

Моделирование длинной линии связи с потерями энергии

Представим длинную линию связи, как распределённую активную и реактивную нагрузку. Выдели бесконечно короткий участок такой линии на котором этот участок характеризуется постоянным активным, ёмкостным и индуктивным сопротивлением переменному току — R,

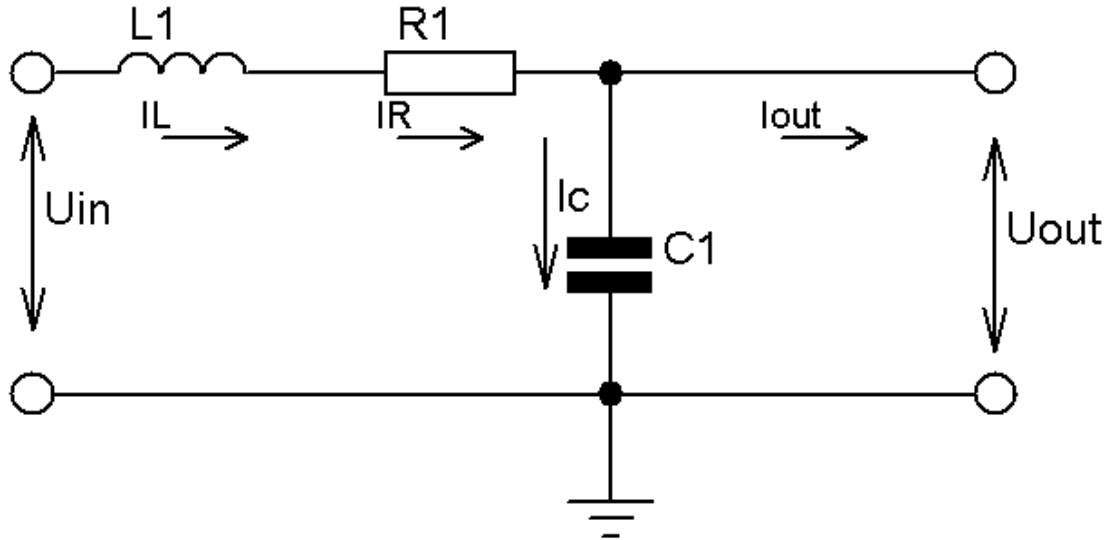


Рис. 1: RLC пассивный четырёхполюсник

L и C. Построим эквивалентную модель бесконечно малого участка линии в виде классического линейного четырёхполюсника, описываемого двумя законами Кирхгофа:

1) алгебраическая сумма токов, подтекающих к какому-либо узлу схемы, равна нулю;

$$I_R = I_L = I_{\text{вых}} - I_c \quad (1)$$

2) алгебраическая сумма падений напряжения в любом замкнутом контуре равна алгебраической сумме ЭДС, входящих в данный контур:

$$U_{\text{ex}} = U_L + U_R + U_C \quad (2)$$

$$i_c = \frac{dU_c}{dt} \quad , \quad U_l = L \frac{dI_l}{dt} \quad (3)$$

проинтегрируем уравнения (3)

$$U_c = U_{c0} + \frac{1}{C} \int_0^t i_c d\tau \quad , \quad I_l = I_{l0} + \frac{1}{L} \int_0^t U_l d\tau \quad (4)$$

Предположим, что помимо эффектов ёмкости и самоиндукции и рассеяния энергии электричества в линии связи не наблюдается других физических эффектов, тогда участок линии связи может быть приближённо смоделирован пассивным RLC четырёхполюсником (см. рис. 2).

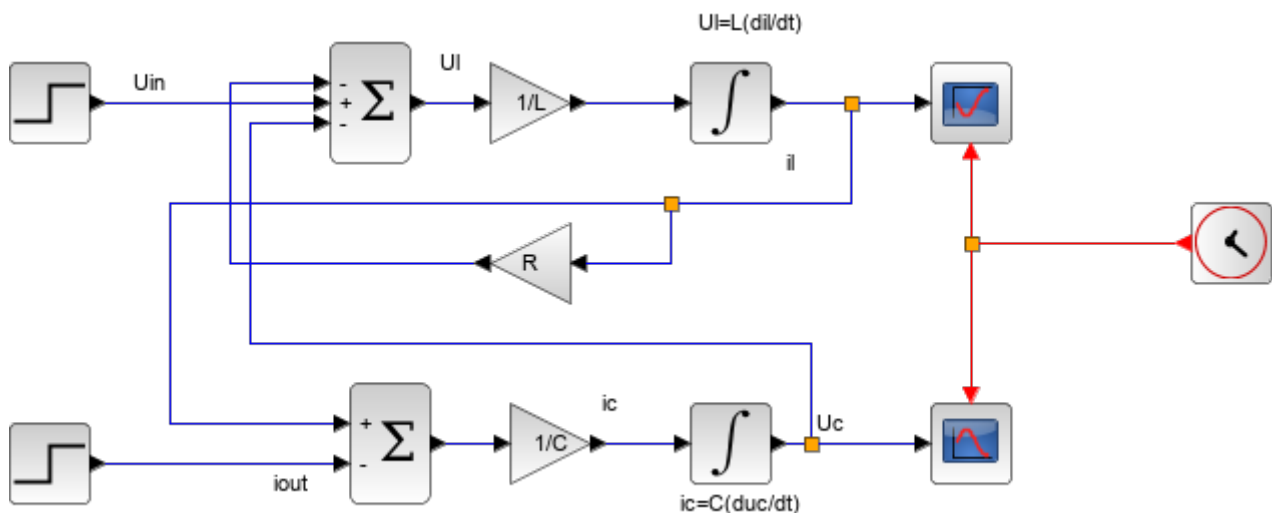


Рис. 2: Имитационная модель четырёхполюсника в приложении Xcos пакета SciLab

При предельном переходе $n \rightarrow \infty$ система уравнений (1-4) должны быть эквивалентна системе уравнений Максвелла моделирующих электромагнитное поле вокруг проводника с током. Определим параметры распределённой модели как активное сопротивление, индуктивность и ёмкость метрической единицы кабеля:

$n=10$;

$R_0=10 \text{ Ом/м}$;

$L_0=250 \text{ Гн/м}$;

$C_0=1 \text{ Ф/м}$.

тогда на $\Delta x = L/n$ метров кабеля придётся $R=R_0/n$, $C=C_0/n$, $L=L_0/n$

а на входе приложено напряжение U_0 , правее конденсатора в горизонтальной ветви течёт выходной ток I_0 .

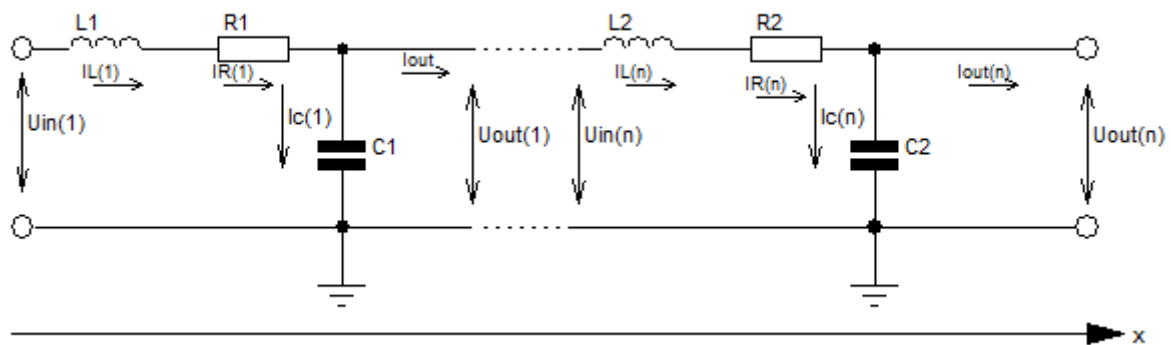


Рис. 3: Индуктивно-емкостная модель линии связи

Промоделируем четырёхполюсник (рис. 1,2) в среде подсистемы xcos прикладного пакета программ SciLab, а затем расширим функциональные возможности этой модели до возможности моделировать цепь из n четырёхполюсников (см. рис. 3,4). Формулы (4) представленные блоками суммирования, умножения и сложения. Разница напряжений между входными и выходными клеммами четырёхполюсника вычисляется блоками diff. Переходные процессы в модели протекают за счёт внешних переключательных воздействий на 100-й и 500-й секунде повышающих напряжение на 0.5В и понижающих выходной ток в два раза.

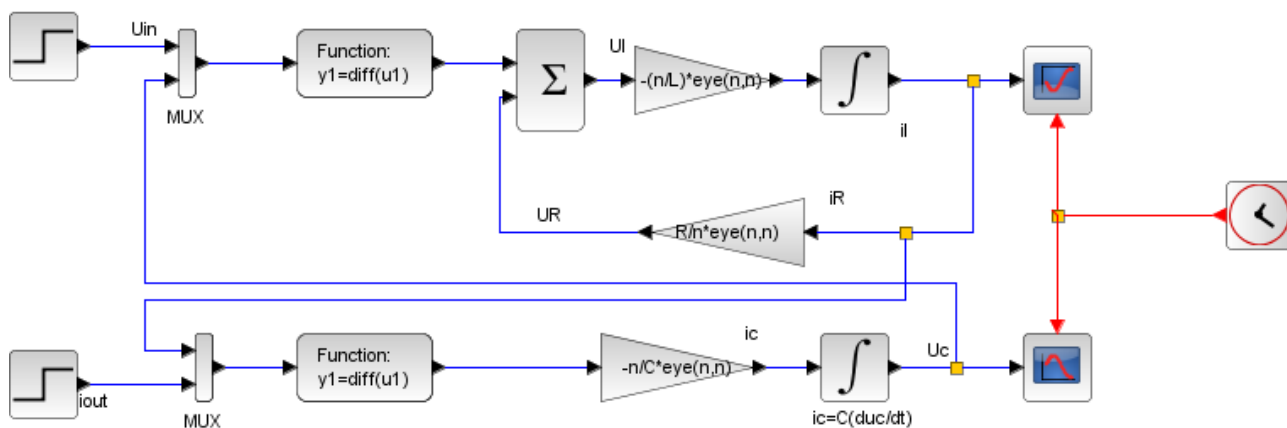


Рис. 4: Имитационная модель длинной линии связи



Рис. 5: Переходный процесс по току в модели линии связи из 10 четырёхполюсников

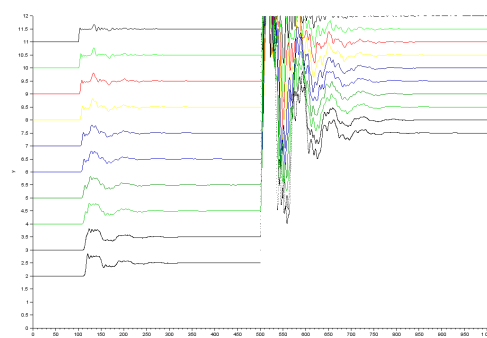


Рис. 6: Переходный процесс по напряжению на конденсаторе в модели линии связи из 10 четырёхполюсников

Переходные процессы (Рис.5,6) показывают движение волны в линии электрической связи слева направо.

Класс имитационного блока	Параметры
Step function №1	Step time=100 $U_{start}=12$ $U_{finish}=12.5$
Step function №1	Step time=500 $I_{start}=1$ $U_{finish}=0.5$
Scilab function block_m №1,2	Input port size: [n+1,1] output port size: [n,1] function computes the output: $y1=diff(u1)$
Multiplex (MUX) №1	[1,n]
Multiplex (MUX) №2	[n,1]
Summation block	Sign vector: [1;1]
Gain_f №1	Gain: $-(n/L)*eye(n,n)$
Gain_f №2	Gain: $R/n*eye(n,n)$
Gain_f №2	Gain: $-n/C*eye(n,n)$
Integral_m №1	Initial condition: ones(n,1)

Integral_m №2	Initial condition: $U0-[R/n:1*R/n:(1*R)]'$
CSCOPE №1	y_min: 0.9 y_max: 1.1
CSCOPE №2	y_min: 0 y_max: 12