

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.

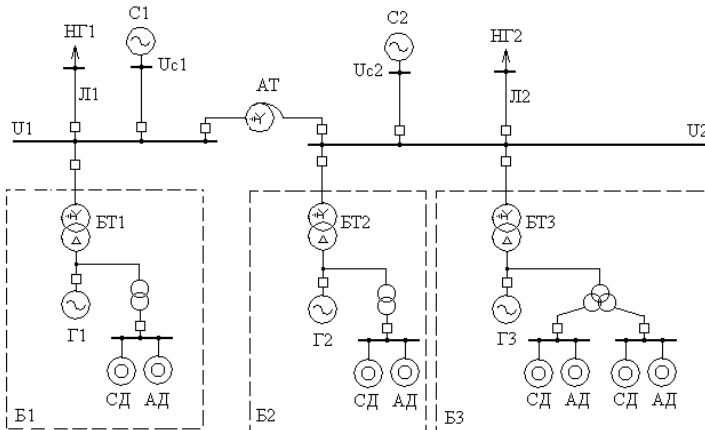


Рис. 1 – Схема моделируемой электростанции

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 $Г1, Г2, Г3$;

44, 45, 46 – секции *СН*; 47, 48 – системы *С1*, *С2*; 49, 50 – места замыканий на системах шин *U1*, *U2*; 51 – нейтраль *АТ*.

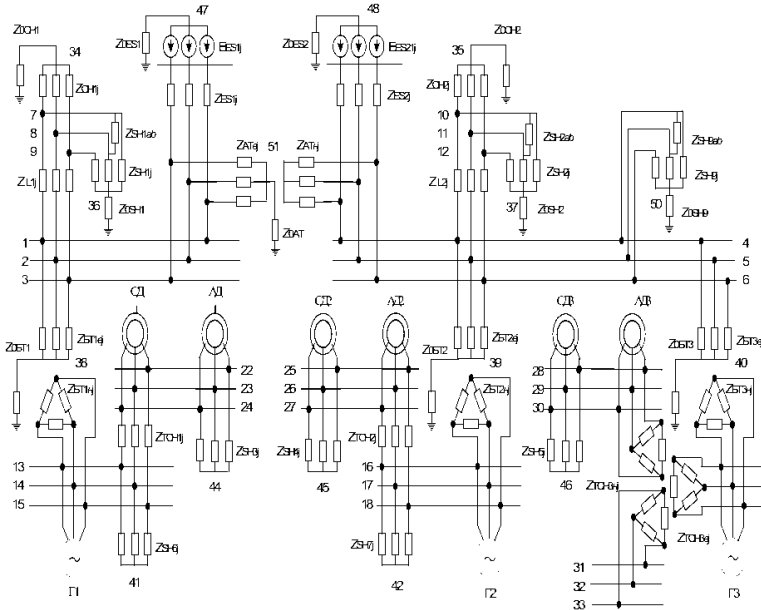


Рис. 2 – Схема моделируемой электростанции

При этом уравнения (1) принимают вид (2):

$$\begin{pmatrix}
 \Delta\lambda_{a1} & \Delta\lambda_{ab1} & \Delta\lambda_{ac1} & : & \Delta\lambda_{ad1} & \Delta\lambda_{ab1l} & \Delta\lambda_{ac1l} & : & \\
 \Delta\lambda_{ab1} & \Delta\lambda_{b1} & \Delta\lambda_{bc1} & : & \Delta\lambda_{bd1} & \Delta\lambda_{b1l} & \Delta\lambda_{bc1l} & : & \\
 \Delta\lambda_{ac1} & \Delta\lambda_{bc1} & \Delta\lambda_{c1} & : & \Delta\lambda_{cd1} & \Delta\lambda_{bc1l} & \Delta\lambda_{c1l} & : & \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\
 \Delta\lambda_{ad1} & \Delta\lambda_{ab1l} & \Delta\lambda_{ac1l} & : & \Delta\lambda_{d1} & \Delta\lambda_{ab1l} & \Delta\lambda_{ac1l} & : & \Delta\lambda_{ad0m} \\
 \Delta\lambda_{bd1} & \Delta\lambda_{b1l} & \Delta\lambda_{bc1l} & : & \Delta\lambda_{bd1} & \Delta\lambda_{b1l} & \Delta\lambda_{bc1l} & : & \Delta\lambda_{bd0m} \\
 \Delta\lambda_{cd1} & \Delta\lambda_{bc1l} & \Delta\lambda_{c1l} & : & \Delta\lambda_{cd1} & \Delta\lambda_{bc1l} & \Delta\lambda_{c1l} & : & \Delta\lambda_{cd0m} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\
 \Delta\lambda_{a0l} & \Delta\lambda_{b0l} & \Delta\lambda_{c0l} & : & & & & : & \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \\
 & & & \Delta\lambda_{a0m} & \Delta\lambda_{b0m} & \Delta\lambda_{c0m} & : & &
 \end{pmatrix}
 \begin{pmatrix}
 B_{a1} \\
 B_{b1} \\
 B_{c1} \\
 \dots \\
 B_{d1} \\
 B_{b1l} \\
 B_{c1l} \\
 B_{d1l} \\
 \dots \\
 B_{a0l} \\
 E_{a1} \\
 E_{b1} \\
 E_{c1} \\
 \dots \\
 E_{d1} \\
 E_{b1l} \\
 E_{c1l} \\
 E_{d1l} \\
 \dots \\
 E_{a0l} \\
 E_{b0l} \\
 E_{c0l}
 \end{pmatrix}
 =
 \begin{pmatrix}
 P_{a1} Z_{a1} \\
 P_{b1} Z_{b1} \\
 P_{c1} Z_{c1} \\
 \dots \\
 P_{d1} Z_{d1} \\
 P_{b1l} Z_{b1l} \\
 P_{c1l} Z_{c1l} \\
 P_{d1l} Z_{d1l} \\
 \dots \\
 P_{a0l} Z_{a0l} \\
 P_{b0l} Z_{b0l} \\
 P_{c0l} Z_{c0l}
 \end{pmatrix}
 +
 \begin{pmatrix}
 P_{a1} Z_{a1} \\
 P_{b1} Z_{b1} \\
 P_{c1} Z_{c1} \\
 \dots \\
 P_{d1} Z_{d1} \\
 P_{b1l} Z_{b1l} \\
 P_{c1l} Z_{c1l} \\
 P_{d1l} Z_{d1l} \\
 \dots \\
 P_{a0l} Z_{a0l} \\
 P_{b0l} Z_{b0l} \\
 P_{c0l} Z_{c0l}
 \end{pmatrix}
 , \quad (2)$$

где $l = 1, 2, \dots, 11$; $m = 34, 35, \dots, 51$; матрица Λ включает собственные (Λ) и взаимные ($\Delta\Lambda$) инверсные индуктивности, и имеет размер 51×51 .

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].

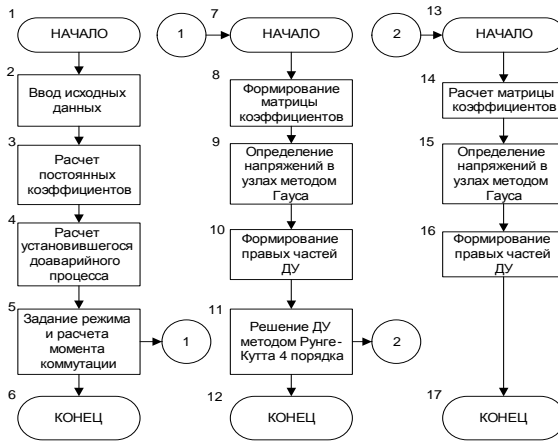


Рис. 3 – Блок-схема алгоритма формирования математической модели ЭС

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:

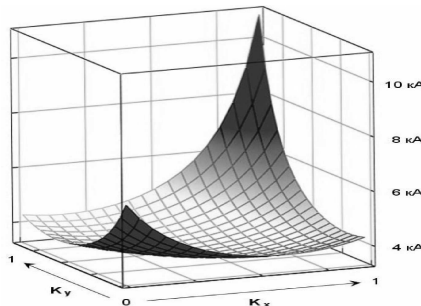


Рис. 4 – Ток замыкания на землю в точках замыкания в зависимости от расположения точек замыкания на линиях, на 1-ой линии на землю замкнута фаза C, на 2-ой линии – фаза A.

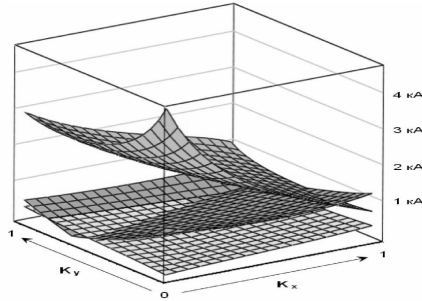


Рис. 5 – Ток замыкания в линиях в зависимости от расположения точек замыкания на линиях в зависимости от расположения точек замыкания на линиях: *A* - красный, фаза, *B* – желтый, фаза *C* – зеленый (на 1-ой линии на землю замкнута фаза *C*, на 2-ой линии – фаза *A*).

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.