

УДК 621.3:004.9

ПРИМЕРЫ АНИМАЦИИ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ ЗАДАЧ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА MATHCAD

М.И. Грамм, А.М. Лысков

Представлены примеры программной реализации учебных задач на ПК по теории длинных линий в курсе теоретических основ электротехники. Целью программ является организация наблюдения динамического процесса в линии в форме управляемого киносюжета. При этом могут задаваться любые технические параметры моделируемой линии для создания возможности изучения как аварийных режимов линии, так и её оптимальных режимов.

Ключевые слова: линия электропередачи, волны в линии, согласованная нагрузка, потери в линии, стоячая волна.

Общая постановка учебного процесса по вузовскому курсу теоретических основ электротехники предусматривает широкое применение математических пакетов для ПК. Дидактически наиболее подходящим признан пакет MathCAD в различных версиях как из-за эффективного математического процессора, так и по способу вывода результатов расчёта – на одном экране исходные данные и результат вычислений. Все версии пакета позволяют реализовать операции, упоминаемые в данном сообщении далее.

Из множества программ, составляемых на языке программирования MathCAD, следует выделить программы демонстрации в динамике как стационарных режимов цепей, так и процессов нестационарных, переходных. Если процессы во времени демонстрируются как убедительные доказательства справедливости решений уравнений стационарных режимов, то процессы с привлечением пространственных координат при изучении теории длинных линий электропередачи приносят и некоторый эмоциональный момент, дополнительно стимулирующий освоение теории.

Для построения программ моделирования распределения $U(x)$ напряжения по линии в установившемся процессе синусоидального питания использовалось решение для напряжения в режиме линии с отсчётом расстояния x от начала линии и при заданных входных напряжении U_1 и токе I_1 :

$$\dot{U}(x) = \frac{1}{2} \cdot (\dot{U}_1 + \dot{I}_1 \cdot Z_C) \cdot e^{-\gamma \cdot x} + \frac{1}{2} \cdot (\dot{U}_1 - \dot{I}_1 \cdot Z_C) \cdot e^{\gamma \cdot x}, \quad (1)$$

где Z_C – волновое сопротивление, γ – коэффициент распространения.

Программа анимации управляется переменным параметром FRAME в удобном для него диапазоне после выделения анимируемой области.

Пример 1

Входное напряжение: $U_1 := 200$ $\omega := 3140$ $L_0 := 0.01$ $C_0 := 10^{-8}$

Параметры линии:

$$R0 := 10^{-5} \quad g0 := 0.8 \cdot 10^{-6} \quad z0 := j \cdot \omega \cdot L0 + R0 \quad y0 := j \cdot \omega \cdot C0 + g0$$

$$Zc := \sqrt{\left(\frac{z0}{y0}\right)} \quad \gamma := \sqrt{(z0 \cdot y0)} \quad \alpha := \operatorname{Re}(\gamma) \quad \beta := \operatorname{Im}(\gamma) \quad \lambda := 2 \cdot \frac{\pi}{\beta}$$

$$\text{Нагрузка линии: } \underline{\underline{K}} := 0.05 \quad Zl := K \cdot Zc$$

$$\text{Длина линии: } \underline{\underline{l}} := 3.1 \cdot \lambda \quad Zbx := \frac{Zl \cdot \cosh(\gamma \cdot l) + Zc \cdot \sinh(\gamma \cdot l)}{\cosh(\gamma \cdot l) + \frac{Zl}{Zc} \cdot \sinh(\gamma \cdot l)} \quad \underline{\underline{Il}} := \frac{U1}{Zbx}$$

Распределение напряжения по линии

$$A1 := (U1 + Il \cdot Zc) \cdot 0.5 \quad A2 := (U1 - Il \cdot Zc) \cdot 0.5 \quad U(x) := A1 \cdot e^{-\gamma \cdot x} + A2 \cdot e^{\gamma \cdot x}$$

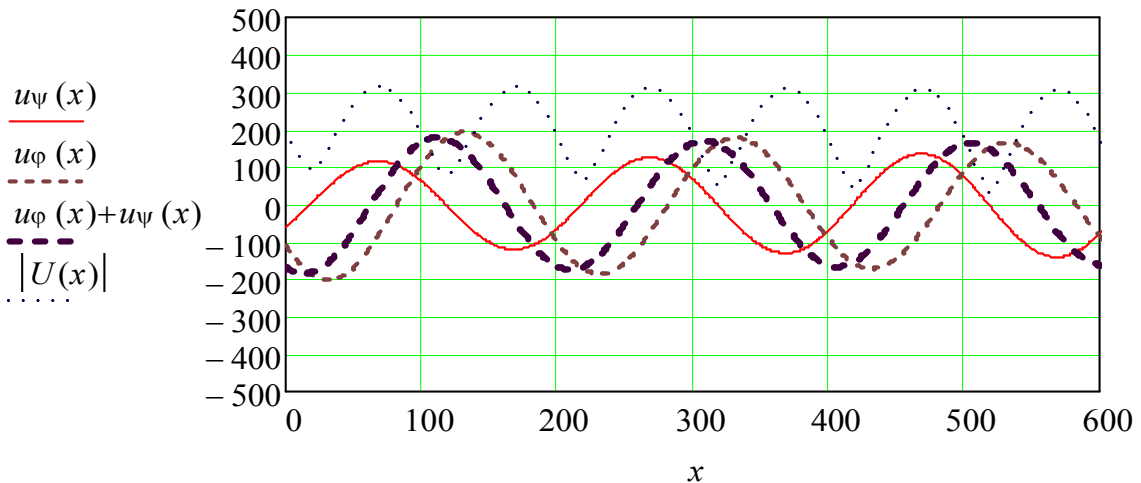
$$\text{Шаг по } t: \quad t := 2 \cdot \frac{\pi}{\omega} \cdot 0.05 \quad \text{Переменная анимации} \quad a := \text{FRAME}$$

$$\text{Падающая волна: } u_{\varphi}(x) := |A1| \cdot e^{-\alpha \cdot x} \cdot \sin(\omega \cdot t \cdot a + \arg(A1) - \beta \cdot x)$$

$$\text{Отражённая волна: } u_{\psi}(x) := |A2| \cdot e^{\alpha \cdot x} \cdot \sin(\omega \cdot t \cdot a + \arg(A1) + \beta \cdot x)$$

$$\text{Диапазон и шаг по } x: \quad x := 0..3.1 \cdot \lambda$$

Значение FRAME $a = 0$



Программа по анимации распределения $u_{\varphi}(t, x)$ переходного процесса в длинной линии использует решения в виде функции времени $u_{\varphi}(t)$ для падающей волны в начале линии. Для точек, отстоящих от начала линии на расстоянии x в функцию $u_{\varphi}(t)$ вводится запаздывание $u_{\varphi}(t - x/v)$. Управление программой осуществляется аналогично программе в примере 1. Текст программы, моделирующей в динамике движение волны по линии в переходном процессе представлен в примере 2. Программа достаточно универсальна и допускает вариации параметров линии и её входной цепи.

Пример 2

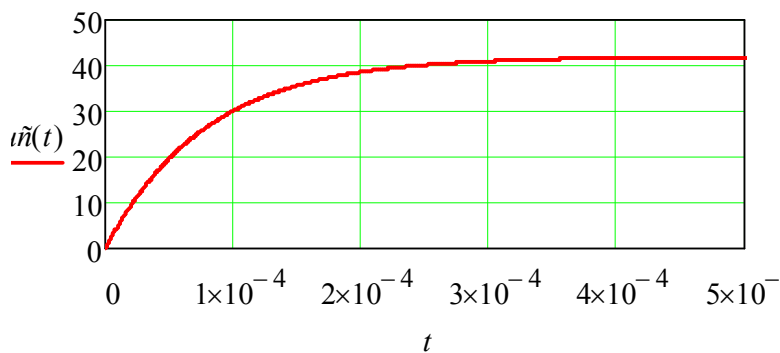
Параметры цепи на входе линии (ёмкость параллельна входу):

$$E := 200 \quad C := 10^{-6} \quad R_c := 377 \quad R := 100$$

Постоянная времени цепи: $\tau := C \cdot \left(\frac{R \cdot R_c}{R + R_c} \right)$ Длина: $l := 600$

Входное напряжение как функция времени:
$$u\tilde{n}(t) := \frac{E \cdot R}{R_c + R} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right)$$

Диапазон и шаг по времени: $t := 0, 0.01 \cdot \tau \dots 7 \cdot \tau$



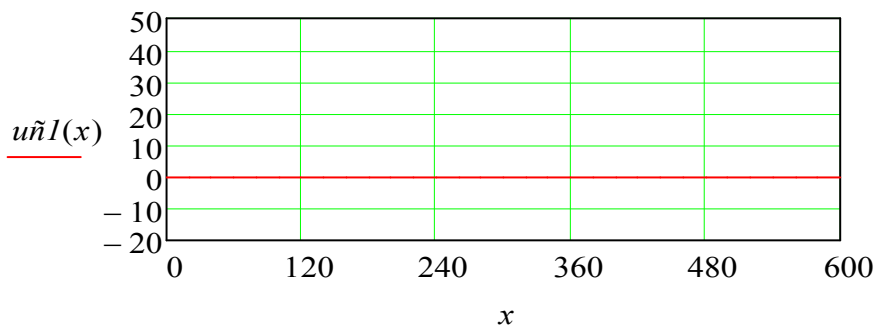
Скорость волны: Время пробега: Шаг по времени:

$$v := 10^6 \quad T := \frac{l}{v} \quad t0 := 0.05 \cdot T$$

Описание волны по x: $a := FRAME$ Шаг по x: $x := 0, 20 \dots l$

$$u\tilde{n}l(x) := \left[\frac{E \cdot R}{R_c + R} \cdot \left[1 - e^{-\frac{-(R+R_c) \cdot \left(a \cdot t0 - \frac{x}{v} \right)}{(R \cdot R_c) \cdot C}} \right] \right] \cdot \Phi \left(a \cdot t0 - \frac{x}{v} \right)$$

Величина переменной FRAME: $a = 0$



Наглядность и определённая эффективность программ с анимацией электротехнических процессов подтверждают их пользу для усвоения довольно сложного материала в разделе теории длинных линий теоретической электротехники. Отлаженные программы в приведённых выше примерах могут служить отправными образцами для построения картин динамических процессов и для других разделов ТОЭ.

[К содержанию](#)