаторов. Вычислительный комплекс располагает непрерывными и дискретными моделями типовых элементов, образующих расширяемые библиотеки и активизируемые заданием числового материала. Формирование расчетной схемы исследуемой электрической системы производится автоматически по вводимой пользователем информации о соединениях внешних полюсов типовых элементов.

Для исследования переходных процессов в рассматриваемой системе может быть использована компьютерная программа, блок-схема которой приведена на рисунке 3 [4].

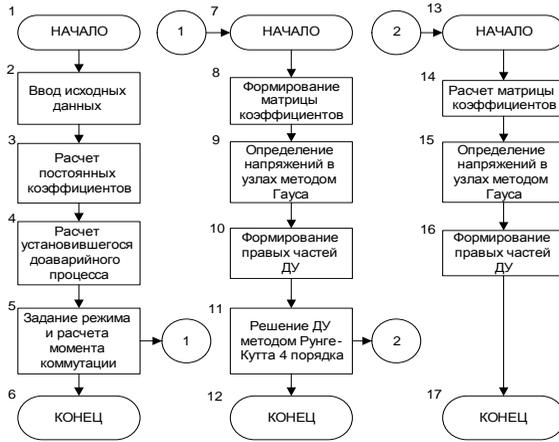


Рис. 3 – Блок-схема алгоритма формирования математической модели ЭС

В данной работе для решения задачи компьютерного моделирования аварийных ситуаций предлагается использовать математический пакет Mathcad 13.

Ниже приведены результаты вычислений системы с помощью Mathcad в графической форме:

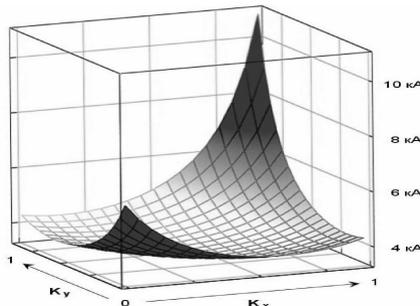


Рис. 4 – Ток замыкания на землю в точках замыкания в зависимости от расположения точек замыкания на линиях, на 1-ой линии на землю замкнута фаза C, на 2-ой линии – фаза A.

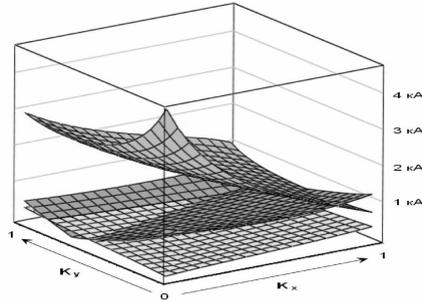


Рис. 5 – Ток замыкания в линиях в зависимости от расположения точек замыкания на линиях в зависимости от расположения точек замыкания на линиях:  $A$  - красный, фаза,  $B$  – желтый, фаза  $C$  – зеленый (на 1-ой линии на землю замкнута фаза  $C$ , на 2-ой линии – фаза  $A$ ).

### Выводы

В работе решена актуальная научно-прикладная задача компьютерного моделирования аварийных ситуаций электрической станции для уточнить параметры срабатывания устройств РЗА, что позволяет повысить надежность работы электрической системы в целом.

### Литература

1. Электрические машины. Копылов И.П.- М.: Энергтоиздат, 1986. - 360 с.
2. Алгоритмизация расчетов переходных процессов в автономных электроэнергетических системах. Кетнер К.К., Козлова И.А., Сендюрев В.М. - Рига: Зинатне, 1981. - 166 с.
3. Математическое моделирование электродвигателей собственных нужд электрических станций. Учебное пособие. Сивокобыленко В.Ф., Костенко В.И. - Донецк: ДПИ, 1979. - 110 с.
4. Математическое моделирование электростанции для анализа переходных процессов и оценки поведения устройств релейной защиты. Межекова М.А.– 68 с.

Отримано 15.12.2009 р.