

Айдарова А.Р.

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРИ РЕШЕНИИ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ**

A.R. Aidarova

**COMPUTER MODELING AT THE DECISION OF APPLIED PROBLEMS
OF ELECTRIC POWER INDUSTRY**

УДК: 004.94:519.677:621.31

Рассматриваются вопросы компьютерного моделирования при исследовании влияния качества электроэнергии на величину потерь в элементах распределительной сети в переходном режиме.

Questions of computer modeling are considered of research of influence of quality of the electric power at a size of losses in elements of distributive network in a transitional mode.

Одной из важных прикладных задач, требующих компьютерное моделирование, является исследование влияния качества электрической энергии на величину потерь энергии в электрических сетях. При этом, элементы электрической сети в модели, представляются в виде связанной совокупности схем замещения отдельных элементов, и точность расчета потерь зависит, насколько полно отражены в этих схемах замещения существенные процессы, влияющие на его величину.

Рассмотрим, как изменяются потери в элементах электрической сети в переходном режиме, когда трехфазный источник напряжения работает на несимметричную нагрузку.

Эту задачу можно решить, используя возможности Simulink (S) и SimPowerSystems (SPS). При этом мы можем не только моделировать работу

системы во временной области, но выполнять различные виды анализа таких систем.

Методика создания SPS – модели ничем не отличается от методики создания модели на основе базовой библиотеки Simulink. Так же, как и для обычной Simulink – модели, необходимо выполнить расстановку блоков на схеме, задать их параметры, соединить блоки и установить параметры расчета модели в целом. Для SPS – моделей доступны все возможности Simulink. Однако SPS – модели имеют и некоторые особенности, одна из которых то, что Simulink – блоки и Sim Power Systems – блоки не могут быть непосредственно соединены друг с другом. Сигнал от S – блока можно передать к SPS – блоку через управляемые источники тока или напряжения, а наоборот – с помощью измерителей тока или напряжения [1].

На рис. 1 показана схема с использованием трехфазного источника напряжения, подключаемого к несимметричной трехфазной нагрузке, а на рис.2 a,b,c,d - результаты моделирования. Токи в нагрузке измерены с помощью Multimeter, а для исследования потерь электроэнергии в нагрузках каждой фазы в переходном режиме использована выше отмеченная особенность SPS – модели,

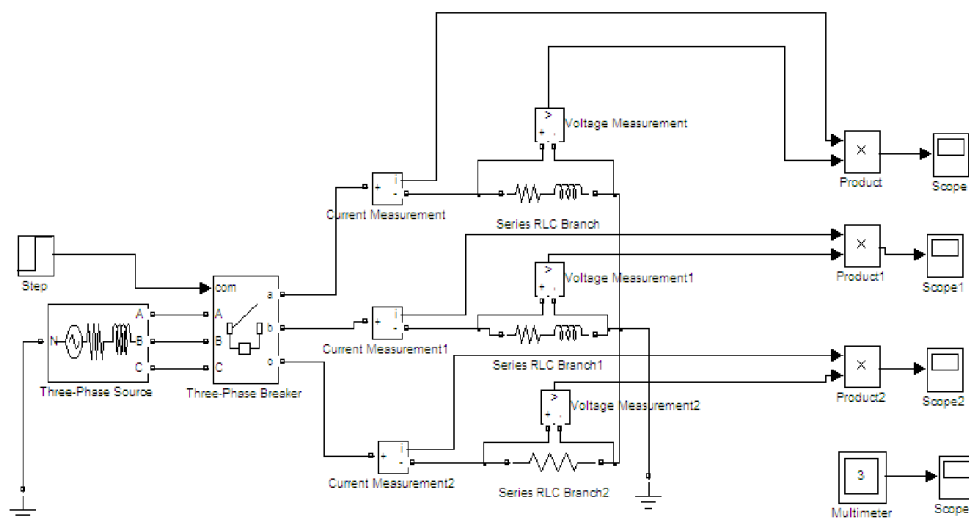


Рис. 1. Работа трехфазного источника напряжения на несимметричную нагрузку

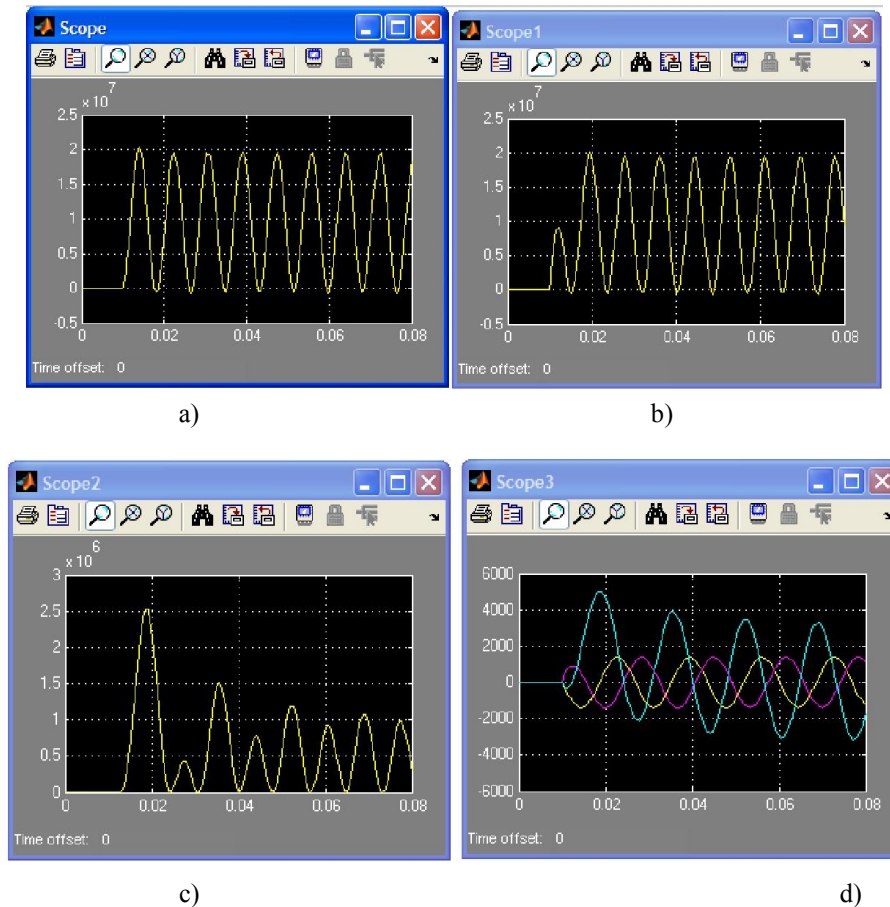


Рис. 2. Результаты моделирования: *a, b, c* – графики изменения потерь электрической энергии в соответствующих фазах; *d* – графики изменения токов в фазах А, В, С

Схема замещения многопроводной линии (рис. 3) состоит из распределенных индуктивности и емкости, представляющих магнитные и электростатические характеристики воздушных линий (ВЛ), а также сопротивления и проводимости, представляющие линейные потери. Для провода *l* можно записать следующие уравнения для напряжения и тока [2]:

$$-\frac{\partial u_l}{\partial x} = \sum_{m=1}^n L_{lm} \frac{\partial i_m}{\partial t} + R_l i_l.$$

$$-\frac{\partial i_l}{\partial x} = \sum_{m=1}^n C_{lm} \frac{\partial}{\partial t}(u_l - u_m) + C_{ll} \frac{\partial u_l}{\partial t} + G_l u_l.$$

где *x* - координата вдоль линии; *t* - время.

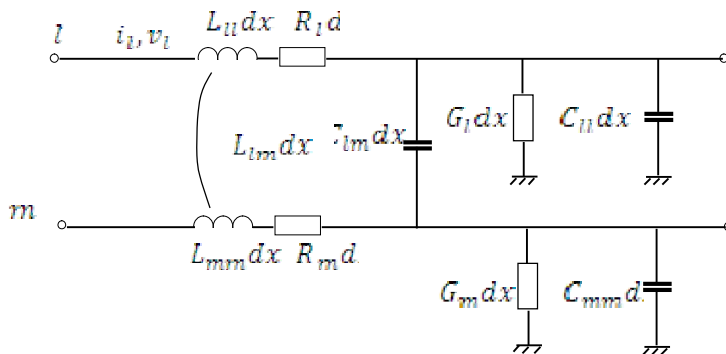


Рис. 3. Бесконечно малый элемент двух фаз многопроводной линии:

R_l, L_{ll}, C_{ll}, G_l – сопротивление, индуктивность, емкость и активная проводимость утечки на землю провода *l* на единицу длины, L_{lm}, C_{lm} – взаимные индуктивность и емкость между проводами *l* и *m* на единицу длины

Так как физическое понимание сопротивлений, токов и напряжений при использовании моделей многопроводной (трехфазных) взаимосвязанных линий электропередач с возвратом тока в землю затруднено, трехфазная линия может быть представлена своей однофазной моделью прямой последовательностью и П-образной схемой замещения.

Для длинных линий применяется последовательное соединение П-образных схем, что позволит получить точные значения напряжений и токов, на которые оказывает влияние эффект стоячей волны.

Параметры ВЛ рассчитываются из линейных геометрических характеристик. Расчетные параметры представляются в виде последовательных полных удельных и параллельных полных проводимостей. Эти параметры учитывают токи, возвращенные в землю, и характеристики воздушных проводов и представляют их в расчетах.

Определение параметров ВЛ, таких как активное и индуктивное сопротивление; ёмкостная и активная проводимости, требует большой объем

расчетных работ. Расчеты значительно усложняются, если учесть потери на корону и то, что фазные провода могут быть расщепленными и выполненными из стальных проводов. Кроме того, одновременный учет влияния земли и короны является чрезвычайно сложной задачей, которая решается только с помощью вычислительных машин [3].

Рассмотрим решение другой прикладной задачи электроэнергетики с использованием графического интерфейса пользователя Powergui. Блок Powergui является инструментом графического интерфейса пользователя и обеспечивает решение следующих задач: расчет схемы векторным методом; расчет установившегося режима; анализ схемы с помощью инструмента SimulinkLTI-Viewer; определение полного сопротивления цепи; выполнение гармонического анализа; создание файла характеристик намагничивания для модели трансформатора с учетом насыщения сердечника; вычисление параметров линии электропередачи и т.д. **Расчет параметров линии электропередачи.**

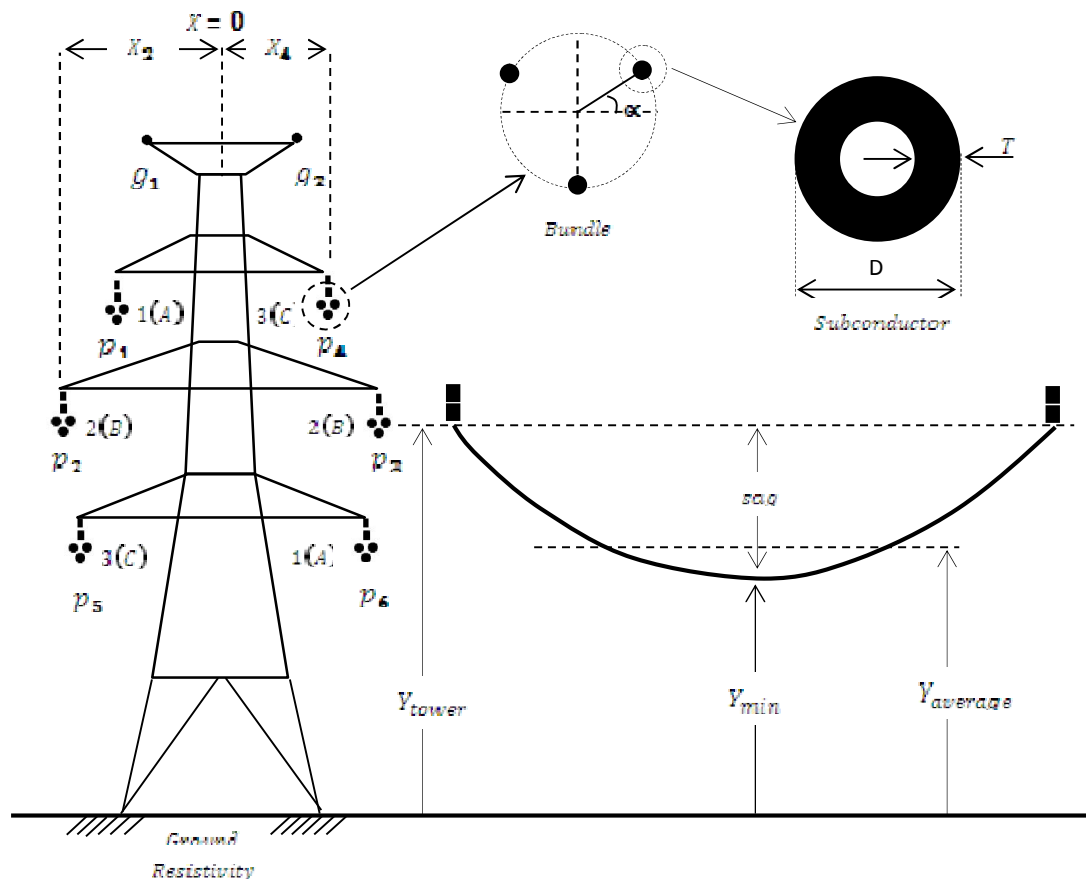


Рис. 4. Расчетная модель ЛЭП

Инструмент ComputeR LC Line Parameters обеспечивает автоматическое определение параметров моделей линий электропередачи на основании характеристик проводов и геометрических размеров линии (рис. 4) [1].

Окно инструмента приведено на рис. 5.

Для определения параметров ЛЭП необходимо ввести следующие данные - **Units**: [Система единиц]. Если выбрано **metric**, то геометрические размеры задаются в метрах; если **english**, то геометрические размеры провода (фазы) задаются в дюймах, а размеры, определяющие расположение провода (фазы), - в футах.

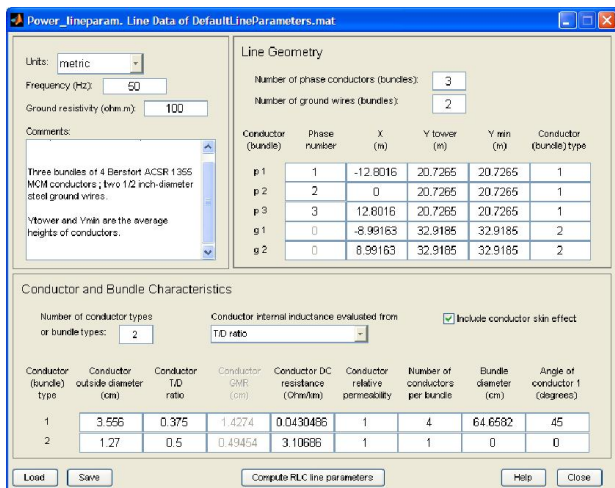


Рис. 5. Окно инструмента Compute RLC Line Parameters

- **Frequency (Hz):** [Частота]. Частота (Гц), для которой будут рассчитываться параметры;
- **Ground resistivity (Ohm · m):** [Сопротивление земли (Ом · м)]. Удельное сопротивление земли (Ом · м). Этот параметр может иметь значение, равное 0.
- **Number of phase conductors (bundles):** [Количество фазных проводов (расщепленных фаз)].
- **Number of ground wires:** [Количество заземленных проводов]. Параметр задает число грозозащитных тросов ЛЭП.
- **Conductor (bundle):** [Обозначение провода (расщепленная фаза)]. Фазные проводники обозначаются как p1, p2 p3 и т.д. Грозозащитные тросы – как q1, q2 и т.д.
- **Phase number:** [Номер фазы]. Фазы нумеруются 1, 2, 3 и т. д. Грозозащитные тросы имеют номер 0. **X(m):** [Расстояние X(м)]. Горизонтальное положение проводника (см. рис. 2).
- **Ytower (m):** [Расстояние Ytower (м)]. Расстояние от точки крепления проводника до земли (см. рис. 2). **Ymin(m):** [Расстояние]. Минимальное расстояние от проводника до земли (см. рис. 4).
- **Conductor (bundle) tupe:** [Тип проводника (фазы)]. Номер типа проводника для данной фазы. Количество типов проводников и их параметры задаются в панели **Conductor and Bundle Characterise**, которая расположена в нижней части окна.
- **Number of conductor tupes or bundle tupes:** [Количество типов проводов или расщепленных фаз]. Параметр задает количество типов фазных проводов (включая расщепленные фазы).
- **Include conductor skin effect:** [Учитывать скин-эффект]. При установке флажка учитывается эффект вытеснения тока на поверхность проводника.
- **Conductor internal inductance evaluated from:** [Вычислять собственную индуктивность исходя из]. Параметр определяет набор исходных данных, по которым рассчитывается собственная индуктивность провода. Параметр может иметь следующие: T/Dratio – отношение T/D для полого

проводника, где T – толщина проводника и D – наружный диаметр. Этот параметр может измениться между 0 и 0,5. Значение 0,5 задает сплошную жилу; Geometric Mean Radius (GMR) – средний геометрический радиус. Величина параметра обычно предоставляется производителем провода; ReactanceXaat 1- footspacing (or 1- meters rasingif the Unitsparameterissettometric) – реактивное сопротивление проводника на единицу длины (1 м или 1 фут, в зависимости от выбранной системы единиц).

- **Conductor out sidediameter (cm):** [Внешний диаметр проводника (см)].
- **Conductor DCresistance(Ohm/km):** [Удельное активное сопротивление проводника (Ом/км)]. Удельное активное сопротивление проводника на единицу длины.
- **Conductor relativepermeability:** [Относительная магнитная проницаемость проводника].
- **Number of conductor perbundle:** [Количество проводников в расщепленной фазе].
- **Bundlediameter(cm):** [Диаметр расщепленного проводника (см)]. В случае, если в фазе только один проводник, значение параметра равно 0.
- **Angleof conductor 1 (degrees):** [Угол проводника №1 (град)]. Угол α расположения первого проводника в расщепленной фазе относительно линии, параллельной земле (см. рис.4).

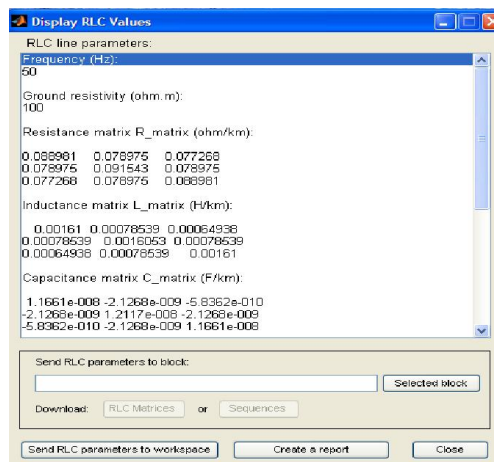


Рис. 6. Окно результатов расчета параметров ЛЭП

Параметр определяет ориентацию проводников в расщепленной фазе. В случае, если в фазе только один проводник, значение параметра равно 0. Для вычисления параметров линии необходимо нажать кнопку **ComputeR LC Line Parameters** в нижней части окна. Результаты расчета будут выведены в отдельное окно (рис.6).

Заключение. Из выше сказанного следует, что новые технологии, автоматизирующие расчётные работы значительно уменьшают рутинные работы исследователя, повышая производительность его работы, и экономя время для творчества.

Литература:

1. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; Спб.: Питер, 2008. - 288 с.: ил.
2. Основы теории перенапряжений в электрических сетях: Пер. с англ./ Дж. П. Бикфорд, Н. Мюлине, Дж. Р. Рид – М.: Энергоиздат, 1981. – 168 с.
3. Базуткин В. В., Дмоховская Л. Ф. Расчеты переходных процессов и перенапряжений. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 328 с., ил.

Рецензент: к.т.н., профессор Суеркулов М.С.
