Автономная некоммерческая образовательная организация высшего образования
«Научно-технологический университет «Сириус»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники»

Квазистатическое моделирование в системе TALGAT

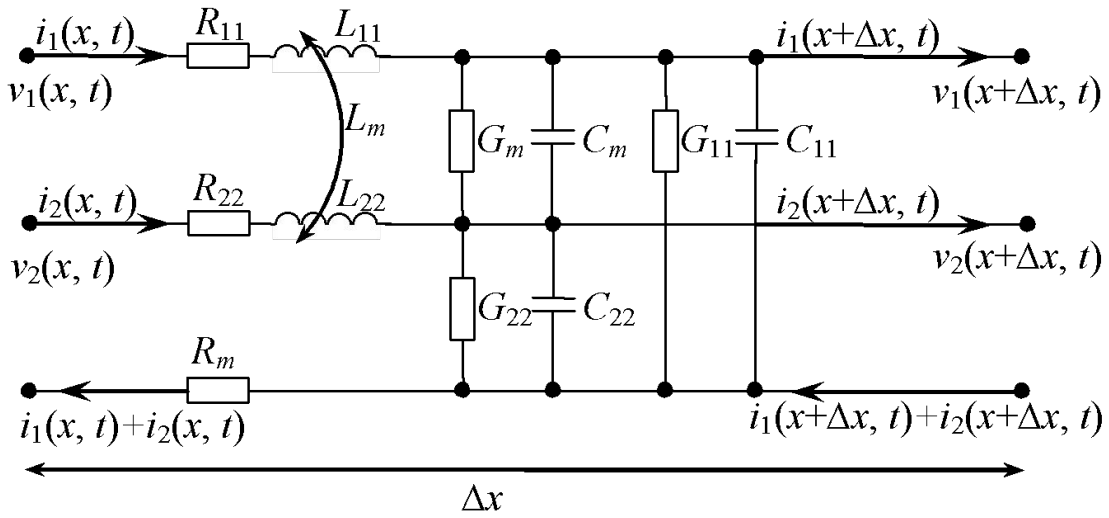
Суровцев Роман Сергеевич

«Современные методы в математической физике»

17–30 августа 2020 г.

Квазистатический анализ

При статическом подходе делается упрощающее предположение, что в межсоединениях отсутствуют потери, дисперсия и высшие типы волн, и может распространяться только основная, поперечная волна. Это сводит уравнения Максвелла к телеграфным уравнениям, решение которых гораздо проще, но весьма точно для большинства практических межсоединений. При допущении распространения только поперечной волны получаются довольно точные результаты даже при наличии небольших потерь в межсоединениях. Этот случай известен как квазистатический подход. При нём произвольная схема межсоединений представляется обобщенной схемной моделью, напряжения и токи в любой точке которой определяются из телеграфных уравнений для каждого отрезка многопроводной линии передачи (МПЛП) с учётом граничных условий на концах отрезков.



Линия без потерь

$$\frac{\partial}{\partial x}U(x,t) = -L\frac{\partial}{\partial t}I(x,t),$$

$$\frac{\partial}{\partial x}I(x,t) = -C\frac{\partial}{\partial t}U(x,t).$$

Линия с потерями

$$\frac{\partial}{\partial x}U(x,t) = -L\frac{\partial}{\partial t}I(x,t) - RI(x,t),$$

$$\frac{\partial}{\partial x}I(x,t) = -C\frac{\partial}{\partial t}U(x,t) - GU(x,t).$$

Вычисление матрицы электростатической индукции методом моментов

ТЕМ-аппроксимация

дискретизация

решение СЛАУ

Уравнения Максвелла → Уравнение Пуассона-Лапласа → СЛАУ $S\sigma=v$ → Матрицы погонных параметров МПЛП

$$\bar{\nabla}\times\bar{E}=-\mu\frac{\partial\bar{H}}{\partial t}$$

$$\bar{\nabla}\cdot\bar{E}=\frac{\rho}{\varepsilon}$$

$$\bar{\nabla}\times\bar{H}=\bar{J}+\varepsilon\frac{\partial\bar{E}}{\partial t}$$

$$\bar{\nabla}\cdot\bar{B}=0$$

весовые (w_i) и базисные (f_j) функции

$\boldsymbol{L}\phi(\underline{r})=\rho(\underline{r})$, где $\boldsymbol{L}=-\varepsilon\nabla^2$

$\phi(\underline{r})$ – электростатический потенциал в точке $\underline{r}$

$\rho(\underline{r})$ – плотность заряда в точке $\underline{r}$

$\mathbf{S}=[\langle w_i,\boldsymbol{L}f_j\rangle]$

σ – вектор-столбец распределения плотности заряда на границах структуры

v – вектор-столбец из потенциалов на подобластях границ структуры

граничные условия по приложенному напряжению

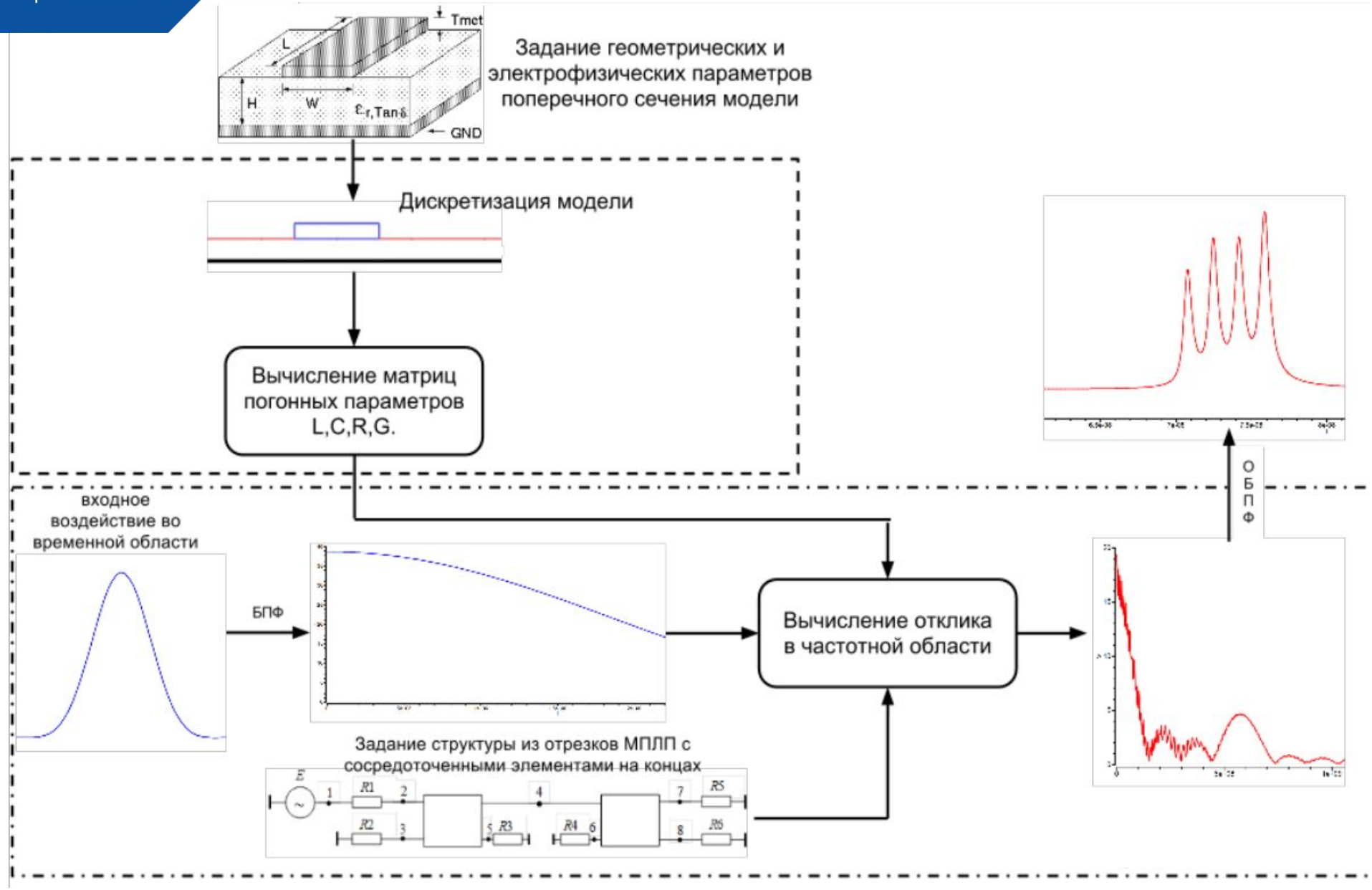
$\phi(\underline{r})=\boldsymbol{L}^{-1}\rho(\underline{r})$, где $\boldsymbol{L}^{-1}=\int G(\underline{r}\,|\,\underline{r}')d\Gamma$

$G(\underline{r}\,|\,\underline{r}')d\Gamma$ – соответствующая функция Грина

$d\Gamma$ – дифференциал, зависящий от размерности задачи

1. Получение из уравнений Максвелла интегральных уравнений структуры.
2. Дискретизация структуры (разбиение структуры на N подобластей, в каждой из которых искомая функция аппроксимируется базисными функциями).
3. Вычисление элементов матрицы систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) размером $N*N$.
4. Вычисление элементов вектора воздействий размером N.
5. Решение СЛАУ.
6. Вычисление требуемых характеристик из вектора решения СЛАУ.

Структурная схема квазистатического анализа



Рабочая область ПО TALGAT

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4 | TALGATQwt5

```
INCLUDE "MOM2D"
INCLUDE "MATRIX"
INCLUDE "UTIL"
INCLUDE "RESPONSE"
INCLUDE "GRAPH"

SET "w" 300.e-6
SET "t" 105.e-6
SET "d" MUL 3. w
SET "hC" 510.e-6
SET "ErAir" 1.0
SET "TdAir" 1.0
SET "ErC" 10.
SET "TdC" 0.017
SET "s" 23.e-6
SET "dLength" 45.e-3
//////////////////////////////////////////////
SET "segm" 1.e-5
SET "f0" 1.e6
SET "ncond" 2
SET "TDS" 50.e-12
SET "TDD" 100.e-12

CREATE_KEYWORD "DoMyConf"

SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH segm
SET_INFINITE_GROUND 1

        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE d hC PLUS d w  hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS d w PLUS hC t
                        LINETO d PLUS hC t
                        LINETO d hC
        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE PLUS PLUS d w s hC PLUS PLUS PLUS d w  s w hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s  hC
        DIELECTRIC
                SET_ER_PLUS ErC
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC
```

Console

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010   -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007   3.09026e-007
3.09026e-007   3.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
50.5516        35.7304
35.7304        50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009   0
0              5.4866e-009
*** Сопротивление согласования ***
35.7603
>
```

Ln 15, Col 3 INS

Подключаемые модули в ПО TALGAT

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4 | TALGATQwt5

```
INCLUDE "MOM2D"
INCLUDE "MATRIX"
INCLUDE "UTIL"
INCLUDE "RESPONSE"
INCLUDE "GRAPH"

SET "w" 300.e-6
SET "t" 105.e-6
SET "d" MUL 3. w
SET "hC" 510.e-6
SET "ErAir" 1.0
SET "TdAir" 1.0
SET "ErC" 10.
SET "TdC" 0.017
SET "s" 23.e-6
SET "dLength" 45.e-3
//////////////////////////////////////////////
SET "segm" 1.e-5
SET "f0" 1.e6
SET "ncond" 2
SET "TDS" 50.e-12
SET "TDD" 100.e-12

CREATE_KEYWORD "DoMyConf"

SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH segm
SET_INFINITE_GROUND 1

        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE d hC PLUS d w  hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS d w PLUS hC t
                        LINETO d PLUS hC t
                        LINETO d hC
        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE PLUS PLUS d w s hC PLUS PLUS PLUS d w  s w hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s  hC
        DIELECTRIC
                SET_ER_PLUS ErC
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC
```

Console

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010   -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007   3.09026e-007
3.09026e-007   3.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
50.5516        35.7304
35.7304        50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009   0
0              5.4866e-009
*** Сопротивление согласования ***
35.7603
>
```

Ln 15, Col 3 INS

Подключаемые модули в ПО TALGAT

UTIL – модуль команд общего назначения

После загрузки модуля UTIL пользователю становятся доступны следующие математические команды:

EQU - сравнивает два аргумента: если они равны, возвращает 1, иначе - 0.

GREATER - сравнивает два аргумента: если первый больше, то возвращает 1, если меньше - 0, если оба аргумента равны - 0.

LESS - сравнивает два аргумента: если первый меньше, то возвращает 1, если больше - 0, если оба аргумента равны - 0.

PLUS, **MUL** и **DIV -** производят операции сложения, вычитания, умножения и деления двух своих параметров.

ABS - возвращает модуль своего параметра.

MATRIX – модуль работы с матрицами

CREATE_REAL_MATRIX - служит для создания матриц из чисел double, а команда **CREATE_COMPLEX_MATRIX** создаёт матрицы из чисел complex. Число аргументов обеих команд два, первый - число строк, второй - число столбцов матрицы.

GET_MATRIX_ROWS и **GET_MATRIX_COLS** - возвращают число строк и столбцов матрицы, указанной в качестве аргумента.

GET_MATRIX_SIZE - выводит в форматированном виде (строка) размер матрицы, указанной в качестве аргумента.

SET_MATRIX_VALUE - имеет четыре аргумента: матрица, индекс строки, индекс столбца и присваиваемое значение.

Подключаемые модули в ПО TALGAT

MOM2D - модуль двухмерного электростатического анализа. Модуль **MOM2D** предназначен для электростатического анализа двумерных конфигураций проводников и диэлектриков и позволяет вычислить матрицы погонных коэффициентов: электростатической индукции с заданным магнитодиэлектрическим заполнением - **C** (Ф/м); электростатической индукции в воздухе - **C0** (Ф/м); электромагнитной индукции с заданным магнитодиэлектрическим заполнением - **L** (Гн/м); электромагнитной индукции в воздухе - **L0** (Гн/м). Для выполнения задач двухмерного электростатического анализа необходимо загрузить модули **UTIL**, **MATRIX** и сам **MOM2D**

Подключаемые модули в ПО TALGAT

RESPONSE - модуль вычисления временного отклика. Данный модуль предназначен для вычисления временного и частотного отклика. Сначала задается схема линии передач, затем происходит вычисление отклика одной из следующих команд:

F_RESPONSE - вычисление частотного отклика, в результате в переменную **fs** записывается матрица-строка частот, в переменные **Vf1**, **Vf2** и далее (для каждого узла в схеме) - частотные характеристики в виде матриц-строк. При этом для источников используются значения, заданные командой **SIMULATION_SOURCES_HARMONICS** по умолчанию - 1 В (что дает нам АЧХ)

F_RESPONSE_I - то же самое, что **F_RESPONSE**, плюс дополнительно считаются токи в частотной области и записываются в виде матриц-строк в переменные **If1**, **If2** и так далее.

Подключаемые модули в ПО TALGAT

RESPONSE - модуль вычисления временного отклика.

T_RESPONSE - вычисление временного отклика путем обратного преобразования Фурье из матриц-строк **Vf1**, **Vf2**, ... вычисляются напряжения и записываются в переменные **V1**, **V2,** ... в виде матриц-строк. При этом для источников используются значения, заданные командами **SIMULATION_SOURCES_***.

* - **VPULSE** - импульсный сигнал; **VSIN** - синусоидальный сигнал; **VGAUSS -** Гауссов импульс; **VEXP** - экспоненциальный импульс.

Вычисляются временные точки, соответствующие частотам **fs**, и записываются в переменную **ts**. Кроме того, для удобства пользователя все напряжения для всех узлов записываются в строки одной матрицы и сохраняются в переменную **mV**, которую потом можно сохранить на диск одной командой (**MATRIX_SAVE mV "myfile.mat"**) и позже загрузить обратно (**SET "mV" MATRIX_LOAD "myfile.mat"**).

T_RESPONSE_I - то же самое, что **T_RESPONSE**, плюс дополнительно считаются токи во временной области и записываются в виде матриц-строк в переменные **I1**, **I2** и так далее. Кроме того, для удобства пользователя все токи для всех узлов записываются в строки одной матрицы и сохраняются в переменную **mI**.

Подключаемые модули в ПО TALGAT

GRAPH - модуль построения графиков.

Команда	Описание команды	Описание параметров
ADD_XY_DATA_r x y	Вещественные данные для построения графика	x, y - массив данных типа REAL
ADD_XY_DATA_c x y z	Комплексные данные для построения графика	x, y - массив данных типа COMPLEX, z - способ отображения комплексного числа на графике: может принимать одно из значений из таблицы 9.
PLOT_XY	Построение графика	

Параметр	Использование массива x	Использование массива y
COMPLEX_PLOT_REAL	Действительная часть	Действительная часть
COMPLEX_PLOT_IMAG	Мнимая часть	Мнимая часть
COMPLEX_PLOT_ABS	Модуль	Модуль
COMPLEX_PLOT_REAL_IMAG	Действительная часть	Мнимая часть
COMPLEX_PLOT_IMAG_REAL	Мнимая часть	Действительная часть
COMPLEX_PLOT_ARG	Действительная часть	Аргумент (градусы)

Задание переменных в ПО TALGAT

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4 | TALGATQwt5

```
INCLUDE "MOM2D"
INCLUDE "MATRIX"
INCLUDE "UTIL"
INCLUDE "RESPONSE"
INCLUDE "GRAPH"

SET "w" 300.e-6
SET "t" 105.e-6
SET "d" MUL 3. w
SET "hC" 510.e-6
SET "ErAir" 1.0
SET "TdAir" 1.0
SET "ErC" 10.
SET "TdC" 0.017
SET "s" 23.e-6
SET "dLength" 45.e-3
//////////////////////////////////////////////////
SET "segm" 1.e-5
SET "f0" 1.e6
SET "ncond" 2
SET "TDS" 50.e-12
SET "TDD" 100.e-12

CREATE_KEYWORD "DoMyConf"

SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH segm
SET_INFINITE_GROUND 1

        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE d hC PLUS d w  hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS d w PLUS hC t
                        LINETO d PLUS hC t
                        LINETO d hC
        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE PLUS PLUS d w s hC PLUS PLUS PLUS d w  s w hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s  hC
        DIELECTRIC
                SET_ER_PLUS ErC
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC
```

Console

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010   -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007   3.09026e-007
3.09026e-007   3.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
```

Ln 15, Col 3 INS

SET **"w"** 300.e-6 – значение ширины проводника

SET **"t"** 105.e-6 – значение толщины проводника

SET **"d"** MUL 3. w – расстояние от края структуры до проводника

SET **"hC"** 510.e-6 – толщина подложки

SET **"ErAir"** 1.0 – относительная диэлектрическая проницаемость воздуха

SET **"ErC"** 10. – относительная диэлектрическая проницаемость подложки

•

•

•

•

Команда CREATE_KEYWORD

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4 | TALGATQwt5

```
INCLUDE "MOM2D"
INCLUDE "MATRIX"
INCLUDE "UTIL"
INCLUDE "RESPONSE"
INCLUDE "GRAPH"

SET "w" 300.e-6
SET "t" 105.e-6
SET "d" MUL 3. w
SET "hC" 510.e-6
SET "ErAir" 1.0
SET "TdAir" 1.0
SET "ErC" 10.
SET "TdC" 0.017
SET "s" 23.e-6
SET "dLength" 45.e-3
//////////////////////////////////////////////////
SET "segm" 1.e-5
SET "f0" 1.e6
SET "ncond" 2
SET "TDS" 50.e-12
SET "TDD" 100.e-22

CREATE_KEYWORD "DoMyConf"

SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH segm
SET_INFINITE_GROUND 1

        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE d hC PLUS d w  hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS d w PLUS hC t
                        LINETO d PLUS hC t
                        LINETO d hC
        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE PLUS PLUS d w s hC PLUS PLUS PLUS d w  s w hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s  hC
        DIELECTRIC
                SET_ER_PLUS ErC
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC
```

Console

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010   -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007   3.09026e-007
3.09026e-007   3.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
50.5516        35.7304
35.7304        50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009   0
0              5.4866e-009
*** Сопротивление согласования ***
35.7603
>
```

Ln 15, Col 3 INS

Команда CREATE_KEYWORD

CREATE_KEYWORD - позволяет создавать динамические команд. Первый параметр - имя новой команды, заключенное в кавычки, второй - строка, принимаемая за результат команды <имя_динамической_команды> (комментарий к создаваемой команде, например, краткая инструкция по ее использованию). При этом интерпретатор переходит в специальный режим и сохраняет поток ввода как строку, пока не будет введена команда END_CREATE_KEYWORD, которая возвращает интерпретатор в обычный режим. Теперь пользователю доступна новая команда, результат которой равен введенному ранее параметру команды END_CREATE_KEYWORD

```
                LINETO PLUS d w PLUS hC t
                LINETO d PLUS hC t
                LINETO d hC
        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE PLUS PLUS d w s hC PLUS PLUS PLUS d w  s w hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s  hC
        DIELECTRIC
                SET_ER_PLUS ErC
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC
```

Команды SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH и SET_INFINITE_GROUND

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4 | TALGATQwt5

```
INCLUDE "MOM2D"
INCLUDE "MATRIX"
INCLUDE "UTIL"
INCLUDE "RESPONSE"
INCLUDE "GRAPH"

SET "w" 300.e-6
SET "t" 105.e-6
SET "d" MUL 3. w
SET "hC" 510.e-6
SET "ErAir" 1.0
SET "TdAir" 1.0
SET "ErC" 10.
SET "TdC" 0.017
SET "s" 23.e-6
SET "dLength" 45.e-3
//////////////////////////////////////////////////
SET "segm" 1.e-5
SET "f0" 1.e6
SET "ncond" 2
SET "TDS" 50.e-12
SET "TDD" 100.e-12

CREATE_KEYWORD "DoMyConf"

SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH segm
SET_INFINITE_GROUND 1

        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE d hC PLUS d w  hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS d w PLUS hC t
                        LINETO d PLUS hC t
                        LINETO d hC
        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE PLUS PLUS d w s hC PLUS PLUS PLUS d w  s w hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s  hC
        DIELECTRIC
                SET_ER_PLUS ErC
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC
```

Console

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010   -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007   3.09026e-007
3.09026e-007   3.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
50.5516        35.7304
35.7304        50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009   0
0              5.4866e-009
*** Сопротивление согласования ***
35.7603
>
```

Ln 15, Col 3 INS

Команды SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH и SET_INFINITE_GROUND

<u>SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH segm</u> - позволяет задавать автоматическую сегментацию (где segm – заданная переменная, значение которой, например, 1.e-5). При автосегментации количество подынтервалов на каждом интервале вычисляется автоматически по заданной длине подынтервала. Задание очень маленькой длины подынтервала при автосегментации увеличивает точность, но значительно увеличивает время вычисления (зависимость нелинейная).

<u>SET_INFINITE_GROUND 1 или 0 –</u> задание бесконечной плоскости земли (где 1 наличие бесконечной плоскости земли, 0 – отсутствие). Под бесконечной плоскостью земли понимается идеально проводящая плоскость y=0, так что y-координаты проводников должны быть >0.

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

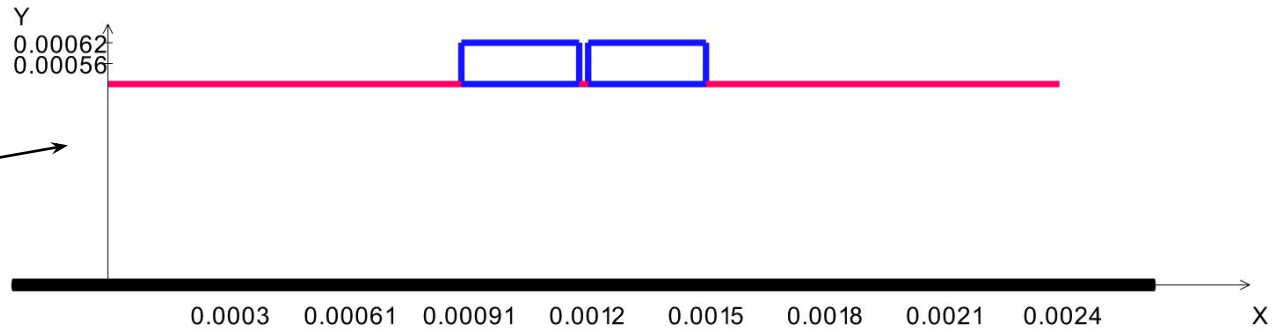
File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4 | TALGATQwt5

```
//////////////////////////////////////////////////
SET "segm" 1.e-5
SET "f0" 1.e6
SET "ncond" 2
SET "TDS" 50.e-12
SET "TDD" 100.e-12

CREATE_KEYWORD "DoMyConf"

SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH segm
SET_INFINITE_GROUND 1

        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE d hC PLUS d w  hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS d w PLUS hC t
                        LINETO d PLUS hC t
                        LINETO d hC
        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE PLUS PLUS d w s hC PLUS PLUS PLUS d w  s w hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s  hC
        DIELECTRIC
                SET_ER_PLUS ErC
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC

SET "conf_ig" GET_CONFIGURATION_2D
DRAW_CONFIGURATION conf_ig
END_CREATE_KEYWORD      // DoMyConf

CREATE_KEYWORD "calculate"
DoMyConf
        SET "smn_c" SMN_CG conf_ig
        SET "c" CALCULATE_CG smn_c conf_ig f0
        SET "mC" GET_REAL_MATRIX c
                ECHO LINE_TO_STRING *** Ёмкостная матрица ***
                ECHO TO_STRING mC

        SET "smn_l" SMN_L conf_ig
        SET "mL" CALCULATE_L smn_l conf_ig
                ECHO LINE_TO_STRING *** Матрица погонных индуктивностей ***
```

Console

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010   -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007   3.09026e-007
3.09026e-007   3.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
50.5516        35.7304
35.7304        50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009   0
0              5.4866e-009
*** Сопротивление согласования ***
35.7603
>
```



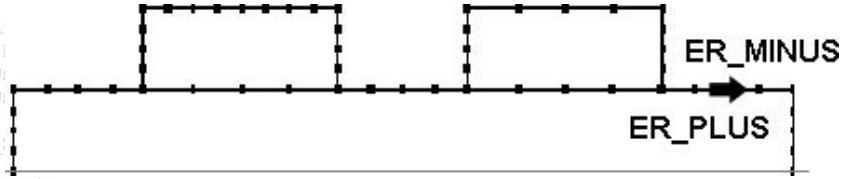
Ln 52, Col 31 INS

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

Команды <u>CONDUCTOR</u> и <u>DIELECTRIC</u> необходимы для построения проводников и диэлектриков соответственно.

Команды <u>LINE</u> и <u>LINETO</u> необходимы для задания координат отрезков проводников и диэлектриков.

Команды <u>SET_ER_PLUS</u> и <u>SET_ER_MINUS</u> необходимы для задания положения в зависимости от направления обхода диэлектрического интервала:



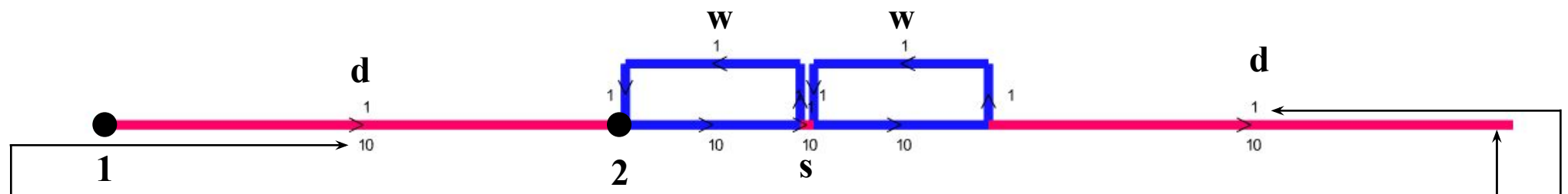
Не допускается равенство ER_PLUS = ER_MINUS, так как данное условие соответствует случаю, когда граница раздела сред отсутствует

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

Команды <u>LINE</u> и <u>LINETO</u> необходимы для задания координат отрезков.

<u>LINE</u> – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

<u>LINETO</u> – конечная точка (ее координаты x y)



<u>LINE</u> –точка 1 (ее координаты x y) точка 2 (ее координаты x y)

```
DIELECTRIC
SET ER PLUS ErC
SET ER MINUS ErAir
LINE 0. hC d hC
```

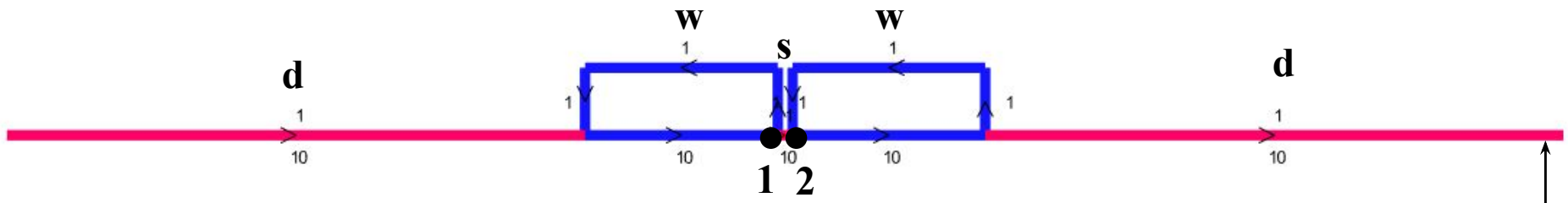
```
SET
DRA
END

CREATE_KEYWORD "calculate"
DoMyConf
        SET "smn_c" SMN_CG conf_ig
        SET "c" CALCULATE_CG smn_c conf_ig f0
        SET "mC" GET_REAL_MATRIX c
                ECHO LINE_TO_STRING *** Ёмкостная матрица ***
                ECHO TO_STRING mC

        SET "smn_l" SMN_L conf_ig
        SET "mL" CALCULATE_L smn_l conf_ig
                ECHO LINE_TO_STRING *** Матрица погонных индуктивностей ***
```

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

Команды <u>LINE</u> и <u>LINETO</u> необходимы для задания координат отрезков.

<u>LINE</u> – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

<u>LINETO</u> – конечная точка (ее координаты x y)



<u>LINE</u> –точка 1 (ее координаты x y) точка 2 (ее координаты x y)

hC

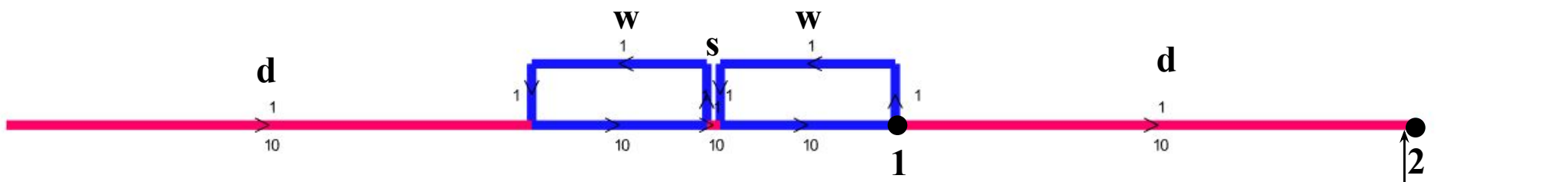
```
DIELECTRIC
        SET_ER_PLUS ErC
        SET_ER_MINUS ErAir
            LINE 0. hC d hC
            LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
```

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

Команды <u>LINE</u> и <u>LINETO</u> необходимы для задания координат отрезков.

<u>LINE</u> – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

<u>LINETO</u> – конечная точка (ее координаты x y)



<u>LINE</u> –точка 1 (ее координаты x y) точка 2 (ее координаты x y)

```
DIELECTRIC
        SET_ER_PLUS ErC
        SET_ER_MINUS ErAir
                LINE 0. hC d hC
                LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC
```

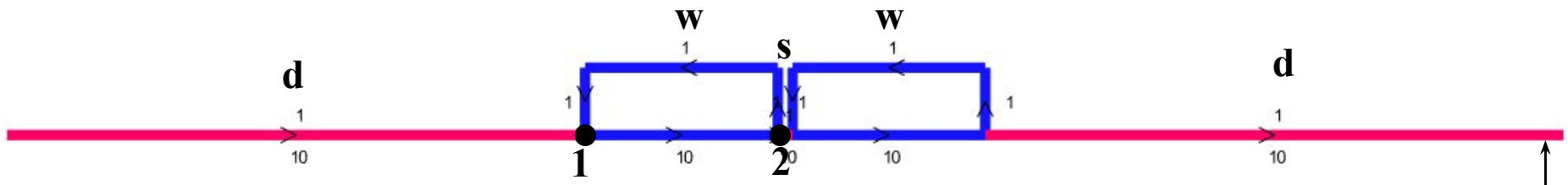
```
SET "c" CALCULATE_CG smn_c conf_ig f0
SET "mC" GET_REAL_MATRIX c
        ECHO LINE_TO_STRING *** Ёмкостная матрица ***
        ECHO TO_STRING mC

SET "smn_l" SMN_L conf_ig
SET "mL" CALCULATE_L smn_l conf_ig
        ECHO LINE_TO_STRING *** Матрица погонных индуктивностей ***
```

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

Команды <u>LINE</u> и <u>LINETO</u> необходимы для задания координат отрезков.

<u>LINE</u> – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

<u>LINETO</u> – конечная точка (ее координаты x y)



<u>LINE</u> –точка 1 (ее координаты x y) точка 2 (ее координаты x y)

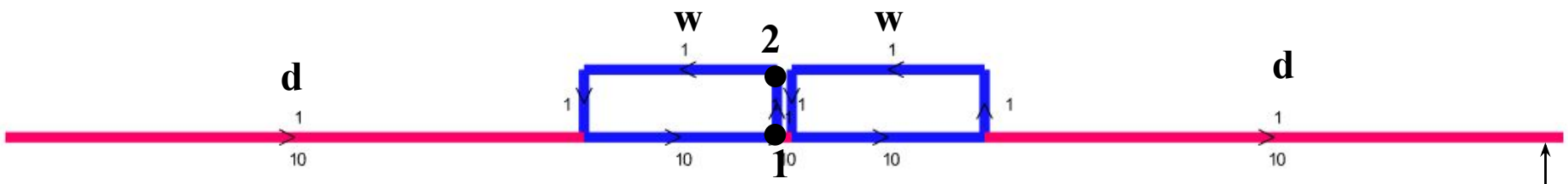
```
CONDUCTOR
        SET_ER_PLUS ErC
                LINE d hC PLUS d w  hC
        SET_ER_PLUS ErAir
                LINETO PLUS d w PLUS hC t
                LINETO d PLUS hC t
                LINETO d hC
```

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

Команды <u>LINE</u> и <u>LINETO</u> необходимы для задания координат отрезков.

<u>LINE</u> – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

<u>LINETO</u> – конечная точка (ее координаты x y)



<u>LINETO</u> –только точка 2 (ее координаты x y)

hC

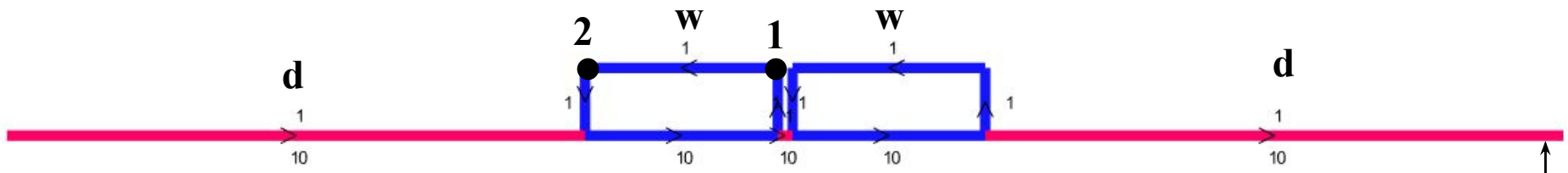
```
CONDUCTOR
        SET_ER_PLUS ErC
                LINE d hC PLUS d w  hC
        SET_ER_PLUS ErAir
                LINETO PLUS d w PLUS hC t
                LINETO d PLUS hC t
                LINETO d hC
```

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

Команды <u>LINE</u> и <u>LINETO</u> необходимы для задания координат отрезков.

<u>LINE</u> – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

<u>LINETO</u> – конечная точка (ее координаты x y)



<u>LINETO</u> –только точка 2 (ее координаты x y)

hC

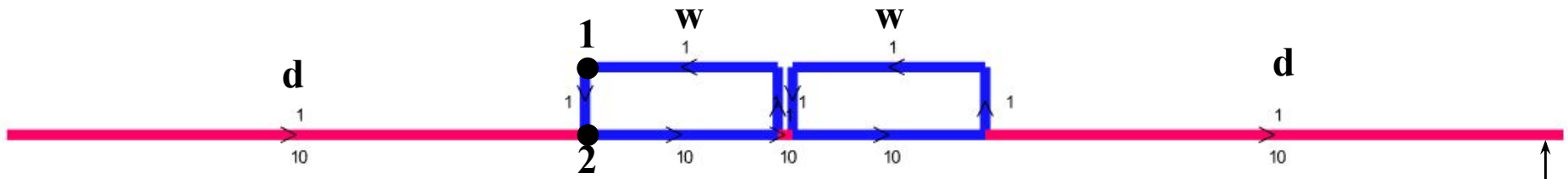
```
CONDUCTOR
        SET_ER_PLUS ErC
                LINE d hC PLUS d w  hC
        SET_ER_PLUS ErAir
                LINETO PLUS d w PLUS hC t
                LINETO d PLUS hC t
                LINETO d hC
```

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

Команды <u>LINE</u> и <u>LINETO</u> необходимы для задания координат отрезков.

<u>LINE</u> – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

<u>LINETO</u> – конечная точка (ее координаты x y)



<u>LINETO</u> –только точка 2 (ее координаты x y)

```
CONDUCTOR
        SET_ER_PLUS ErC
                LINE d hC PLUS d w  hC
        SET_ER_PLUS ErAir
                LINETO PLUS d w PLUS hC t
                LINETO d PLUS hC t
                LINETO d hC
```

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

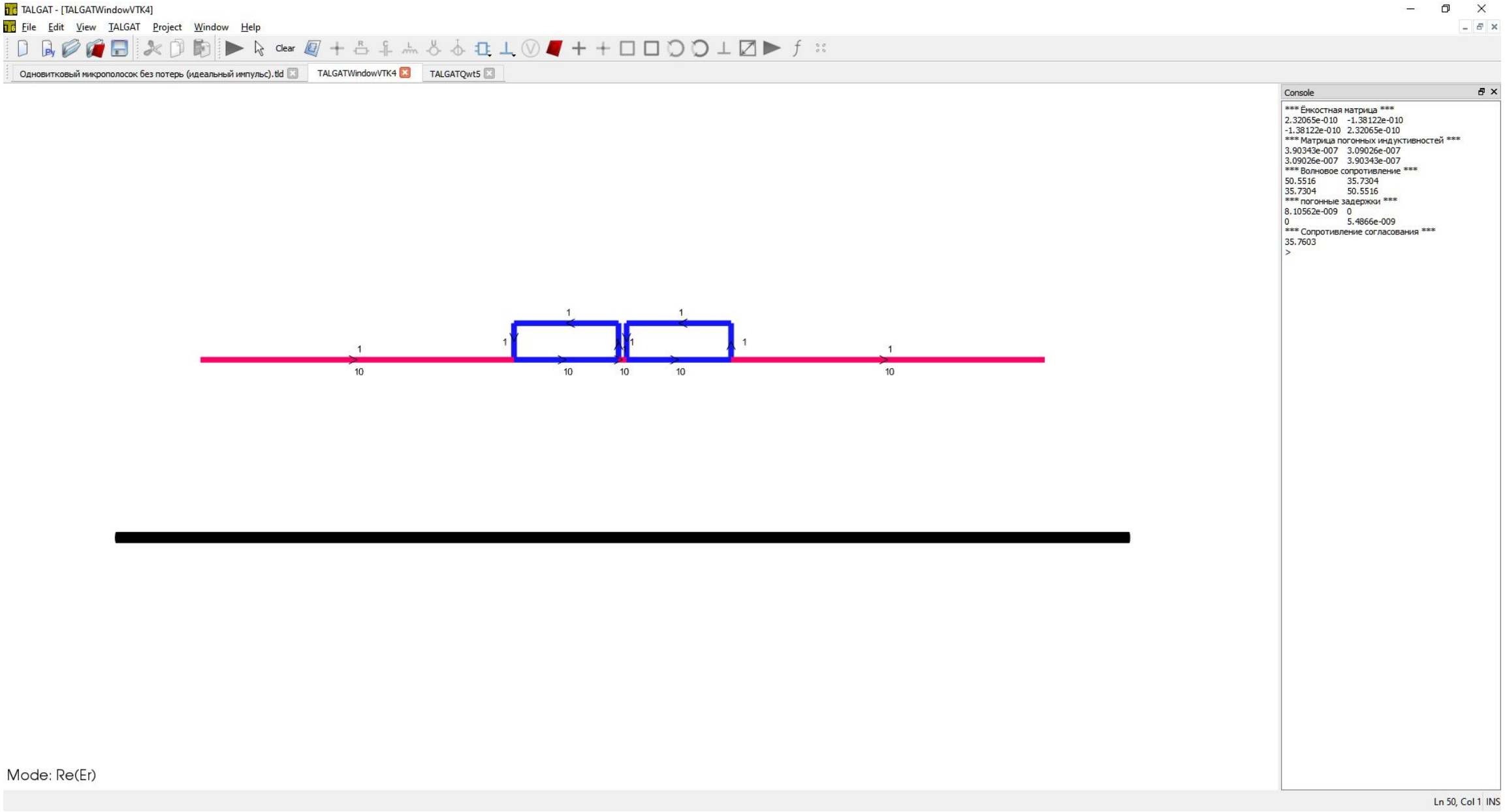
При вызове команд **DRAW_CONFIGURATION** или **DRAW_CONF2D** происходит визуализации конфигурации. границы диэлектриков показываются красными отрезками, границы проводников – синими

SET "conf_ig" GET_CONFIGURATION_2D - сохранение текущей конфигурации в переменную **conf_ig**

```
SET "segm" 1.e-5
SET "f0" 1.e6
SET "TDD" 100.e-12
SET_INFINITE_GROUND 1
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE d hC PLUS d w  hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS d w PLUS hC t
                        LINETO d PLUS hC t
                        LINETO d hC
        CONDUCTOR
                SET_ER_PLUS ErC
                        LINE PLUS PLUS d w s hC PLUS PLUS PLUS d w  s w hC
                SET_ER_PLUS ErAir
                        LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s PLUS hC t
                        LINETO PLUS PLUS d w s  hC
        DIELECTRIC
                SET_ER_PLUS ErC
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS

SET "conf_ig" GET_CONFIGURATION_2D
DRAW_CONFIGURATION conf_ig
END_CREATE_KEYWORD      // DoMyConf

CREATE_KEYWORD "calculate"
DoMyConf
        SET "smn_c" SMN_CG conf_ig
        SET "c" CALCULATE_CG smn_c conf_ig f0
        SET "mC" GET_REAL_MATRIX c
                ECHO LINE_TO_STRING *** Ёмкостная матрица ***
                ECHO TO_STRING mC

        SET "smn_l" SMN_L conf_ig
        SET "mL" CALCULATE_L smn_l conf_ig
                ECHO LINE_TO_STRING *** Матрица погонных индуктивностей ***
```

```
SET "conf_ig" GET_CONFIGURATION_2D
DRAW_CONFIGURATION conf_ig
END_CREATE_KEYWORD      // DoMyConf
```

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT



Вычисление матриц первичных и вторичных параметров в ПО TALGAT

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4 | TALGATQwt5

```
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w

SET "conf_ig" GET_CONFIGURATION_2D
DRAW_CONFIGURATION conf_ig
END_CREATE_KEYWORD      // DoMyConf

CREATE_KEYWORD "calculate"
DoMyConf
        SET "smn_c" SMN_CG conf_ig
        SET "c" CALCULATE_CG smn_c conf_ig f0
        SET "mC" GET_REAL_MATRIX c
                ECHO LINE_TO_STRING *** Ёмкостная матрица ***
                ECHO TO_STRING mC

        SET "smn_l" SMN_L conf_ig
        SET "mL" CALCULATE_L smn_l conf_ig
                ECHO LINE_TO_STRING *** Матрица погонных индуктивностей ***
                ECHO TO_STRING mL

        SET "mG" CREATE_REAL_MATRIX ncond ncond
                SET_ROW mG 0 0. 0.
                SET_ROW mG 1 0. 0.

        SET "mR" CREATE_REAL_MATRIX ncond ncond
                SET_ROW mR 0 0. 0.
                SET_ROW mR 1 0. 0.

        SET "mZ" CALCULATE_ZC mL mC
                ECHO LINE_TO_STRING *** Волновое сопротивление ***
                ECHO mZ

        SET "tau" CALCULATE_TAU mL mC
                ECHO LINE_TO_STRING *** погонные задержки ***
                ECHO tau

        CALCULATE_EIGENVALUES_r CALCULATE_ZC mL mC
        SET "mZe" REAL GET_EIGENVALUES
        SET "Ze" GET_MATRIX_VALUE mZe 0 0
        SET "Zo" GET_MATRIX_VALUE mZe 1 1
        SET_VARIABLE "Rvalue" SQRT MUL GET_MATRIX_VALUE mZe 0 0 GET_MATRIX_VALU
                ECHO LINE_TO_STRING *** Сопротивление согласования ***
                ECHO Rvalue

END_CREATE_KEYWORD
```

```
SET "smn_c" SMN_CG conf_ig
SET "c" CALCULATE_CG smn_c conf_ig f0
SET "mC" GET_REAL_MATRIX c
        ECHO LINE_TO_STRING *** Ёмкостная матрица ***
        ECHO TO_STRING mC

SET "smn_l" SMN_L conf_ig
SET "mL" CALCULATE_L smn_l conf_ig
        ECHO LINE_TO_STRING *** Матрица погонных индуктивностей ***
        ECHO TO_STRING mL

SET "mG" CREATE_REAL_MATRIX ncond ncond
        SET_ROW mG 0 0. 0.
        SET_ROW mG 1 0. 0.

SET "mR" CREATE_REAL_MATRIX ncond ncond
        SET_ROW mR 0 0. 0.
        SET_ROW mR 1 0. 0.

SET "mZ" CALCULATE_ZC mL mC
        ECHO LINE_TO_STRING *** Волновое сопротивление ***
        ECHO mZ

SET "tau" CALCULATE_TAU mL mC
        ECHO LINE_TO_STRING *** погонные задержки ***
        ECHO tau
```

Ln 59, Col 48 INS

Вывод вычисленных параметров в консоль в ПО TALGAT

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4 | TALGATQwt5

```
                SET_ER_MINUS ErAir
                        LINE 0. hC d hC
                        LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
                        LINE PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC

SET "conf_ig" GET_CONFIGURATION_2D
DRAW_CONFIGURATION conf_ig
END_CREATE_KEYWORD      // DoMyConf

CREATE_KEYWORD "calculate"
DoMyConf
        SET "smn_c" SMN_CG conf_ig
        SET "c" CALCULATE_CG smn_c conf_ig f0
        SET "mC" GET_REAL_MATRIX c
                ECHO LINE_TO_STRING *** Ёмкостная матрица ***
                ECHO TO_STRING mC

        SET "smn_l" SMN_L conf_ig
        SET "mL" CALCULATE_L smn_l conf_ig
                ECHO LINE_TO_STRING *** Матрица погонных индуктивностей ***
```

```
ECHO LINE_TO_STRING *** Ёмкостная матрица ***
ECHO TO_STRING mC
```

```
        SET "mR" CREATE_REAL_MATRIX ncond ncond
                SET_ROW mR 0 0. 0.
                SET_ROW mR 1 0. 0.

        SET "mZ" CALCULATE_ZC mL mC
                ECHO LINE_TO_STRING *** Волновое сопротивление ***
                ECHO mZ

        SET "tau" CALCULATE_TAU mL mC
                ECHO LINE_TO_STRING *** погонные задержки ***
                ECHO tau

        CALCULATE_EIGENVALUES_r CALCULATE_ZC mL mC
        SET "mZe" REAL GET_EIGENVALUES
        SET "Ze" GET_MATRIX_VALUE mZe 0 0
        SET "Zo" GET_MATRIX_VALUE mZe 1 1
        SET_VARIABLE "Rvalue" SQRT MUL GET_MATRIX_VALUE mZe 0 0 GET_MATRIX_VALUE mZe 1 1
                ECHO LINE_TO_STRING *** Сопротивление согласования ***
                ECHO Rvalue

END_CREATE_KEYWORD
```

Console

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010    -1.38122e-010
-1.38122e-010   2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007    3.09026e-007
3.09026e-007    3.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
50.5516         35.7304
35.7304         50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009    0
0               6.4866e-009
*** Сопротивление согласования ***
35.7603
>
```

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010    -1.38122e-010
-1.38122e-010   2.32065e-010
```

Ln 59, Col 48 INS

Вычисление отклика в ПО TALGAT

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4

```
CREATE_KEYWORD "ResponseMeander"
CLEAR_SCHEME
RESPONSE_CLEAR
CLEAR_RESPONSE

TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "step_time" 1.e-12
TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "count_degree" 14

RESISTOR "R1" 1 2 Rvalue
RESISTOR "R2" 0 3 Rvalue
RESISTOR "R3" 0 4 Rvalue
RESISTOR "R4" 0 5 Rvalue

SOURCE "V1" 0 1
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. TDS TDS TDD 0.

TRANSMISSION_LINE "tl1" GET_MATRIX_ROWS mL 2 3 4 5
TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS mL mC mR mG dLength

T_RESPONSE f0
END_CREATE_KEYWORD //ResponseMeander

CREATE_KEYWORD "plotMeander"
ADD_XY_DATA_c ts V1 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vgen

ADD_XY_DATA_c ts V2 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 1.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vinput

ADD_XY_DATA_c ts V3 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 1. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Voutput

SET_X_TITLE LINE_TO_STRING t
SET_Y_TITLE LINE_TO_STRING V
SET_PLOT_RANGE 0. 0. 5.e-9 0.
PLOT_XY
END_CREATE_KEYWORD //plot1

calculate
ResponseMeander
plotMeander

SET "ncond" 2
```

```
CLEAR_SCHEME
RESPONSE_CLEAR
CLEAR_RESPONSE
```

Данные команды необходимы для обновления параметров схемы и отклика при повторном вычислении

```
TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "step_time" 1.e-12
TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "count_degree" 14
```

<u>TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP</u> - данной командой задается временной шаг и число отсчетов на период повторения импульсов для алгоритмов БПФ.

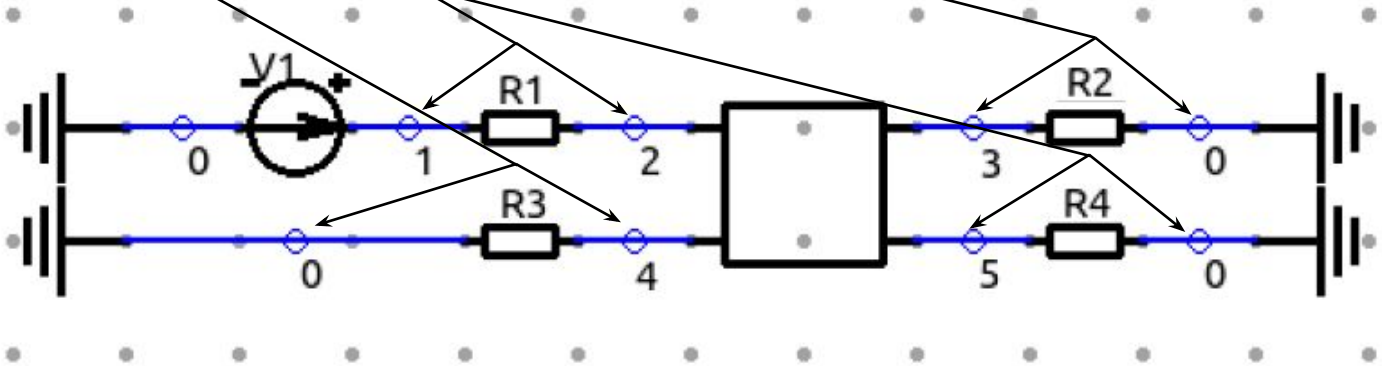
Ln 88, Col 58 INS

Вычисление отклика в ПО TALGAT

```
RESISTOR "R1" 1 2 Rvalue
RESISTOR "R2" 0 3 Rvalue
RESISTOR "R3" 0 4 Rvalue
RESISTOR "R4" 0 5 Rvalue
```

Задание резисторов в схеме и их значений

```
TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "step_time" 1.e-12
TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "count_degree" 14

RESISTOR "R1" 1 2 Rvalue
RESISTOR "R2" 0 3 Rvalue
RESISTOR "R3" 0 4 Rvalue
RESISTOR "R4" 0 5 Rvalue

SOURCE "V1" 0 1
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. TDS TDS TDD 0.

TRANSMISSION_LINE "tl1" GET_MATRIX_ROWS mL 2 3 4 5
TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS mL mC mR mG dLength

T_RESPONSE f0
END_CREATE_KEYWORD //ResponseMeander

CREATE_KEYWORD "plotMeander"
ADD_XY_DATA_c ts V1 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vgen

ADD_XY_DATA_c ts V2 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 1.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vinput

ADD_XY_DATA_c ts V3 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 1. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Voutput

SET_X_TITLE LINE_TO_STRING t
SET_Y_TITLE LINE_TO_STRING V
SET_PLOT_RANGE 0. 0. 5.e-9 0.
PLOT_XY
END_CREATE_KEYWORD //plot1

calculate
ResponseMeander
plotMeander

SET "ncond" 2
```




```
Console
*** Емкостная матрица ***
2.32065e-010   -1.38122e-010
-1.38122e-010   2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007   3.09026e-007
3.09026e-007   3.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
50.5516        35.7304
35.7304        50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009   0
0              5.4866e-009
*** Сопротивление согласования ***
```

Ln 88, Col 58 INS

Вычисление отклика в ПО TALGAT

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

```
SOURCE "V1" 0 1
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. TDS TDS TDD 0.
```

```
CLEAR_SCHEME
RESPONSE_CLEAR
CLEAR_RESPONSE

TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "step_time" 1.e-12
TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "count_degree" 14

RESISTOR "R1" 1 2 Rvalue
RESISTOR "R2" 0 3 Rvalue
RESISTOR "R3" 0 4 Rvalue
RESISTOR "R4" 0 5 Rvalue

SOURCE "V1" 0 1
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. TDS TDS TDD 0.

TRANSMISSION_LINE "tl1" GET_MATRIX_ROWS mL 2 3 4 5
TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS mL mC mR mG dLength

T_RESPONSE f0
END_CREATE_KEYWORD //ResponseMeander

CREATE_KEYWORD "plotMeander"
ADD_XY_DATA_c ts V1 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vgen

ADD_XY_DATA_c ts V2 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 1.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vinput

ADD_XY_DATA_c ts V3 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 1. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Voutput

SET_X_TITLE LINE_TO_STRING t
SET_Y_TITLE LINE_TO_STRING V
SET_PLOT_RANGE 0. 0. 5.e-9 0.
PLOT_XY
END_CREATE_KEYWORD //plot1

calculate
ResponseMeander
plotMeander

SET "ncond" 2
```

Console

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010   -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007   3.09026e-007
3.09026e-007   3.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
50.5516        35.7304
35.7304        50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009   0
```

Ln 88, Col 58 INS

Задание источника воздействия в схеме.

Импульсный сигнал: **<u>SIMULATION_SOURCES_VPULSE Vin Vpv tTD tRT tFT tD Period</u>**, где **Vin -** постоянная составляющая, В; **Vpv -** максимальное значение напряжения, В; **tTD -** время задержки, с; **tRT -** длительность переднего фронта, с; **tFT -** длительность заднего фронта, с; **tD -** длительность вершины импульса, с; **Period -** период повторения импульсов, с.

Вычисление отклика в ПО TALGAT

```
TRANSMISSION_LINE "tl1" GET_MATRIX_ROWS mL 2 3 4 5
TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS mL mC mR mG dLength
```

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

```
CLEAR_SCHEME
RESPONSE_CLEAR
CLEAR_RESPONSE

TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "step_time" 1.e-12
TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "count_degree" 14

RESISTOR "R1" 1 2 Rvalue
RESISTOR "R2" 0 3 Rvalue
RESISTOR "R3" 0 4 Rvalue
RESISTOR "R4" 0 5 Rvalue

SOURCE "V1" 0 1
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. TDS TDS TDD 0.

TRANSMISSION_LINE "tl1" GET_MATRIX_ROWS mL 2 3 4 5
TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS mL mC mR mG dLength

T_RESPONSE f0
END_CREATE_KEYWORD //ResponseMeander

CREATE_KEYWORD "plotMeander"
ADD_XY_DATA_c ts V1 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vgen

ADD_XY_DATA_c ts V2 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 1.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vinput

ADD_XY_DATA_c ts V3 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 1. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Voutput

SET_X_TITLE LINE_TO_STRING t
SET_Y_TITLE LINE_TO_STRING V
SET_PLOT_RANGE 0. 0. 5.e-9 0.
PLOT_XY
END_CREATE_KEYWORD //plot1

calculate
ResponseMeander
plotMeander

SET "ncond" 2
```

Console

```
*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010   -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.90343e-007   3.09026e-007
3.09026e-007   3.90343e-007
```

Ln 88, Col 58 INS

<u>TRANSMISSION_LINE "t11" N in1 out1 . . . inN outN</u>, где **N** - количество проводников, а **inN** - номер узла, с которым соединен проводник **N** в начале линии и **outN** - номер узла, с которым соединен проводник **N** в конце линии. Дополнительно для задания параметров линии передачи используется команда: **<u>TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS L C R G length</u>**, где **C** - матрица погонных коэффициентов электростатической индукции, **L** - матрица погонных коэффициентов электромагнитной индукции, **G** - матрица погонных проводимостей, **R** - матрица погонных сопротивлений, **length** - длина отрезка линии.

Вычисление отклика в ПО TALGAT

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]

File Edit View TALGAT Project Window Help

Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld | TALGATWindowVTK4 | TALGATQwt5

```
CREATE_KEYWORD "ResponseMeander"
CLEAR_SCHEME
RESPONSE_CLEAR
CLEAR_RESPONSE

TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "step_time" 1.e-12
TRANSIENT_ANALYSIS_SETUP "count_degree" 14

RESISTOR "R1" 1 2 Rvalue
RESISTOR "R2" 0 3 Rvalue
RESISTOR "R3" 0 4 Rvalue
RESISTOR "R4" 0 5 Rvalue

SOURCE "V1" 0 1
SIMULATION_SOURCES_VPULSE 0. 1. 0. TDS TDS TDD 0.

TRANSMISSION_LINE "tl1" GET_MATRIX_ROWS mL 2 3 4 5
TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS mL mC mR mG dLength

T_RESPONSE f0
END_CREATE_KEYWORD //ResponseMeander

CREATE_KEYWORD "plotMeander"
ADD_XY_DATA_c ts V1 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vgen

ADD_XY_DATA_c ts V2 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 1.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vinput

ADD_XY_DATA_c ts V3 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 1. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Voutput

SET_X_TITLE LINE_TO_STRING t
SET_Y_TITLE LINE_TO_STRING V
SET_PLOT_RANGE 0. 0. 5.e-9 0.
PLOT_XY
END_CREATE_KEYWORD //plot1

calculate
ResponseMeander
plotMeander

SET "ncond" 2
```

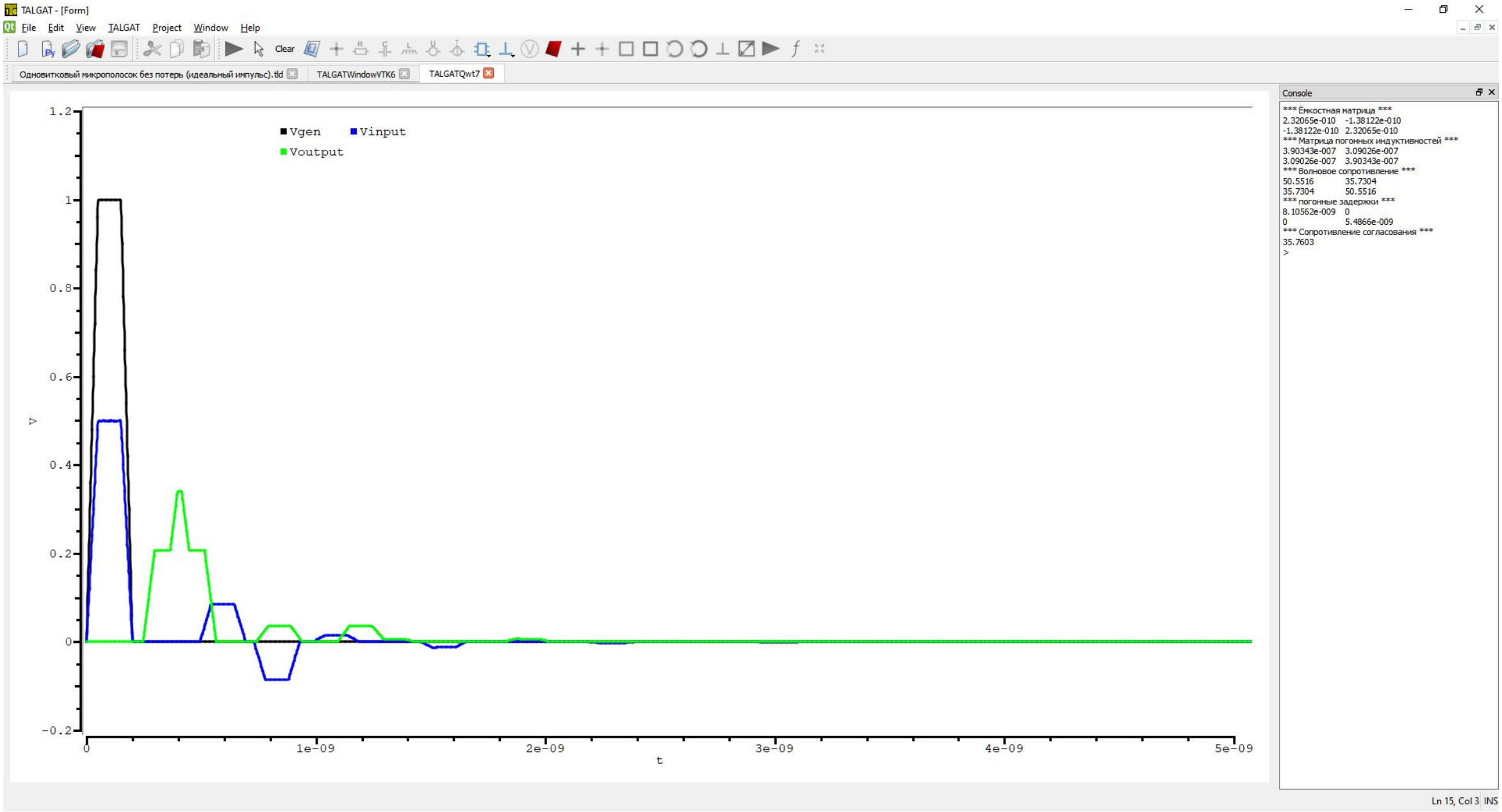
Построение графиков

```
CREATE_KEYWORD "plotMeander"
ADD_XY_DATA_c ts V1 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vgen

ADD_XY_DATA_c ts V2 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 1.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vinput

ADD_XY_DATA_c ts V3 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 1. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Voutput

SET_X_TITLE LINE_TO_STRING t
SET_Y_TITLE LINE_TO_STRING V
SET_PLOT_RANGE 0. 0. 5.e-9 0.
PLOT_XY
END_CREATE_KEYWORD //plot1
```

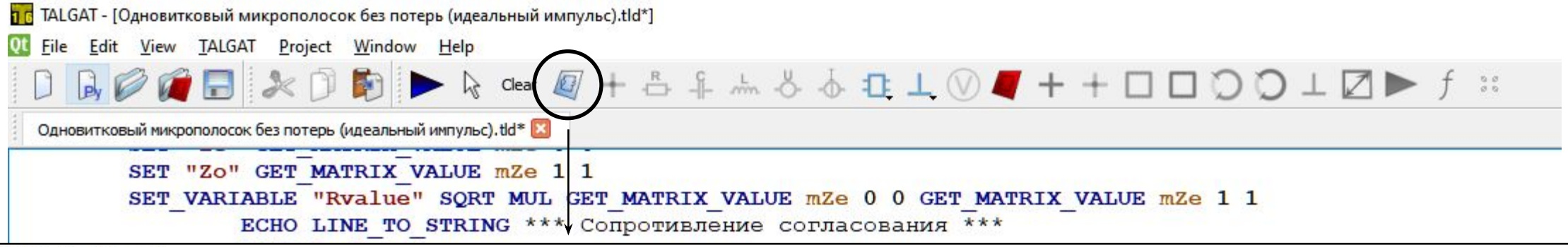
Вызов ранее созданных кейвордов (KEYWORD)

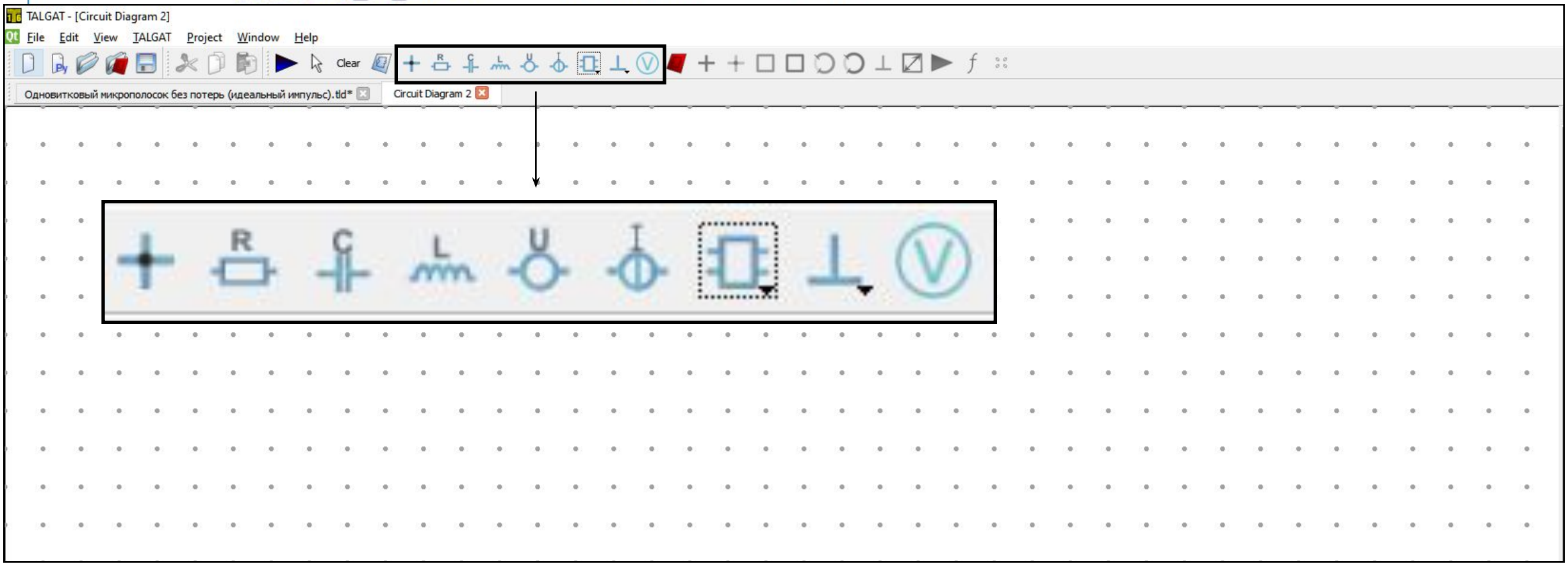
Ln 88, Col 58 INS

Вычисление отклика в ПО TALGAT

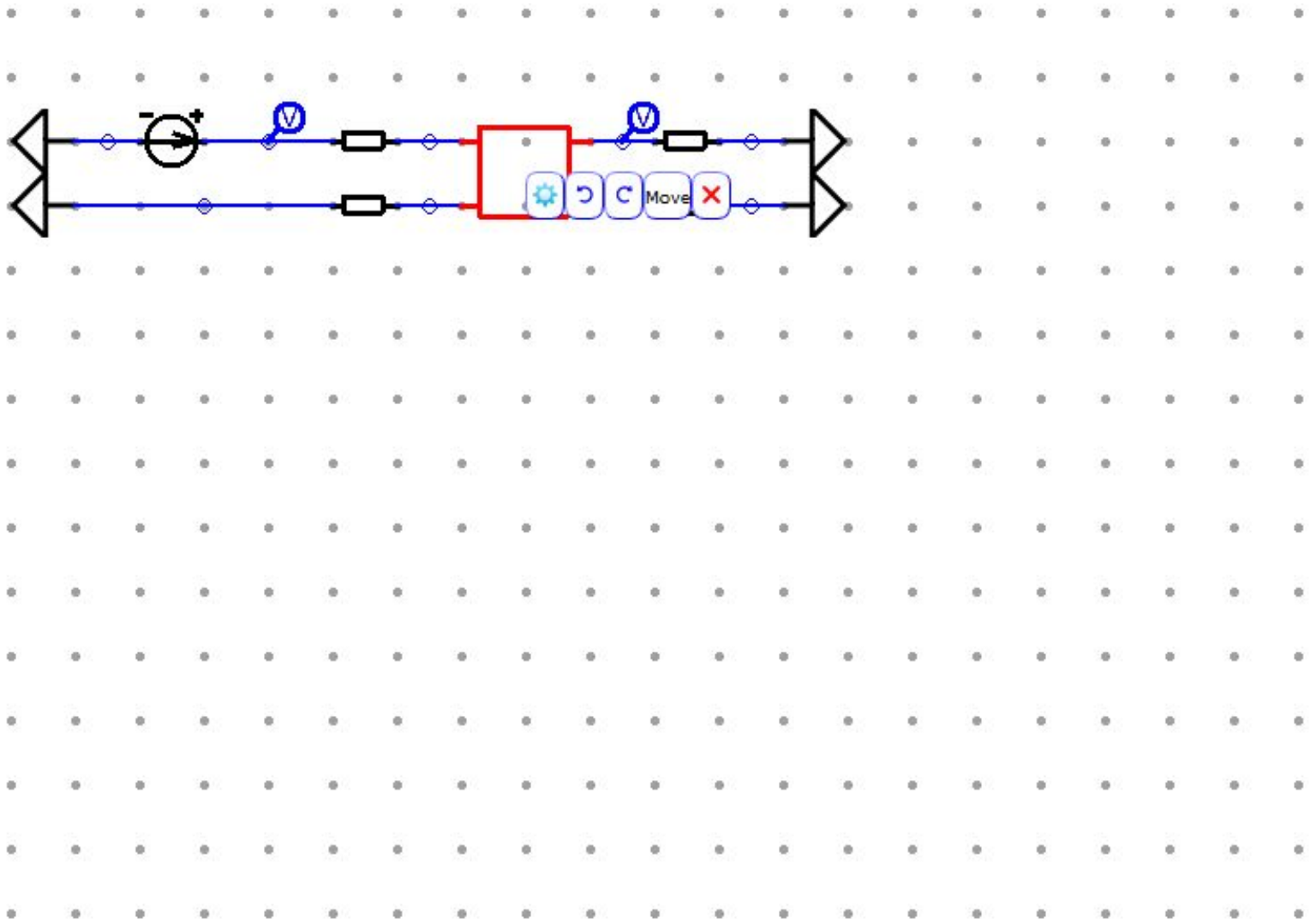


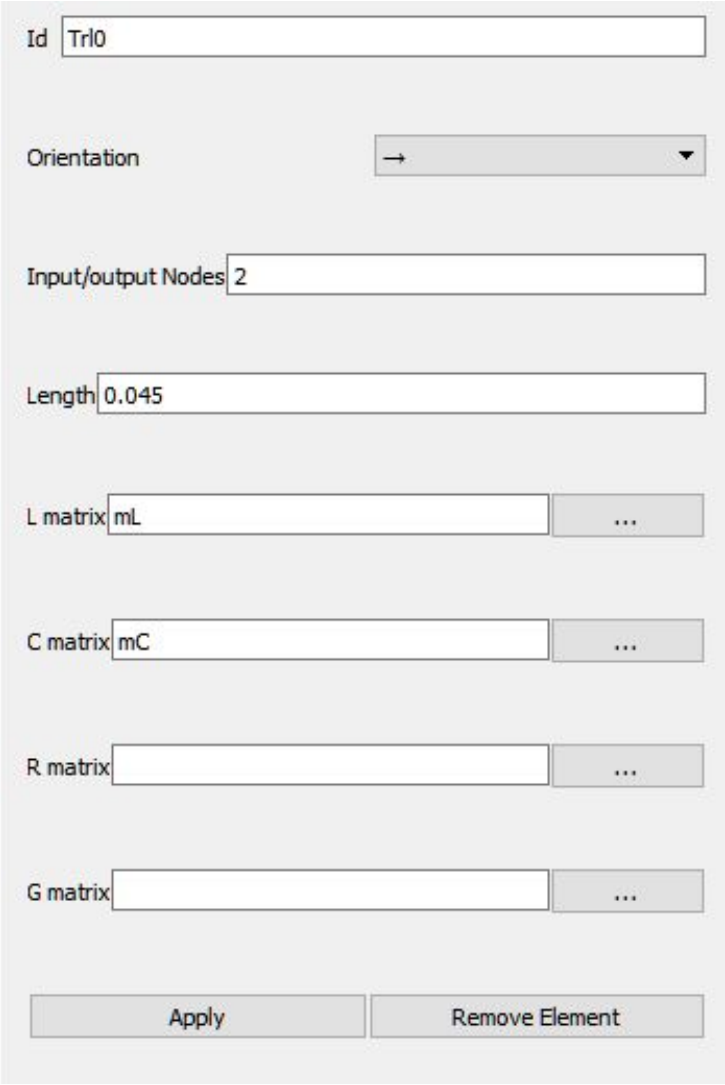
Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT



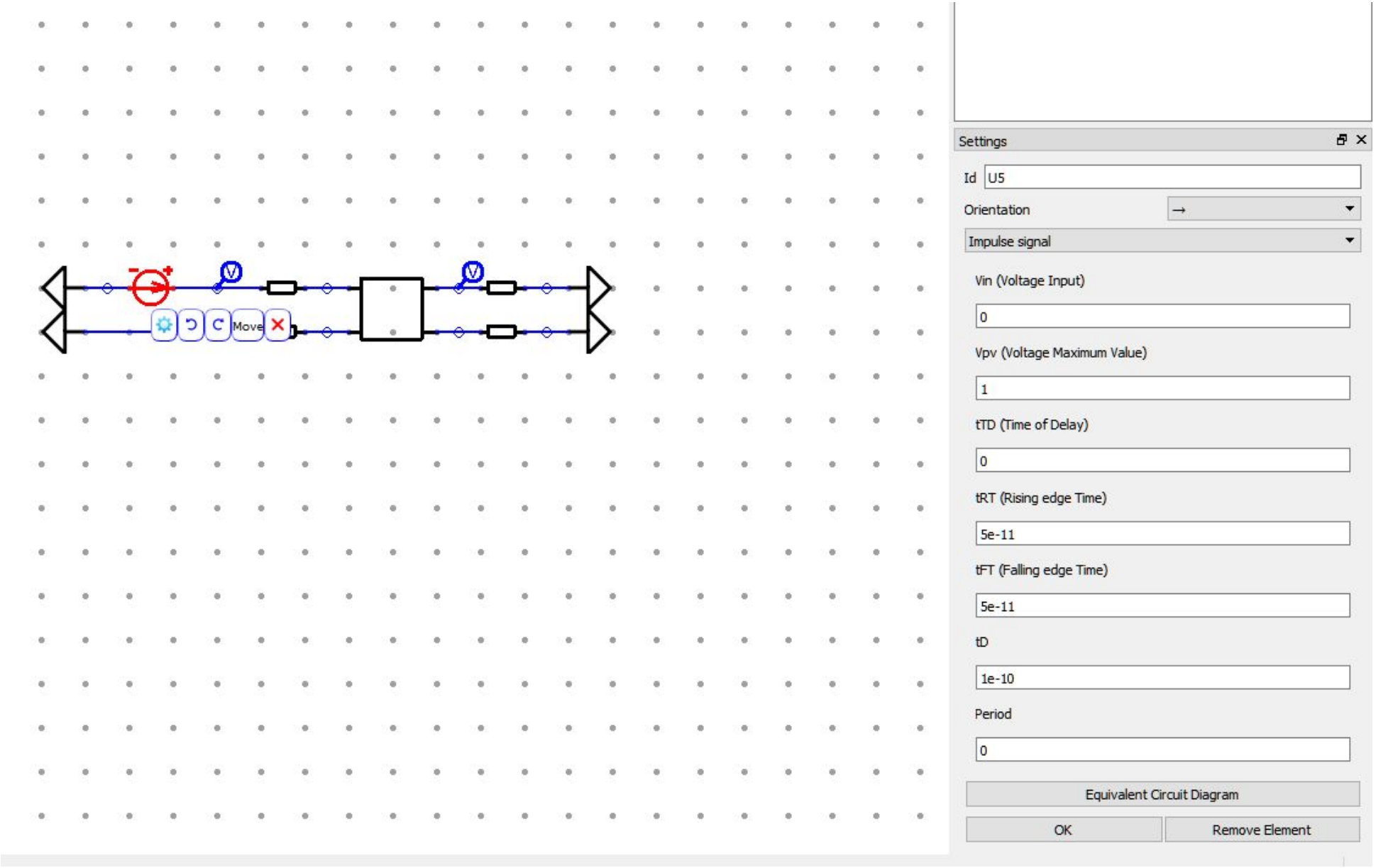


Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT

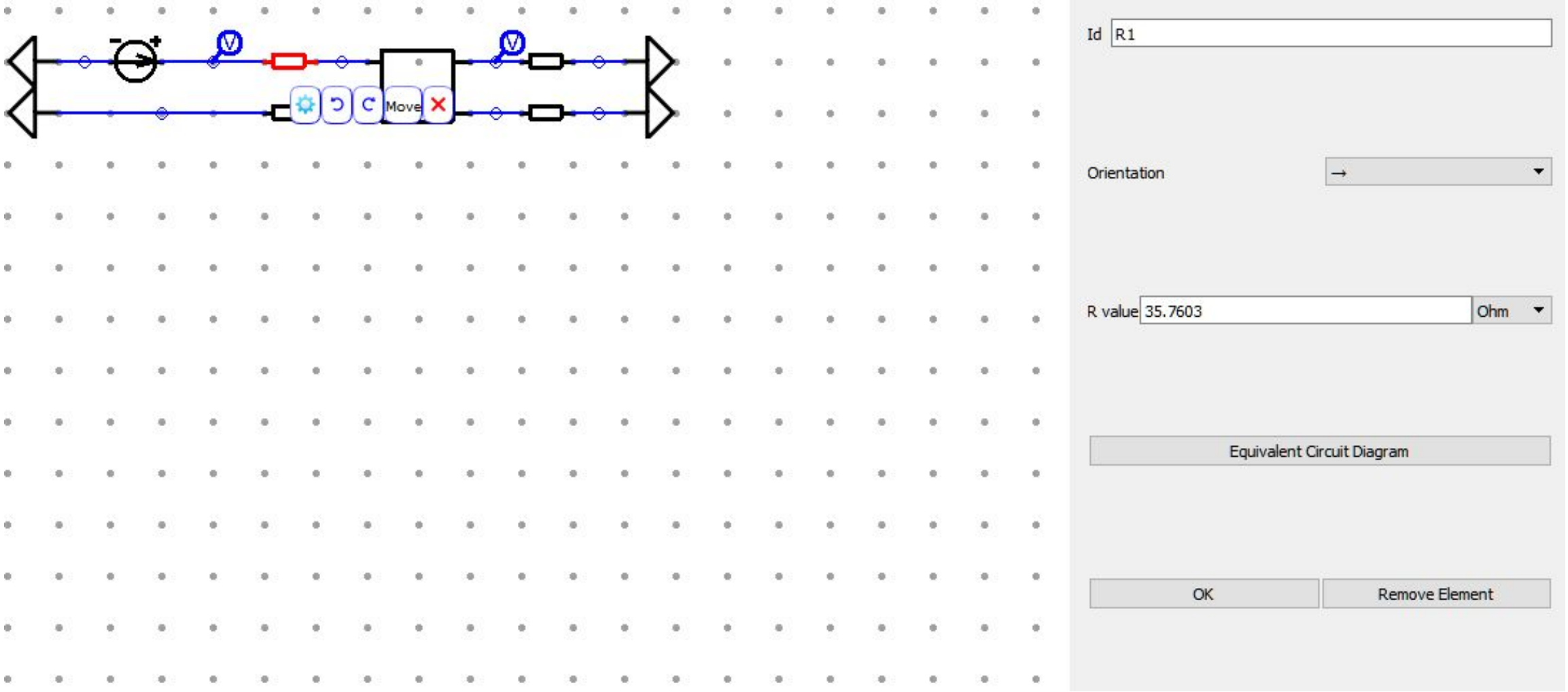




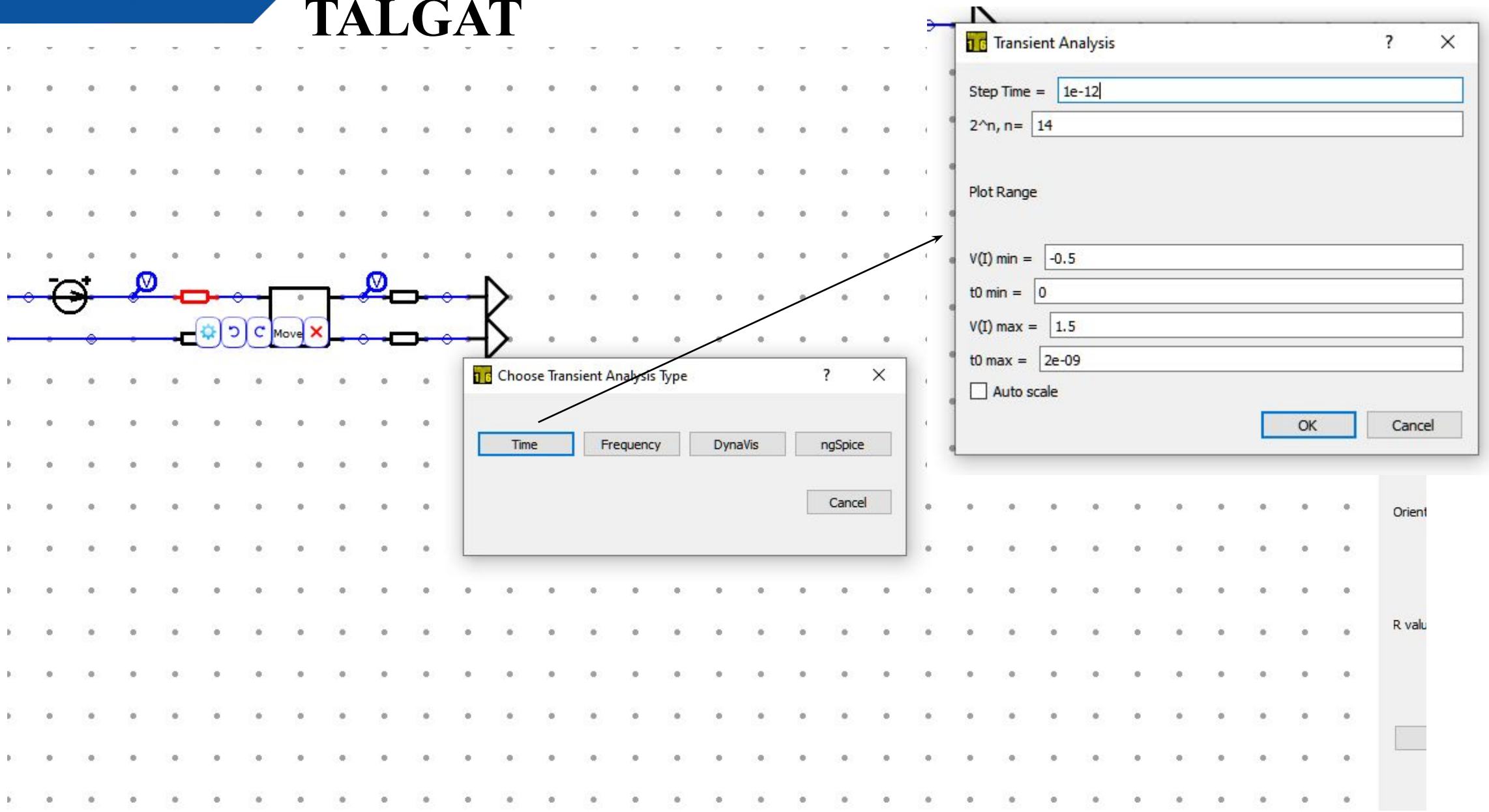
Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT



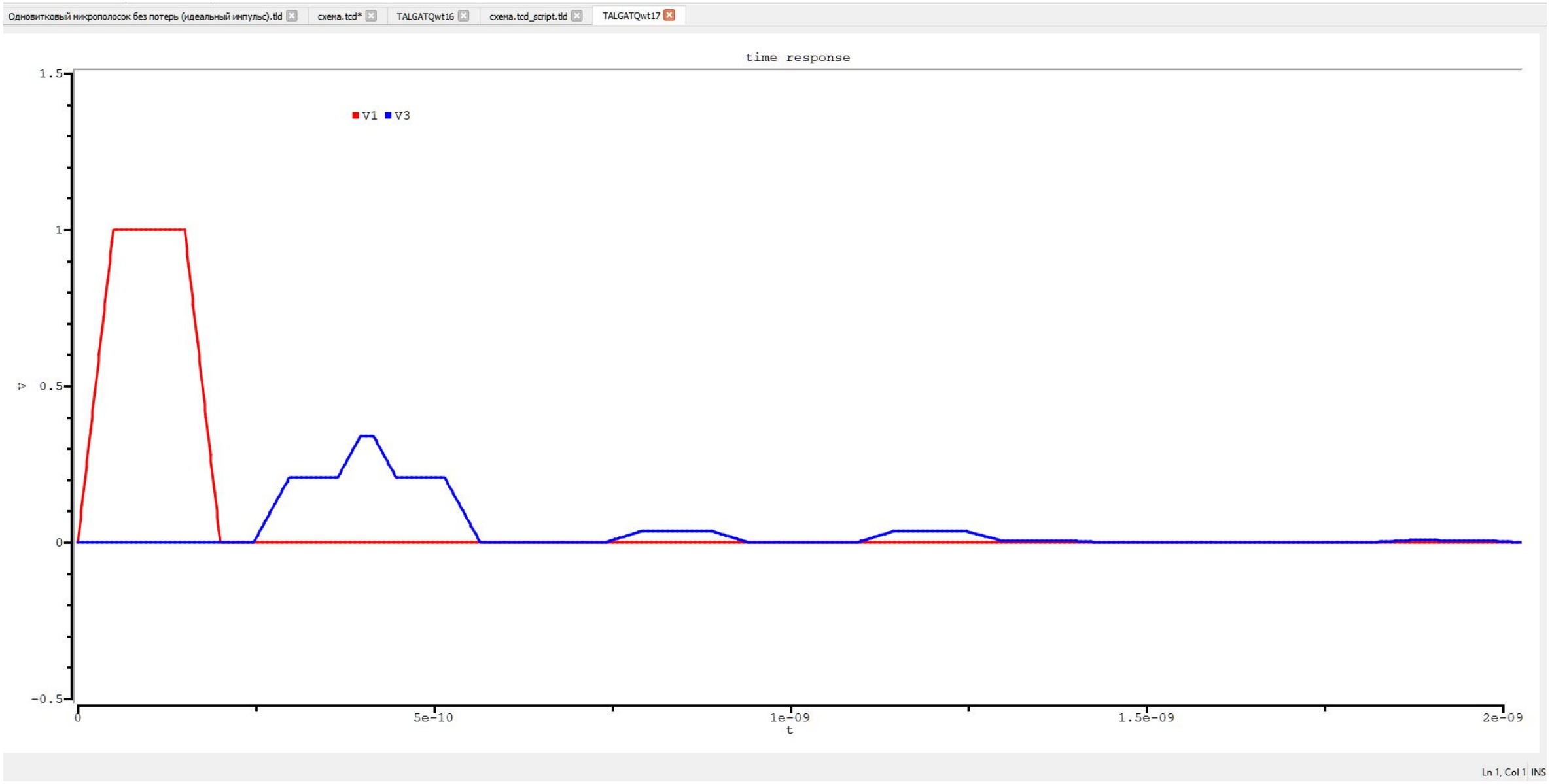
Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT



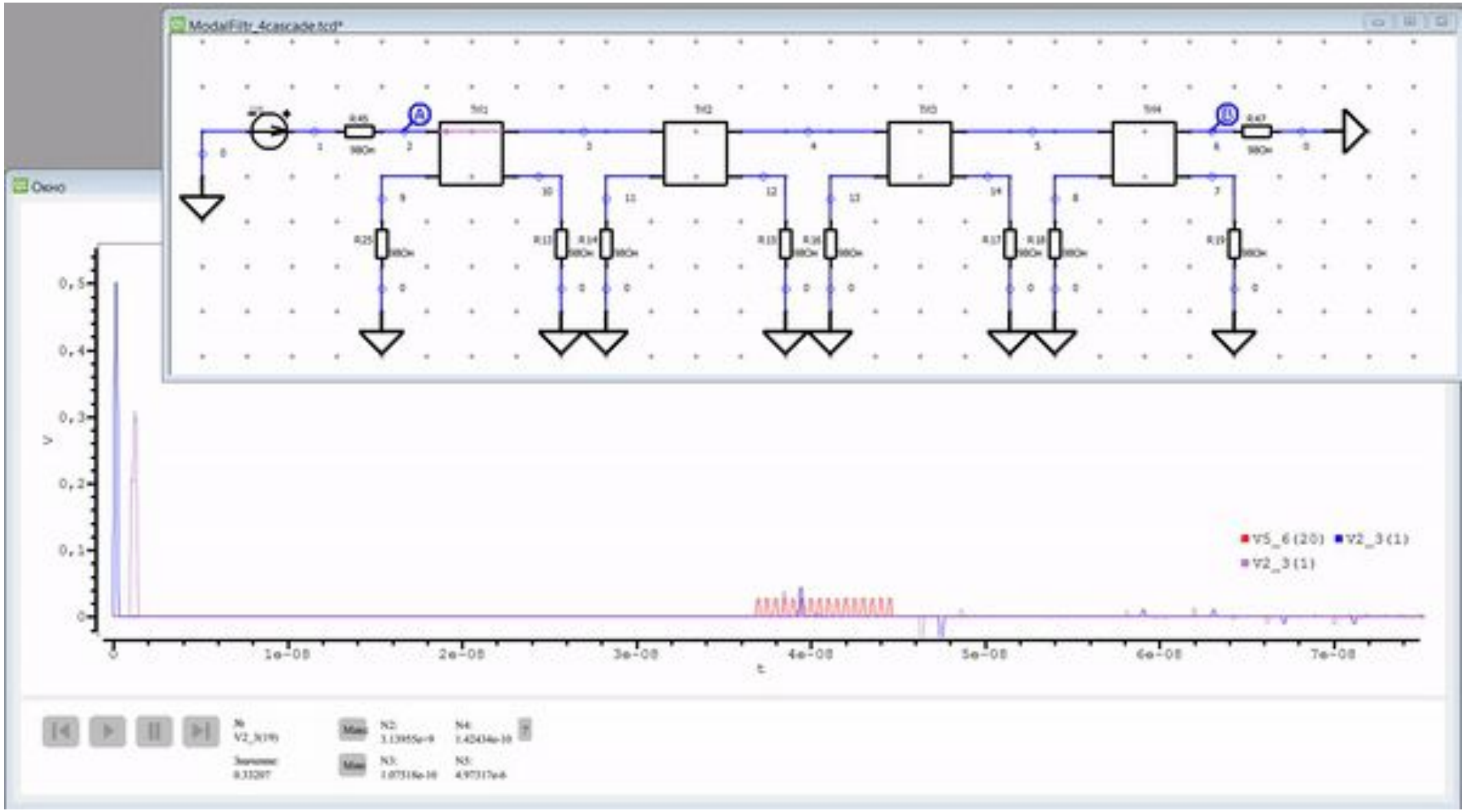
Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT



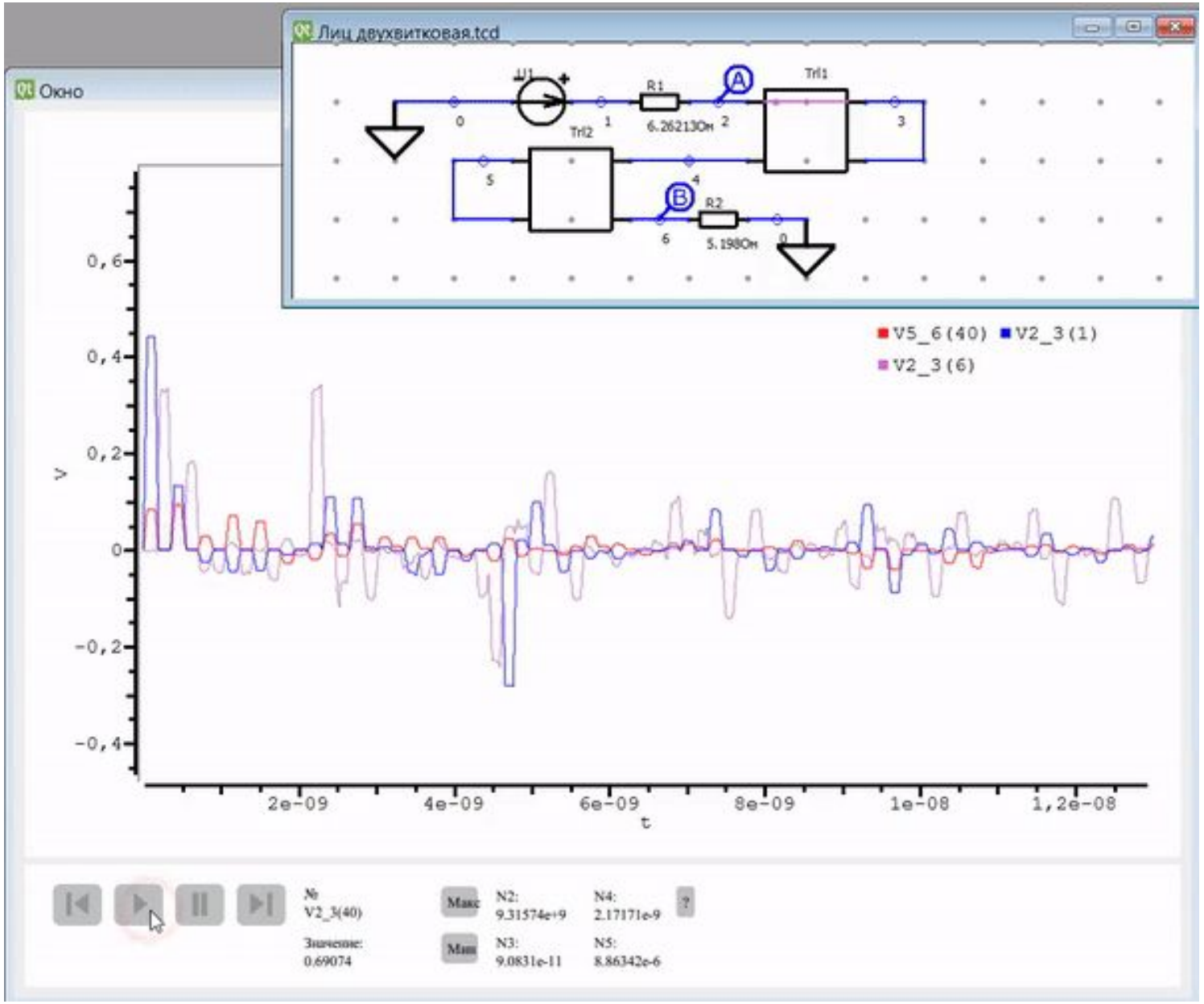
Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT



Динамическое отображение

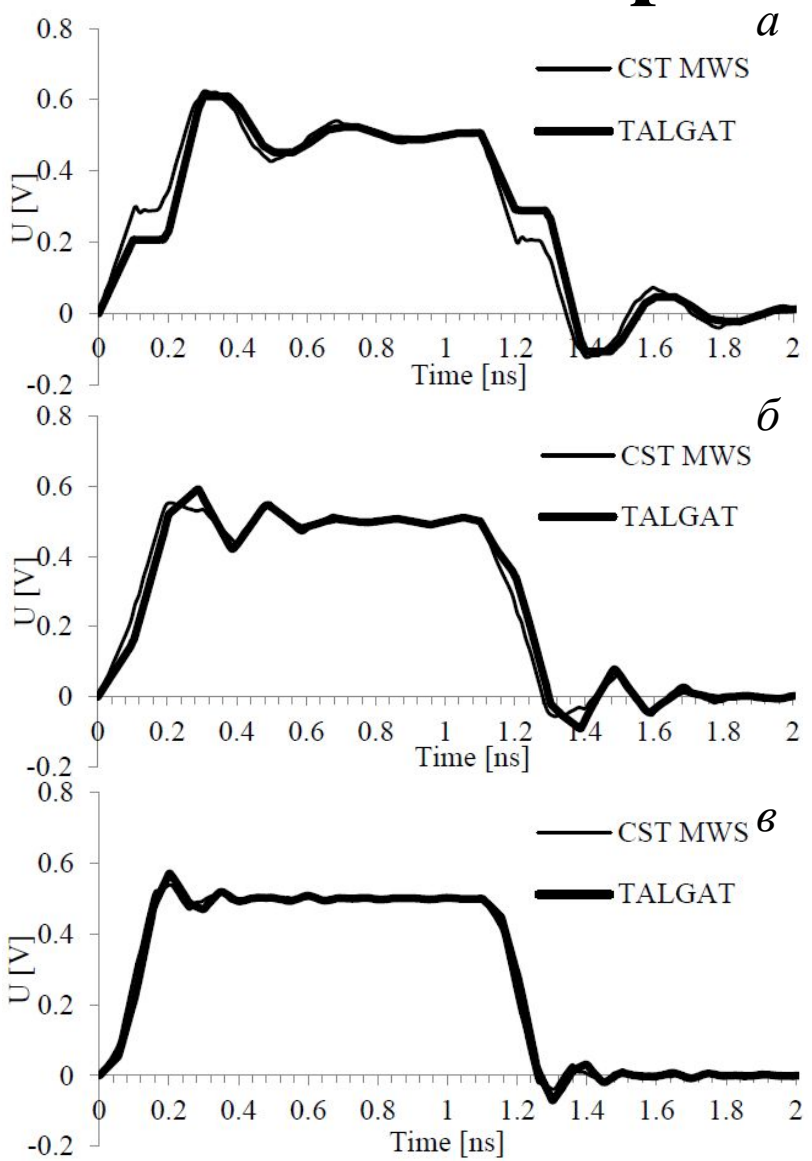


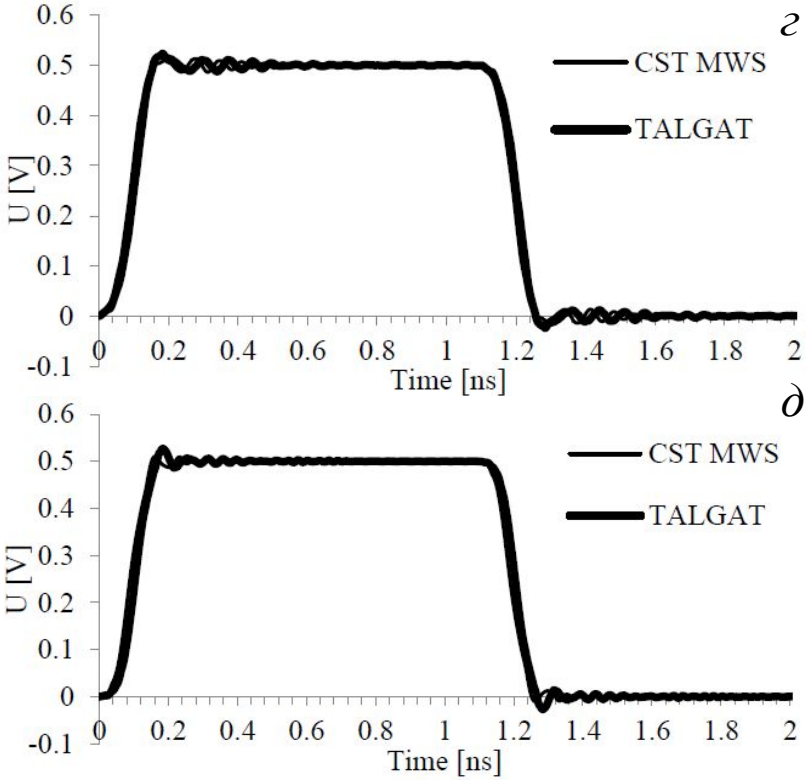
Динамическое отображение



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Сравнение CST MWS и TALGAT





е

	CST MWS		TALGAT	
N	Time, sec	Peak Memory Usage, Mb	Time, sec	Peak Memory Usage, Mb
2	1002	345	3	85
4	822	306	6.2	107
8	730	288	17.3	185
16	635	263	60	586
32	796	303	62	501

ж

N	l, mm	T_{CST}, ps	T_{TALGAT}, ps	ΔT, ps	$\frac{\lvert T_{CST} - T_{TALGAT} \rvert}{T_{CST} + T_{TALGAT}} \cdot 100\%$
2	20	87	206	119	40
4	10	105	129	24	10
8	5	93	109	16	8
16	2.5	90	100	10	5
32	1.25	89	104	15	8

Формы сигнала на выходе меандровой линии при $N = 2$ (*а*), 4 (*б*), 8 (*в*); 16 (*г*); и 32 (*д*)

Потребление памяти и время выч-й (*е*) и задержки по уровню 0,5 (*ж*) для CST MWS и TALGAT

Orlov P.E. Gazizov T.R., Zabolotsky A.M. Short Pulse Propagation along Microstrip Meander Delay Lines with Design Constraints: Comparative Analysis of the Quasi-static and Electromagnetic Approaches // ACES Journal . March. 2016, Vol. 31, Issue 3, p. 238-243.