

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ. ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ

УДК 378:004

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЛИННОЙ ЛИНИИ С ПОМОЩЬЮ MS EXCEL

Е. Б. Винокуров, Ю. А. Меркушова, Н. П. Моторина

ФГБОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет», г. Тамбов

Рецензент д-р техн. наук, профессор А. П. Денисов

Ключевые слова и фразы: графики распределения напряжения и тока; моделирование процессов в длинной линии; режимы работы длинной линии; цепи с распределенными параметрами.

Аннотация: Рассмотрена возможность применения табличного процессора MS Excel при изучении дисциплины «Теоретические основы электротехники». Приведен конкретный пример моделирования различных режимов работы длинной линии.

Дисциплина «Теоретические основы электротехники» является основой подготовки бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника». В данной дисциплине есть разделы, не рассматриваемые в общей электротехнике (цепи с распределенными параметрами, электрическое поле в диэлектриках и проводящих средах и т. п.). Для проведения лабораторных работ по указанным разделам требуется узкоспециализированное дорогостоящее оборудование. Разумной альтернативой лабораторному эксперименту может служить компьютерное моделирование, выбор современного программного обеспечения для которого весьма широк и разнообразен. В работе [1] рассматривается применение пакета компьютерной математики Mathcad, в работе [2] – применение табличного процессора MS Excel в учебном процессе. В работах [3, 4] предлагается использование MS Excel для проведения электротехнических расчетов. Расчет электрических цепей постоянного тока требует решения системы алгебраических уравнений. Для этого используются функции для работы с матрицами. Расчет цепей переменного тока выполняется методом комплексных амплитуд с использованием функций для работы с комплексными числами.

Винокуров Евгений Борисович – кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры «Электроэнергетика», e-mail: eug.vinokurov@yandex.ru; Меркушова Юлия Андреевна – студентка; Моторина Наталья Петровна – кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Электроэнергетика»; ТамбГТУ, г. Тамбов.

Рассмотрим возможность моделирования процессов в длинной линии. Длинными линиями называют линии, геометрическая длина которых l сравнима с длиной волны λ питающего ее генератора. Для одного и того же момента времени ток и напряжение непрерывно изменяются при переходе от одной точки (сечения) линии к соседней точке, то есть являются функциями не только времени, но и пространственной координаты.

На рис. 1 схематически изображена линия длиной l , подключенная левым концом к генератору переменной ЭДС \dot{E} , а правым – к нагрузке с сопротивлением \underline{Z}_H . Пространственная координата x отсчитывается от конца линии к началу. На входе линии действуют напряжение \dot{U}_1 и ток \dot{I}_1 , на выходе – \dot{U}_2 и \dot{I}_2 соответственно.

Если заданы напряжение и ток в конце линии, то уравнения линии имеют вид:

$$\begin{aligned}\dot{U}(x) &= \dot{U}_2 \cos(\beta x) + j Z_B \dot{I}_2 \sin(\beta x); \\ \dot{I}(x) &= j \frac{\dot{U}_2}{Z_B} \sin(\beta x) + \dot{I}_2 \cos(\beta x).\end{aligned}$$

где $\beta = 2\pi/\lambda$; Z_B – волновое сопротивление линии; j – мнимая единица.

При проведении весьма простого на первый взгляд эксперимента возникает ряд проблем. Для выполнения условия $l \approx \lambda$ требуется или линия очень большой длины, или генератор сверхвысоких частот. И то, и другое трудно реализовать в рамках лаборатории по теоретическим основам электротехники, поэтому изучение стационарных режимов работы длинной линии при гармоническом воздействии предлагается проводить на основе компьютерного моделирования.

В линии без потерь существуют несколько наиболее характерных режимов работы. Рассмотрим режим холостого хода, когда сопротивление нагрузки $\underline{Z}_H = \infty$ и ток в конце линии $I_2 = 0$ (рис. 2). В этом случае

$$\dot{U}(x) = \dot{U}_2 \cos(\beta x); \quad \dot{I}(x) = j \frac{\dot{U}_2}{Z_B} \sin(\beta x).$$

Действующие значения напряжения и тока рассчитываются по формулам:

$$U(x) = U_2 |\cos(\beta x)|; \quad I(x) = \frac{U_2}{Z_B} |\sin(\beta x)|.$$

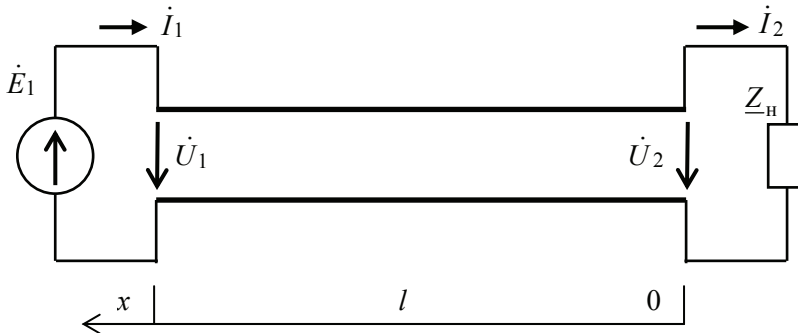


Рис. 1. Схема длинной линии с отображением пространственной координаты

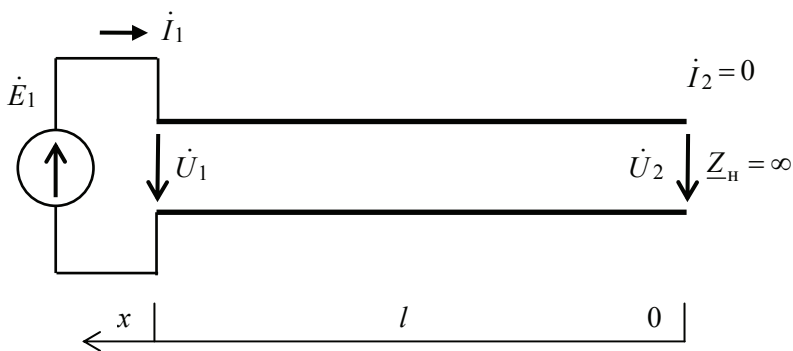


Рис. 2. Длинная линия в режиме холостого хода

Для удобства моделирования строятся графики распределения приведенных значений напряжения U/U_{\max} и тока I/I_{\max} по длине линии. Длина также берется в относительных единицах: $l = \lambda$ ($x_{\max} = 1$, генератор на правом конце линии, нагрузка – на левом).

Согласно синтаксиса MS Excel соотношения для U/U_{\max} и I/I_{\max} имеют вид:

$$=ABS(COS(2*ПИ()*A2));$$

$$=ABS(SIN(2*ПИ()*A2)).$$

Фрагмент листа Excel

№ строки	x	U/U_{\max}	I/I_{\max}
1	1	1	0
2	0,95	0,95105652	0,30901699
3	0,90	0,80901699	0,58778525
...
21	0,05	0,95105652	0,30901699
22	0	1	0

Для построения графиков составим таблицу приведенных значений напряжения и силы тока в линии в зависимости от расстояния x от конца линии (ряд промежуточных значений для краткости пропущен).

По данным таблицы построим графики интересующих нас зависимостей $\frac{U}{U_{\max}} = f_1(x)$; $\frac{I}{I_{\max}} = f_2(x)$

(рис. 3).

Полученные в результате моделирования графики аналогичны графикам, построенным по результатам реального эксперимента.

Предложенная методика весьма проста и в то же время достаточно адаптивна. С ее помощью можно проводить исследование всех основных режимов работы длинной линии, а также моделировать некоторые процессы из раздела «Теория электромагнитного поля».

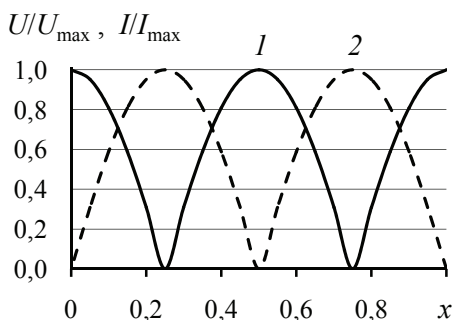


Рис. 3. Графики распределения приведенных значений напряжения U/U_{\max} (1) и тока I/I_{\max} (2) по длине линии

Список литературы

1. Фриск, В. В. Основы теории цепей. Расчеты и моделирование с помощью пакета компьютерной математики Mathcad / В. В. Фриск. – М. : СОЛОН-Пресс, 2006. – 88 с.

2. Использование Excel в информационных технологиях: методические разработки / сост.: В. Г. Матвейкин, Б. С. Дмитриевский, С. Е. Хлебников. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун.-та. – 2009. – 36 с.

3. Численные методы в электротехнических расчетах / М. И. Потапочкина [и др.] // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2011. – № 3. – С. 141 – 145.

4. Использование возможностей MS Excel для электротехнических расчетов / Е. Б. Винокуров [и др.] // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В. И. Вернадского. – 2010. – № 7–9. – С. 73 – 76.

Simulation of Long Lines by MS Excel

E. B. Vinokurov, Yu. A. Merkushova, N. P. Motorina

Tambov State Technical University, Tambov

Key words and phrases: circuits with distributed parameters; current and voltage graphs of distribution; operating conditions of long line; process simulation in long line.

Abstract: The possibility of using MS Excel spreadsheet application in the study of the subject “Theory of Electrical Engineering” has been analyzed. The concrete example of modeling different operating modes of a long line has been studied.

© Е. Б. Винокуров, Ю. А. Меркушова,
Н. П. Моторина, 2013