

**КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ
В ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ**

Р.Е.Нестеров, Ф.Ю.Канев

Научный руководитель: доцент, к.м.ф.н. Н.А. Мakenова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: makenova@tpu.ru**NUMERICAL SIMULATION OF TRANSIENT PROCESSES IN TRANSMISSION LINES**

R.E. Nesterov, F. Yu. Kanev

Scientific Supervisor: Assistant professor, Dr. N.A. Makenova

Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: makenova@tpu.ru

Annotation. To improve effectiveness of energy transfer and increase reliability of safety relays currents and voltages in transmission lines should be calculated in steady-state and transient modes. In the current paper technique of such calculations is presented along with a numerical model of transmission line. Results illustrating performance of the line in transient modes are also included in the paper.

С целью повышения эффективности передачи энергии и увеличения надежности срабатывания релейных защит необходимо рассчитывать распределение токов и напряжений в линиях электропередач в переходном и установившемся режимах. При этом если расчет установившегося режима возможен на основе аналитических методов, то переходные процессы целесообразно вычислять с использованием численных алгоритмов [1,2]. Для выполнения исследований были написаны две программы, первая из них моделирует работу линии в установившемся режиме. Программа позволяет варьировать параметры линии и нагрузки, задавать напряжение или ток на входе. Результатом вычислений являются распределения токов, напряжений и мощности в линии. Пример полученных распределений для линии с потерями приводится на рис. 1.

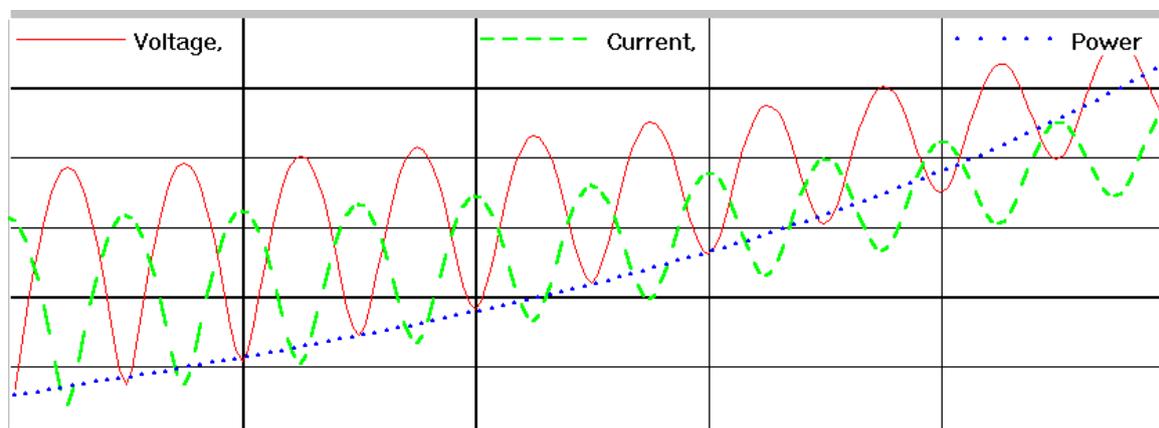


Рис.1. Распределение тока, напряжения и мощности в линии электропередач

«ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК»

При расчете переходных процессов в длинных линиях, вызванных прохождением импульсов напряжения и тока, можно использоваться частотный (спектральный) метод [2]. При этом спектральную функцию можно определить при помощи прямого преобразования Фурье

$$F(j\omega) = \int_0^{\infty} f(t) \cdot e^{-j\omega t} dt, \quad (1)$$

а функцию времени при помощи обратного преобразования Фурье

$$f(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} F(j\omega) \cdot e^{j\omega t} d\omega. \quad (2)$$

Для применения метода необходимо иметь нулевые начальные условия и абсолютно интегрируемую функцию $f(t)$, когда $|f(t)| < |M| \cdot e^{-|\sigma|t}$ и $t > 0$. В этом случае спектральную функцию $F(j\omega)$ искомого напряжения или тока можно найти символическим методом, а затем по (2) определить соответствующую функцию времени.

В данной работе в переходном режиме рассматривается прохождение вдоль линии синусоидального импульса от источника напряжения ($\kappa = 1, 2, 3 \dots 10$; τ - длительность импульса):

$$U_1(t) = \begin{cases} U_m \cdot \sin \frac{\hat{e} \pi}{\tau} t, & \text{и } \delta \text{è } 0 < t < \tau, \\ 0, & \text{и } \delta \text{è } t > \tau, \end{cases} \quad (3)$$

который подключается в момент $t = 0$ к однофазной линии, в конце которой подсоединена нагрузка.

Для данного импульса (3) по соотношению (1) находим спектральную функцию ($\omega_0 = \hat{e} \pi / \tau$):

$$U_1(j\omega) = \underline{U}_1 = \frac{\omega_0 \cdot U_m \cdot (1 - e^{-j\omega\tau} \cdot \cos \omega_0 \cdot \tau)}{\omega_0^2 - \omega^2}. \quad (4)$$

В переходном режиме x отсчитывается от начала линии, тогда из уравнений (1) для комплексных значений напряжения и тока получаются следующие зависимости

$$\begin{cases} \underline{U}(x) = \underline{U}_1 \cdot \text{ch} \underline{\gamma} x - \underline{I}_1 \underline{Z}_{\hat{a}} \text{sh} \underline{\gamma} x \\ \underline{I}(x) = -\frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_{\hat{a}}} \cdot \text{sh} \underline{\gamma} x + \underline{I}_1 \cdot \text{ch} \underline{\gamma} x \end{cases}, \quad (5)$$

причем ток в начале линии будет определяться как

$$\underline{I}_1 = \frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_{\hat{a}}} \cdot \frac{\underline{Z}_{\hat{a}} \text{ch} \underline{\gamma} l + \underline{Z}_{\hat{i}} \text{sh} \underline{\gamma} l}{\underline{Z}_{\hat{a}} \text{sh} \underline{\gamma} l + \underline{Z}_{\hat{i}} \text{ch} \underline{\gamma} l}, \quad (6)$$

где сопротивление нагрузки линии при $x = l$ равно

$$\underline{Z}_{\hat{i}} = \frac{\underline{U}_2}{\underline{I}_2} = \frac{R + j\omega L}{1 - \omega^2 LC + jRC\omega}. \quad (7)$$

В результате на основании обратного преобразования Фурье (2) можно определить напряжение и ток в линии в функции координаты x и времени t :

$$\begin{cases} U(x,t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \{\operatorname{Re}[U(x)]\} \cos \omega t d\omega \\ i(x,t) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} \{\operatorname{Re}[I(x)]\} \cos \omega t d\omega \end{cases} \quad (8)$$

Если зафиксировать координату x от 0 до l , то по формулам (3 – 8) вычисляется изменение во времени тока и напряжения в данной точке линии. При этом учитывается возможное многократное прохождение волн вдоль линии и их отражение от нагрузки и начала линии. На основе рассмотренной вычислительной схемы была написана программа, моделирующая распространение импульса в линии. Входными параметрами являются первичные параметры линии и параметры нагрузки. Пользователю также предоставляется возможность задать параметры импульса: амплитуду напряжения и число полувольт, формирующих импульс. Результаты вычислений приводятся на рис. 2, где представлено изменение формы импульса напряжения при распространении в линии при наличии искажений.

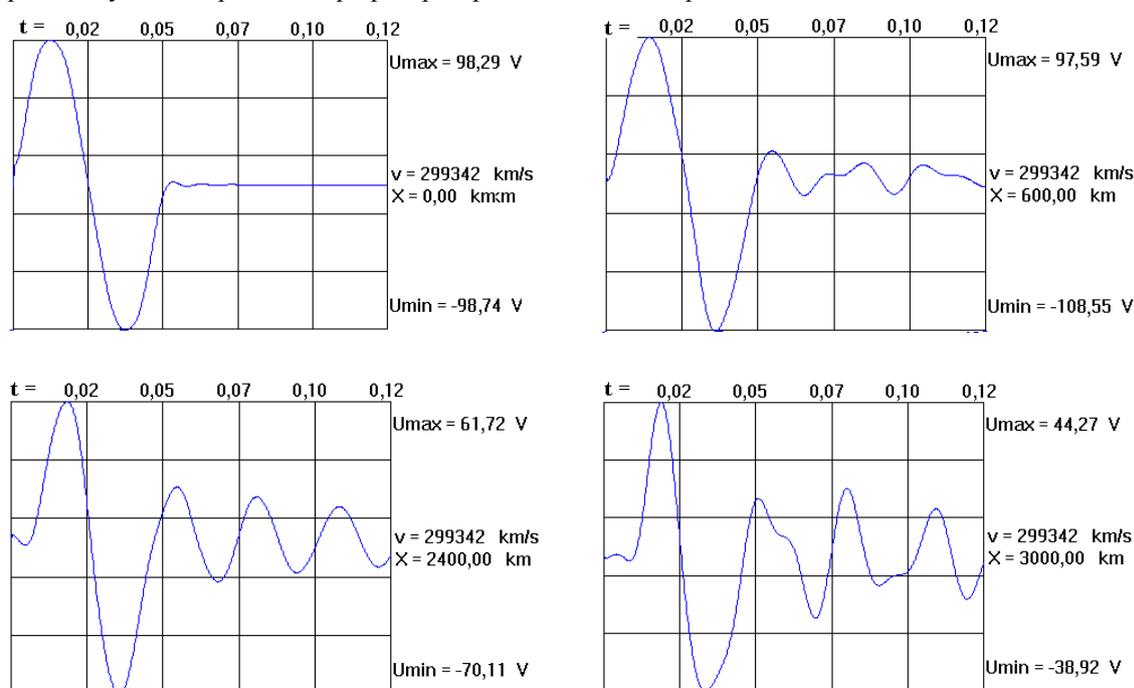


Рис. 2. Последовательность импульсов в линии

Подобные результаты возможно получить и для линии без искажений и для линии без потерь. Сравнение данных позволяет сделать выводы о влиянии характеристик линии на процесс распространения импульсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле.– М.: Высшая школа, 1978. – 231 с.
2. Теоретические основы электротехники. Том II. Нелинейные цепи и основы электромагнитного поля/ Под ред. П. А. Ионкина. – М.: Высшая школа, 1976. – 383 с.