

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

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

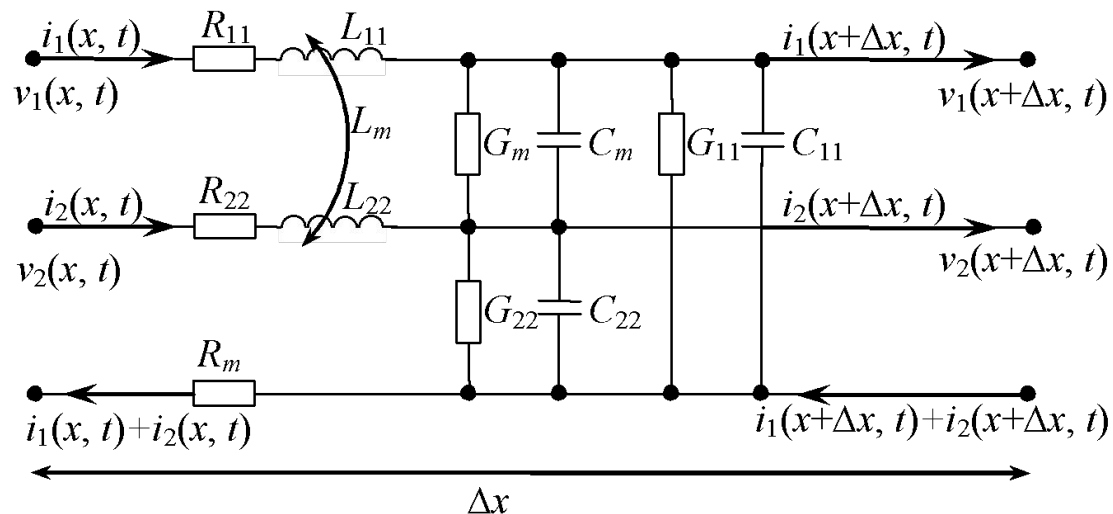
Квазистатическое моделирование в системе TALGAT

Суровцев Роман Сергеевич

«Современные методы в математической физике»

17–30 августа 2020 г.

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

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.

$$\begin{aligned} \bar{\nabla} \times \bar{E} &= -\mu \frac{\partial \bar{H}}{\partial t} \\ \bar{\nabla} \cdot \bar{E} &= \frac{\rho}{\varepsilon} \\ \bar{\nabla} \times \bar{H} &= \bar{J} + \varepsilon \frac{\partial \bar{E}}{\partial t} \\ \bar{\nabla} \cdot \bar{B} &= 0 \end{aligned}$$

весовые (w_i) и базисные (f_j) функции

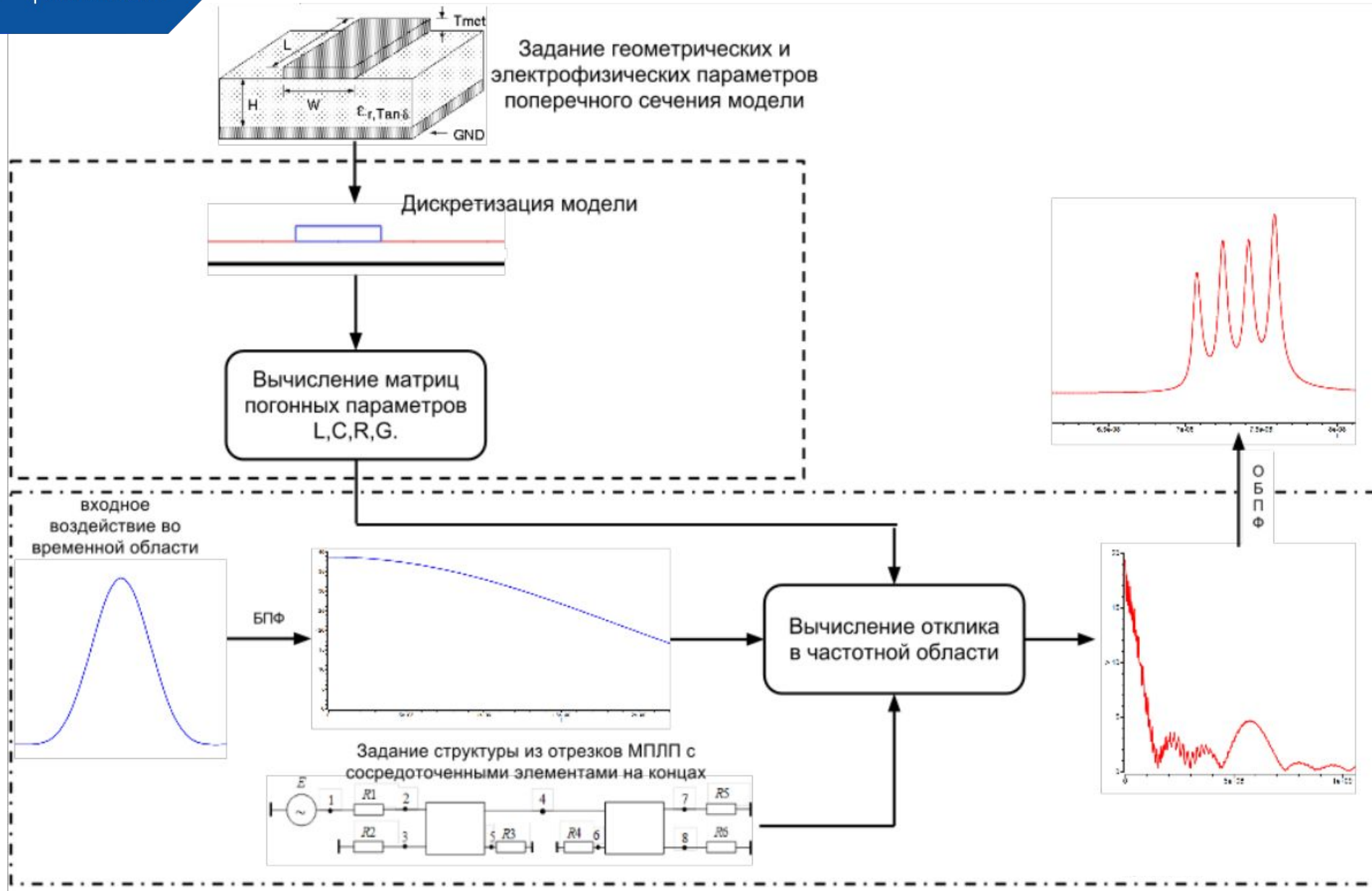
$S = [\langle w_i, Lf_j \rangle]$
 σ – вектор-столбец распределения плотности заряда на границах структуры
 v – вектор-столбец из потенциалов на подобластях границ структуры

$L\phi(r) = \rho(r)$, где $L = -\varepsilon \nabla^2$
 $\phi(r)$ – электростатический потенциал в точке r
 $\rho(r)$ – плотность заряда в точке r

граничные условия по приложенному напряжению

$\phi(r) = L^{-1} \rho(r)$, где $L^{-1} = \int G(r|r') d\Gamma$
 $G(r|r') d\Gamma$ – соответствующая функция Грина
 $d\Gamma$ – дифференциал, зависящий от размерности задачи

Структурная схема квазистатического анализа



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 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 PLUS d w s PLUS hC t
LINETO PLUS PLUS PLUS d w s hC

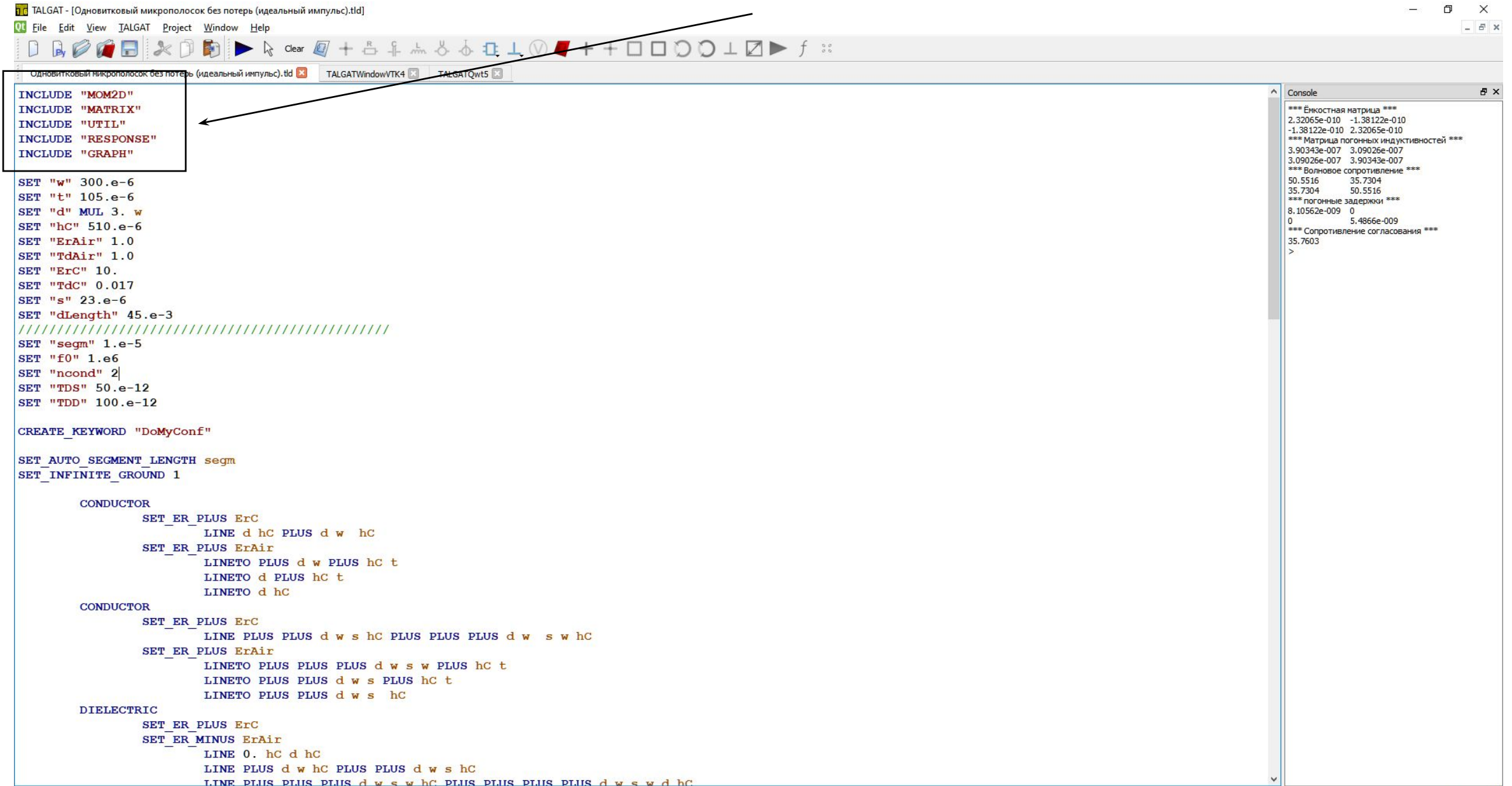
DIELECTRIC
SET_ER_PLUS ErC
SET_ER_MINUS ErAir
LINE 0. hC d hC
LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC
LINE PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w hC PLUS PLUS PLUS PLUS d w s w d hC
    
```

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 ***
35.7603
>
    
```

Ln 15, Col 3 INS



The screenshot shows the TALGAT software interface. The main window displays the configuration code for a project named "Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld". A red box highlights the first five lines of the code, which are include statements for various modules. An arrow points from the title bar of the main window to this box. The console window on the right shows the output of the simulation, including the sparse matrix, inductance matrix, wave impedance, and propagation delays.

```

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 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 PLUS d w s PLUS hC t
  LINETO PLUS 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
*** 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 ***
35.7603
>
  
```

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.

MOM2D - модуль двумерного 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 двумерного электростатического анализа необходимо загрузить модули **UTIL**, **MATRIX** и сам **MOM2D**

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.

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**.

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

The screenshot shows the TALGAT software interface. The main window displays a configuration file with the following content:

```

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 PLUS d w s hC PLUS PLUS PLUS d 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 PLUS d w s w d hC
  
```

The console window on the right shows the following output:

```

*** Емкостная матрица ***
2.32065e-010 -1.38122e-010
-1.38122e-010 2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
3.99342e-007 3.99026e-007
3.99026e-007 3.99342e-007
*** Волновое сопротивление ***
304.33
*** Погонная индуктивность ***
8.10562e-009 0
0 5.4866e-009
*** Погонная емкость ***
0 0
0 0
*** Погонная индуктивность ***
0 0
0 0
*** Погонная емкость ***
0 0
0 0
  
```

A text box on the right explains the variables:

- 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

The screenshot shows a software interface with a code editor on the left and a console window on the right. A red box highlights the command `CREATE_KEYWORD "DoMyConf"` in the code editor. A black arrow points from this box to the top of the console window. The console window displays the following output:

```

*** 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 ***
35.7603
>

```

The code editor contains the following code:

```

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"

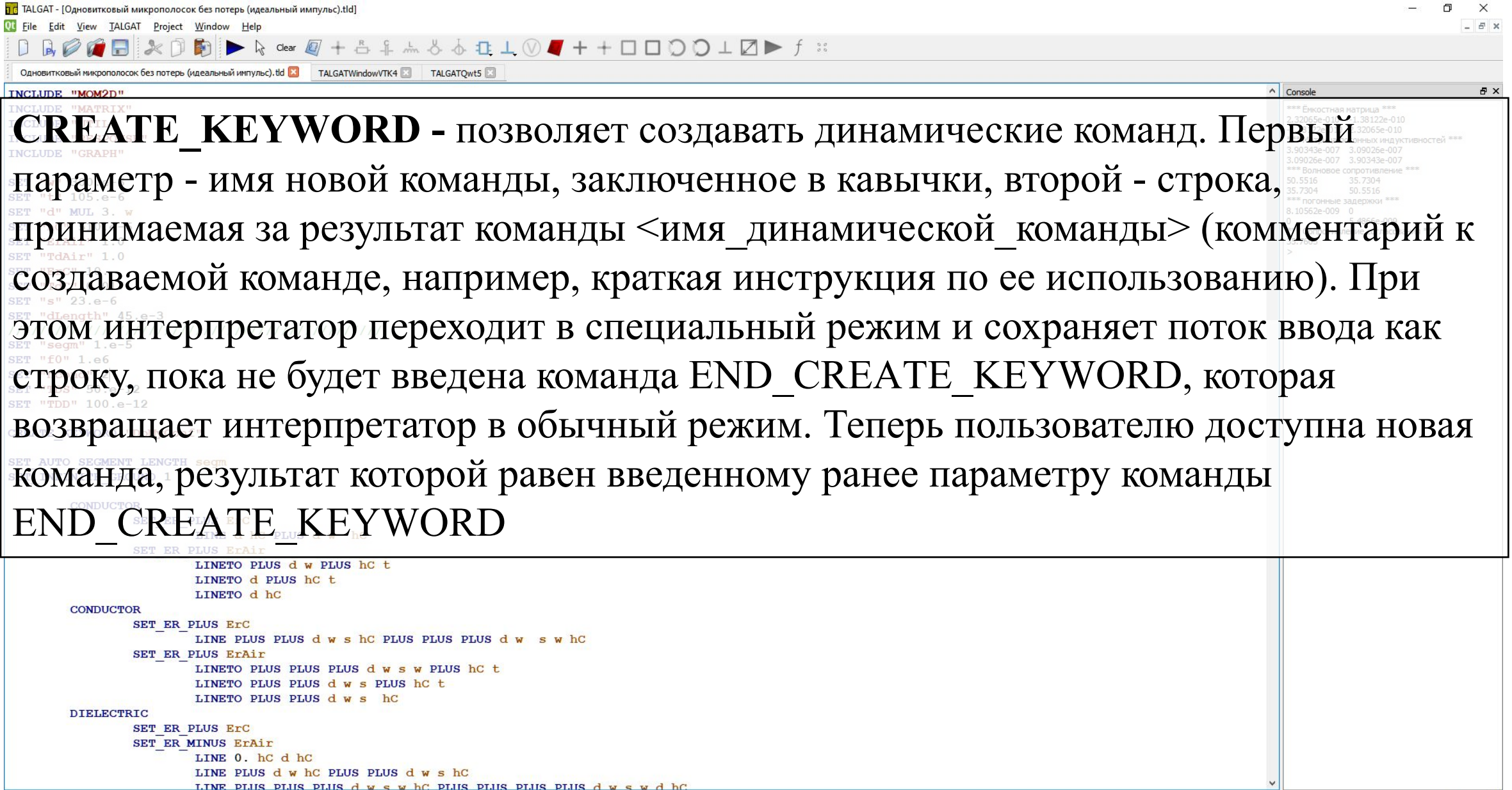
SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH segm
SET_INFINITE_GROUND 1

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 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

```

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 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

```

*** Емкости матрица ***
2.37065e-010  1.38122e-010
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             8.10562e-009
>
    
```


Команды SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH и SET_INFINITE_GROUND

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

File Edit View TALGAT Project Window Help

SET_AUTO_SEGMENT_LENGTH segm - 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).

SET_INFINITE_GROUND 1 или 0 – 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 .

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

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 ***
  
```

```

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

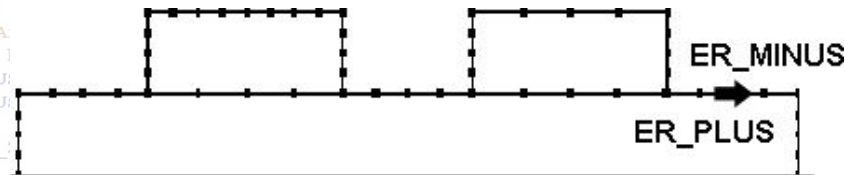
```

*** 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
>
  
```

Команды **CONDUCTOR** и **DIELECTRIC** необходимы для построения проводников и диэлектриков соответственно.

Команды **LINE** и **LINETO** необходимы для задания координат отрезков проводников и диэлектриков.

Команды **SET_ER_PLUS** и **SET_ER_MINUS** 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

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

```

File Edit View TALGAT Project Window Help
////////////////////////////////////////////////////
SET "ncond" 2
SET "TDS" 50.e-12
SET "TDD" 100.e-12

CREATE_KEYWORD "DoMyConf"

CONDUCTOR
SET_ER_PLUS ErAir
LINETO PLUS d w PLUS hc t
LINETO d PLUS hc t
LINETO d hc

CONDUCTOR
SET_ER_PLUS ErC
LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hc t
LINETO PLUS PLUS PLUS d w s w PLUS hc t

DIELECTRIC
SET_ER_PLUS ErA
SET_ER_MINUS ErA
LINE PLUS
LINE PLUS

SET "conf_ig" GET_CONFIGURATION
DRAW_CONFIGURATION conf_ig
END_CREATE_KEYWORD // DoMyConf

SET "smn_c" SMN CG conf_ig
SET "smn_l" SMN_L conf_ig
SET "mL" CALCULATE L smn_l conf_ig
ECHO_LINE TO STRING *** Емкостная матрица ***
ECHO_TO_STRING mc

ECHO_LINE TO STRING *** Матрица погонных индуктивностей ***
  
```

```

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
*** Коэффициент согласования ***
  
```


Команды **LINE** и **LINETO** необходимы для задания координат отрезков.

LINE – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

LINETO – конечная точка (ее координаты x y)

The screenshot shows the TALGAT software interface. At the top, there's a menu bar (File, Edit, View, TALGAT, Project, Window, Help) and a title bar. The main workspace displays a schematic of a transmission line cross-section. It features a central dielectric layer of height h_C and width d , with a gap of width s between two conductive regions of width W . The conductive regions are represented by blue rectangles with arrows indicating current flow. The dielectric layer is represented by a pink line. The bottom boundary is a ground plane. Labels 1 and 2 mark the start and end of the dielectric segment. Dimensions d , W , s , and h_C are clearly indicated.

Below the schematic, there are three text boxes containing commands:

- LINE** –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**

At the bottom of the interface, there is a console window with the following output:

```

*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010  -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
50.5516      35.7304
35.7304      50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009  0
0             5.4866e-009
*** Граничные условия ***

```

On the left side of the interface, there is a list of commands:

```

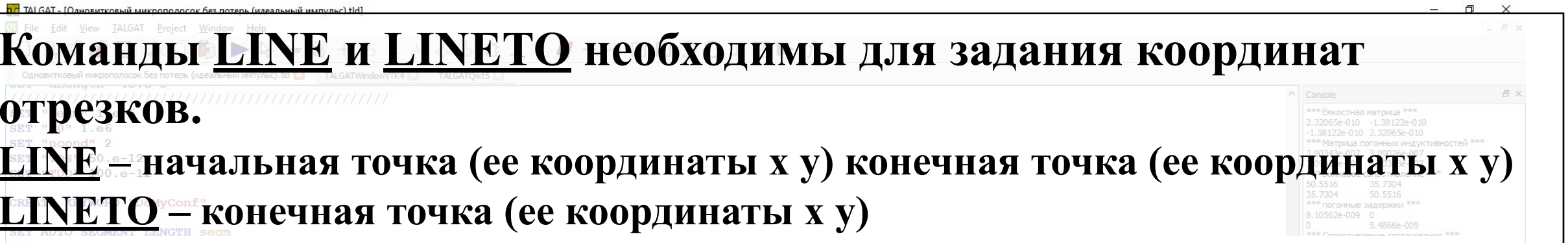
SET
DRA
END
CREATE KEYWORD "calculate"
DoMyConf
SET "smn_c" SMN_CG conf_ig
SET "c" CALCULATE_CG smn_c conf_ig f0
SET "mC" GET_REAL_MATRIX c
ECHO LINE_TO_STRING *** Ёмкостная матрица ***
ECHO TO_STRING mC
SET "smn_l" SMN_L conf_ig
SET "mL" CALCULATE_L smn_l conf_ig
ECHO LINE_TO_STRING *** Матрица погонных индуктивностей ***

```

Команды **LINE** и **LINE TO** необходимы для задания координат отрезков.

LINE – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

LINE TO – конечная точка (ее координаты x y)



LINE –точка 1 (ее координаты x y) точка 2 (ее координаты x y)

```

DIELECTRIC
SET
DRA
END
CREATE KEYWORD DoMyConf
SET '
SET '
SET '
ECHO LINE TO STRING *** Емкостная 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 ER PLUS ErC
SET ER MINUS ErAir
LINE 0. hC d hC
LINE PLUS d w hC PLUS PLUS d w s hC

Команды **LINE** и **LINETO** необходимы для задания координат отрезков.

LINE – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

LINETO – конечная точка (ее координаты x y)

The screenshot shows the TALGAT software interface. At the top, there's a menu bar (File, Edit, View, TALGAT, Project, Window, Help) and a title bar. The main workspace displays a schematic diagram of a transmission line cross-section. It features a central dielectric layer of thickness h_C and width d , flanked by air regions of width d . The dielectric layer is divided into three segments: two outer segments of width w and a central segment of width s . The diagram is labeled with '1' at the top and '2' at the bottom, indicating the start and end points of the line. A console window on the right shows the output of the simulation, including the permittivity matrix and the inductance matrix.

```

*** Ёмкостная матрица ***
2.32065e-010  -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
50.5516      35.7304
35.7304      50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009  0
0             5.4866e-009
*** Граничные условия ***

```

Below the diagram, a text box contains the command for defining the line:

LINE –точка 1 (ее координаты x y) точка 2 (ее координаты x y)

The console window shows the following commands and their output:

```

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

```

At the bottom of the console, there are commands for calculating the matrices and displaying the results:

```

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 ***

```

Команды **LINE** и **LINETO** необходимы для задания координат отрезков.

LINE – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

LINETO – конечная точка (ее координаты x y)

LINE – точка 1 (ее координаты x y) точка 2 (ее координаты x y)

```

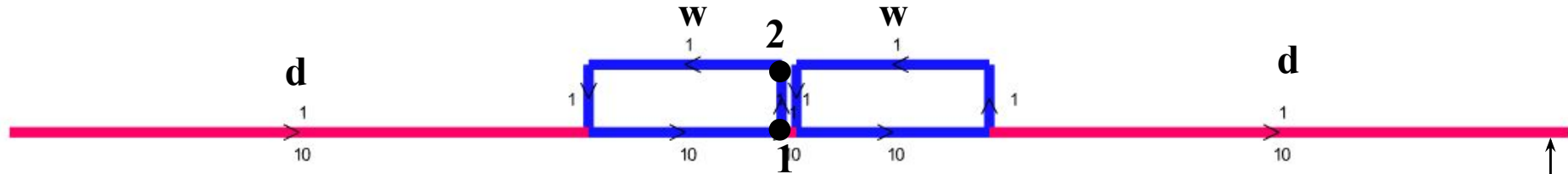
CONDUCTOR
SET_ER_PLUS ErC
LINE d hC PLUS d w hC
SET_ER_PLUS ErAir
LINETO PLUS d w PLUS hC t
LINETO d PLUS hC t
LINETO d hC
    
```


Команды **LINE** и **LINETO** необходимы для задания координат отрезков.

LINE – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

LINETO – конечная точка (ее координаты x y)

```
Console
*** Ейская матрица ***
2.32065e-010 -1.38122e-010
-1.38122e-010 2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
50.5516 35.7304
35.7304 50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009 0
0 5.4866e-009
*** Граничные условия ***
```



LINETO – 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
```

```
SET
DRA
END

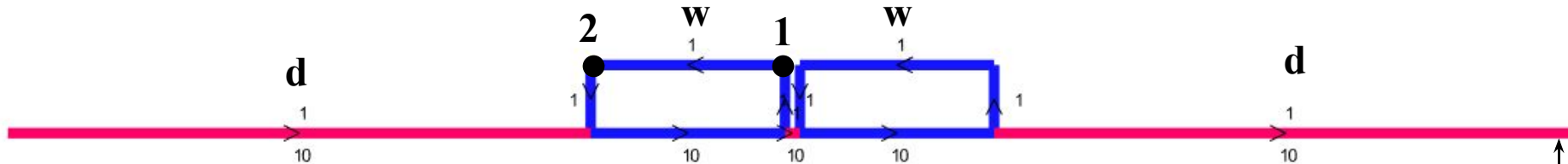
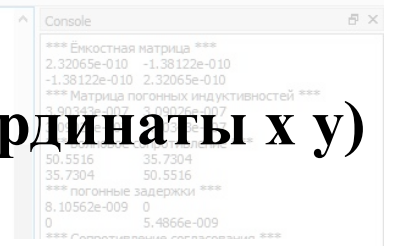
CREATE KEYWORD "calculate"
DoMyConf
SET "smn_c" SMN_CG coi
SET "c" CALCULATE_CG :
SET "mC" GET_REAL_MAT
ECHO LINE_TO :
ECHO TO_STRING

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


Команды **LINE** и **LINETO** необходимы для задания координат отрезков.

LINE – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

LINETO – конечная точка (ее координаты x y)



LINETO – 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
    
```

```

SET
DRA
END

CREATE KEYWORD "calculate"
DoMyConf
SET "smn_c" SMN_CG coi
SET "c" CALCULATE_CG :
SET "mC" GET_REAL_MAT
ECHO LINE_TO :
ECHO TO_STRING
    
```

```

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

Команды **LINE** и **LINETO** необходимы для задания координат отрезков.

LINE – начальная точка (ее координаты x y) конечная точка (ее координаты x y)

LINETO – конечная точка (ее координаты x y)

The screenshot shows the TALGAT software interface. At the top, there's a menu bar (File, Edit, View, TALGAT, Project, Window, Help) and a title bar. The main workspace contains a schematic diagram of a conductor cross-section. It features a central blue double-strand conductor with two parallel wires of width 'w' separated by a gap. This conductor is positioned above a red ground plane. The distance from the center of the conductor to the ground plane is labeled 'd'. The height of the conductor strands is labeled 'hC'. Two points, '1' and '2', are marked on the conductor. A console window on the right displays simulation results, including a sparse matrix and an inductance matrix.

```

*** Ейская матрица ***
2.32065e-010  -1.38122e-010
-1.38122e-010  2.32065e-010
*** Матрица погонных индуктивностей ***
50.5516      35.7304
35.7304      50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009  0
0             5.4866e-009
*** Граничные условия ***

```

Below the diagram, a text box contains the command: **LINETO** – только точка 2 (ее координаты x y)

The console window shows the following commands and their output:

```

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

```

At the bottom left, there is a code block for a macro:

```

SET
DRA ██████████
END

CREATE KEYWORD "calculate"
DoMyConf
SET "smn_c" SMN_CG coi
SET "c" CALCULATE_CG :
SET "mC" GET_REAL_MAT
ECHO LINE_TO :
ECHO TO_STRING

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

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

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

```

TALGAT - [Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld]
Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld
SET "segm" 1.e-5
SET "f0" 1.e6
SET "TDD" 100.e-12
SET "AUTO_SEGMENT_LENGTH" 1
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 поперечных индуктивностей ***
    
```

```

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

Построение поперечного сечения в ПО TALGAT

The screenshot shows the TALGAT software interface. The main workspace displays a transmission line model consisting of a central section with two coupled segments (indicated by blue boxes) and two outer segments. The segments are labeled with '1' and '10', representing characteristic impedance and length, respectively. The console window on the right displays the following results:

```

*** 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 ***
35.7603
>
    
```

Mode: Re(Er)

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 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
```


Вывод вычисленных параметров в консоль в ПО TALGAT

```

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 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 8.09026e-007
3.09026e-007 8.90343e-007
*** Волновое сопротивление ***
50.5516 85.7304
35.7304 50.5516
*** погонные задержки ***
8.10562e-009 0
0 5.4866e-009
*** Сопротивление согласования ***
35.7603
>
    
```

Вычисление отклика в ПО TALGAT

```

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 "t11" 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**

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

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

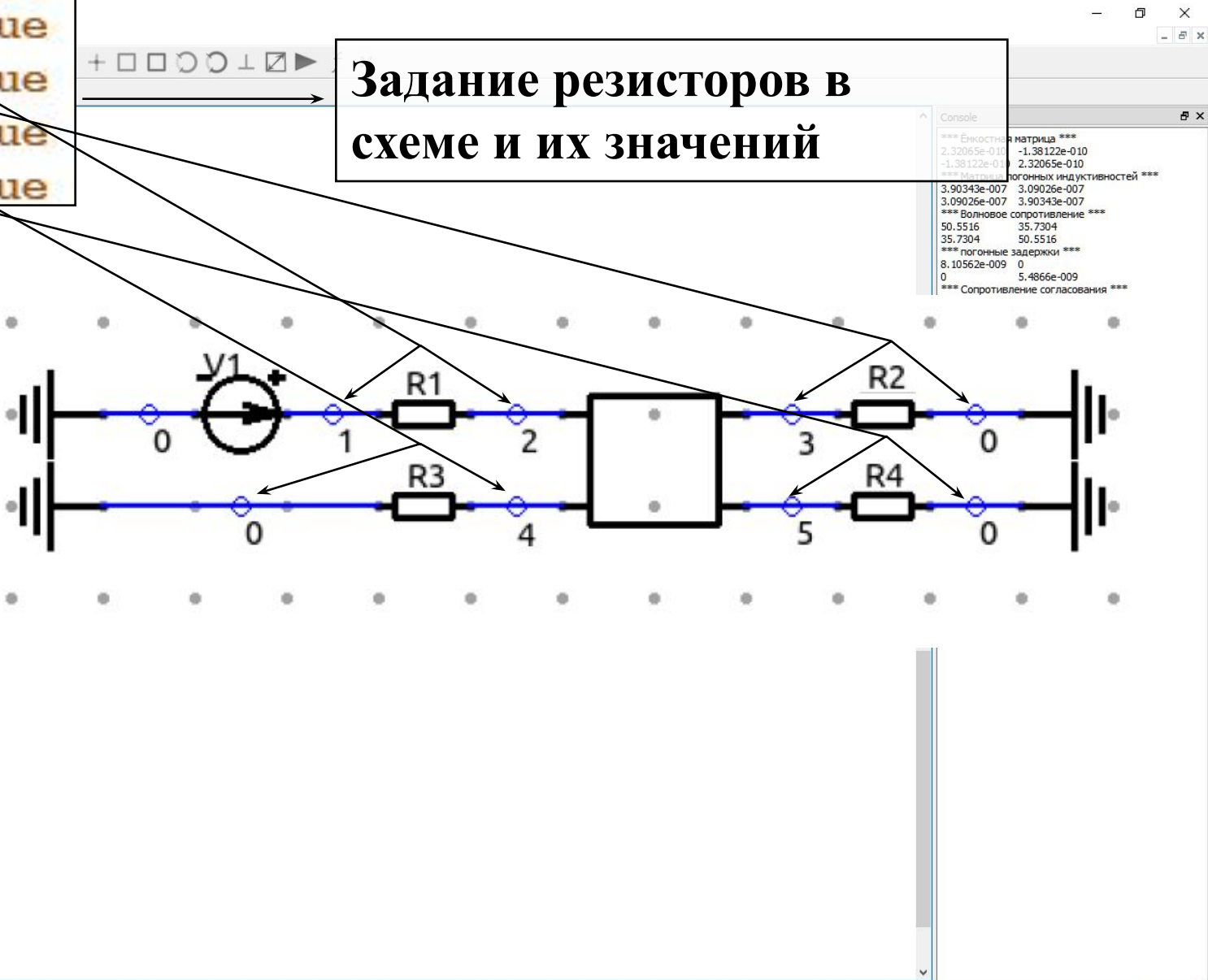
ADD_XY_DATA_c ts V2 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 1.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vinput

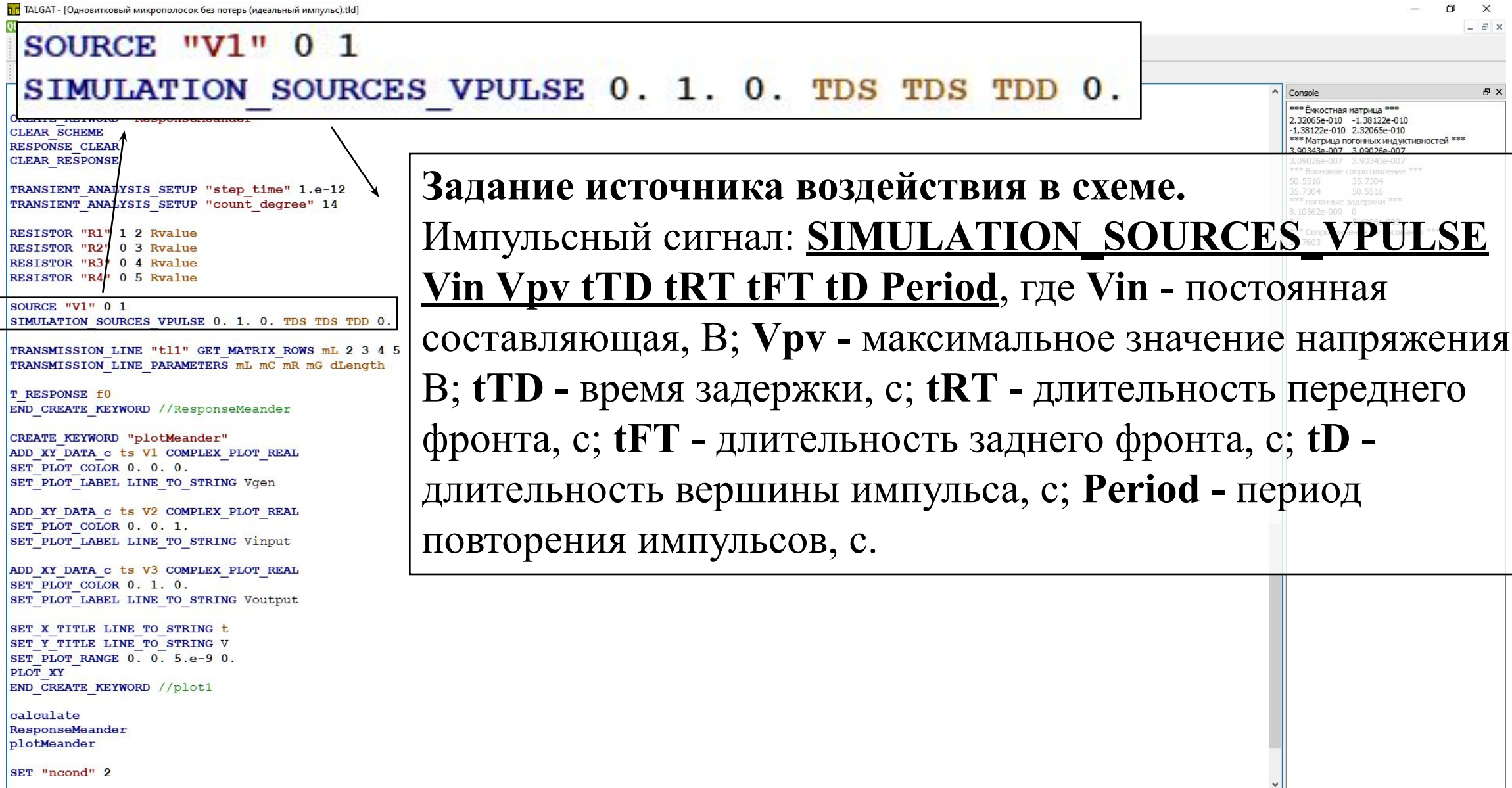
ADD_XY_DATA_c ts V3 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 1. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Voutput

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
```





The screenshot shows the TALGAT software interface. The main window displays a schematic editor with a source definition and a console window showing simulation results. The source definition is highlighted in a box, and the console window shows the output of the simulation.

```

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 "t11" 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
    
```

Задание источника воздействия в схеме.
 Импульсный сигнал: **SIMULATION_SOURCES_VPULSE**
Vin Vpv tTD tRT tFT tD Period, 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.

Console output:

```

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

Вычисление отклика в ПО TALGAT

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

```
TRANSMISSION_LINE "t11" GET_MATRIX_ROWS mL 2 3 4 5
TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS mL mC mR mG dLength
```

```
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 "t11" 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. 1. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vinput

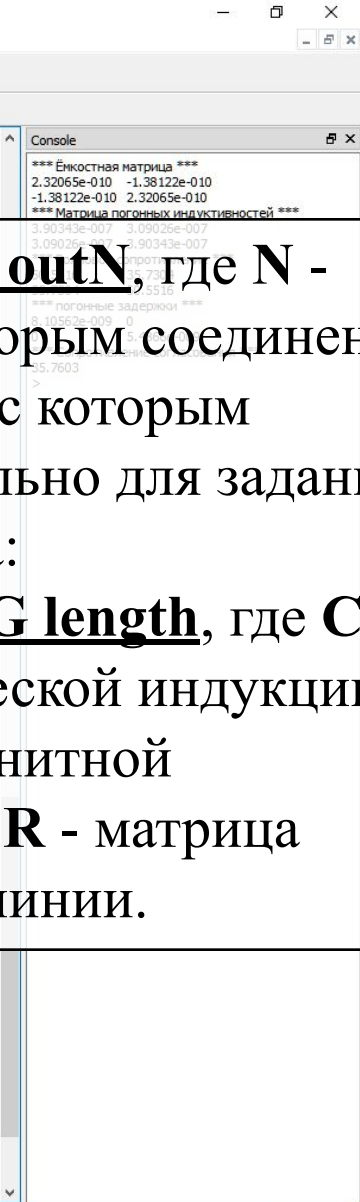
ADD_XY_DATA_c ts V3 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 1. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Voutput

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
```

TRANSMISSION_LINE "t11" N in1 out1 ... inN outN, 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: **TRANSMISSION_LINE_PARAMETERS L C R G length**, 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 "t11" 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

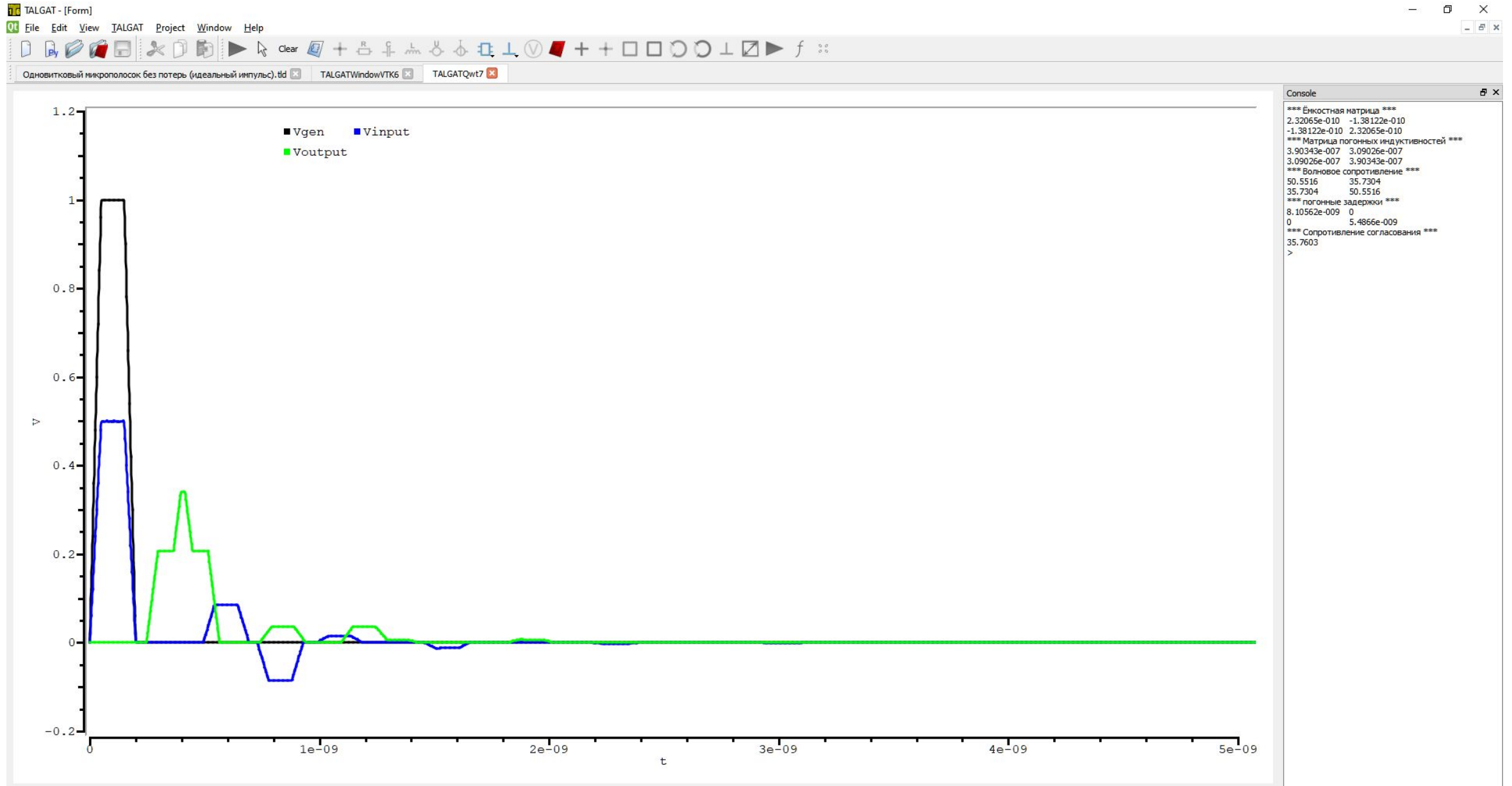
```
CREATE_KEYWORD "plotMeander"
ADD_XY_DATA_c ts V1 COMPLEX_PLOT_REAL
SET_PLOT_COLOR 0. 0. 0.
SET_PLOT_LABEL LINE_TO_STRING Vgen

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)



Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT

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

Qt File Edit View TALGAT Project Window Help



Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld*

```
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 ***
```

TALGAT - [Circuit Diagram 2]

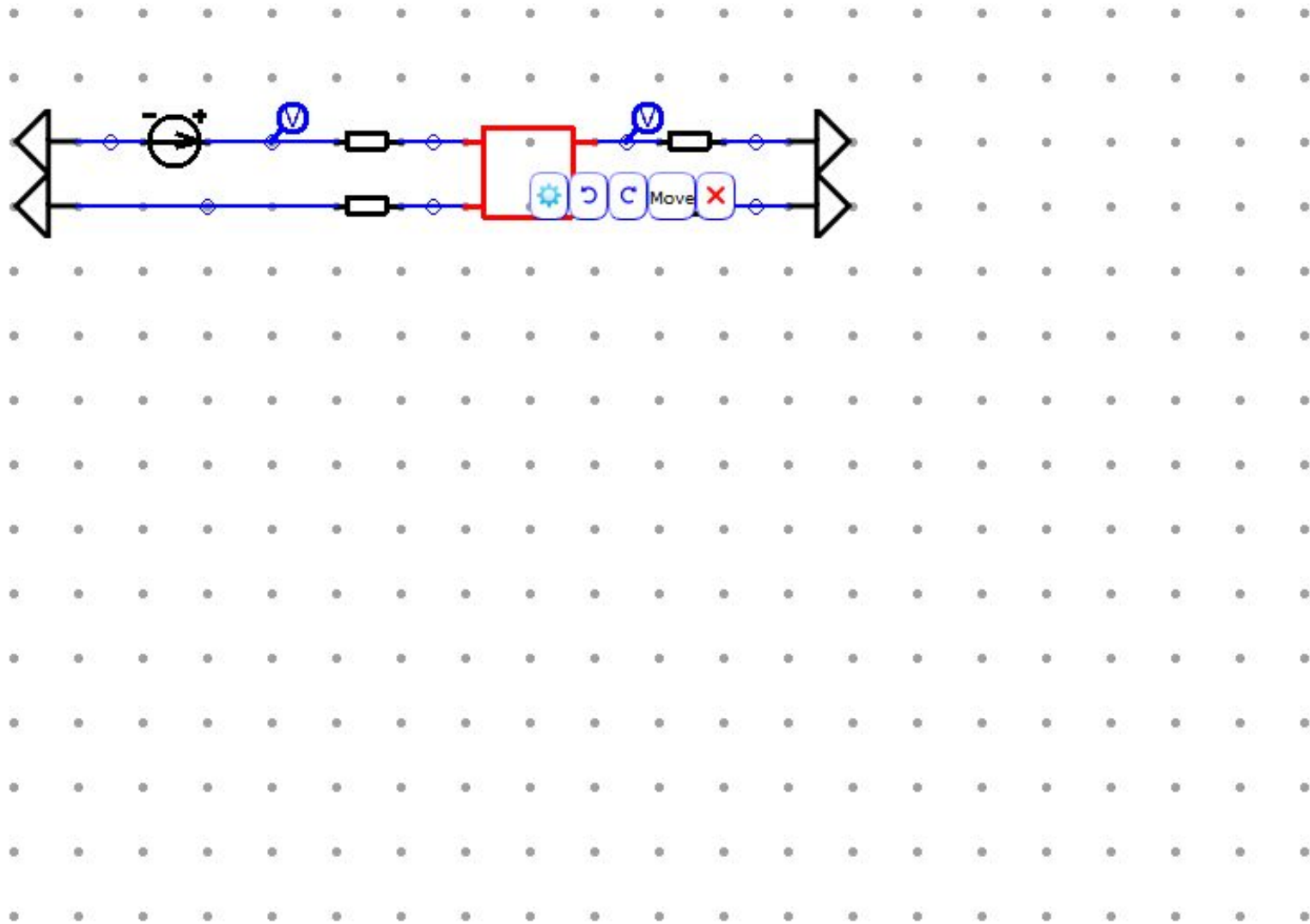
Qt File Edit View TALGAT Project Window Help



Одновитковый микрополосок без потерь (идеальный импульс).tld* Circuit Diagram 2



Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT



Id

Orientation

Input/output Nodes

Length

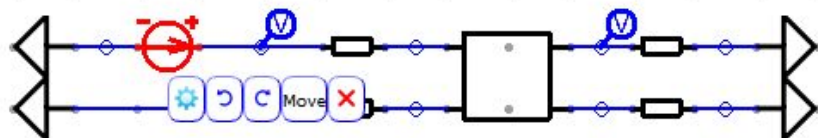
L matrix ...

C matrix ...

R matrix ...

G matrix ...

Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT



Settings ✖

Id

Orientation

Impulse signal

Vin (Voltage Input)

Vpv (Voltage Maximum Value)

tTD (Time of Delay)

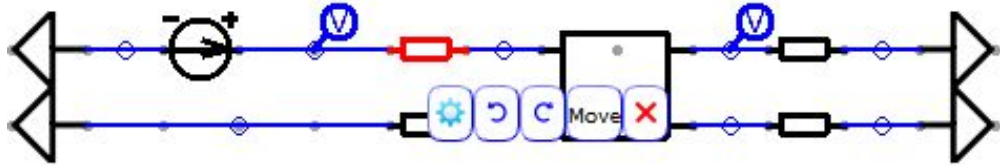
tRT (Rising edge Time)

tFT (Falling edge Time)

tD

Period

Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT

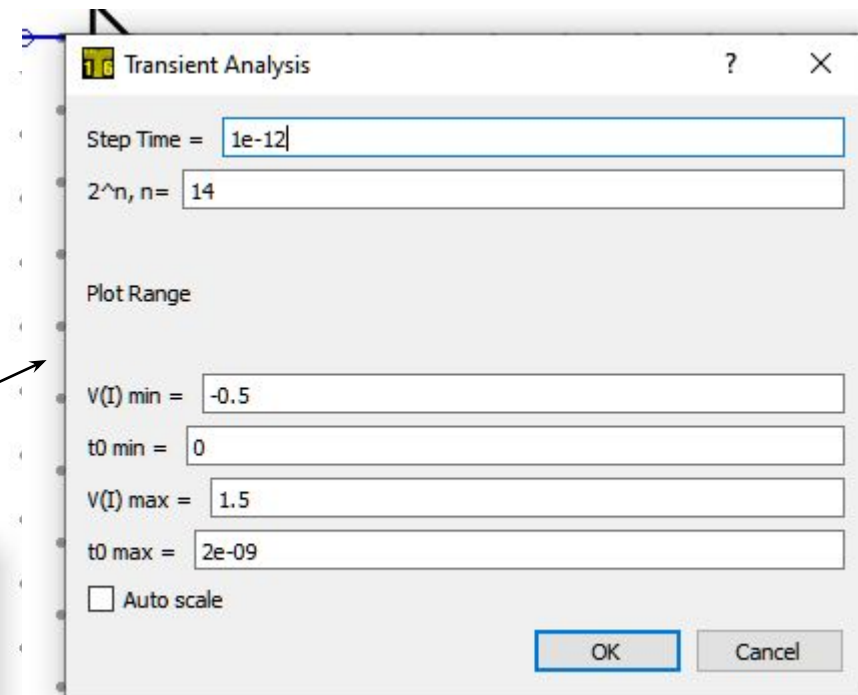
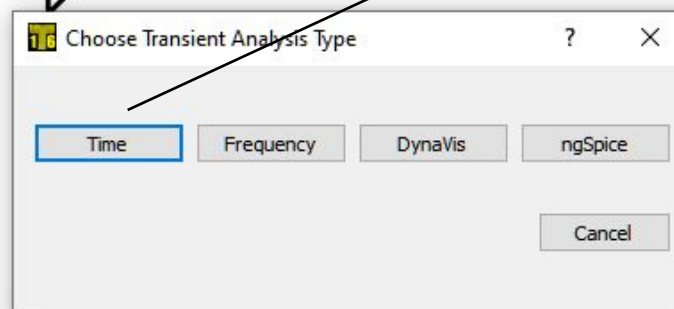
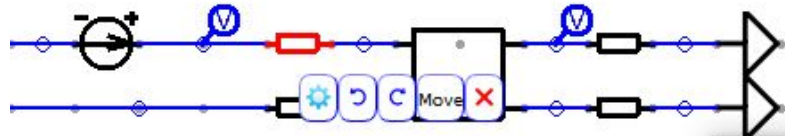


Id

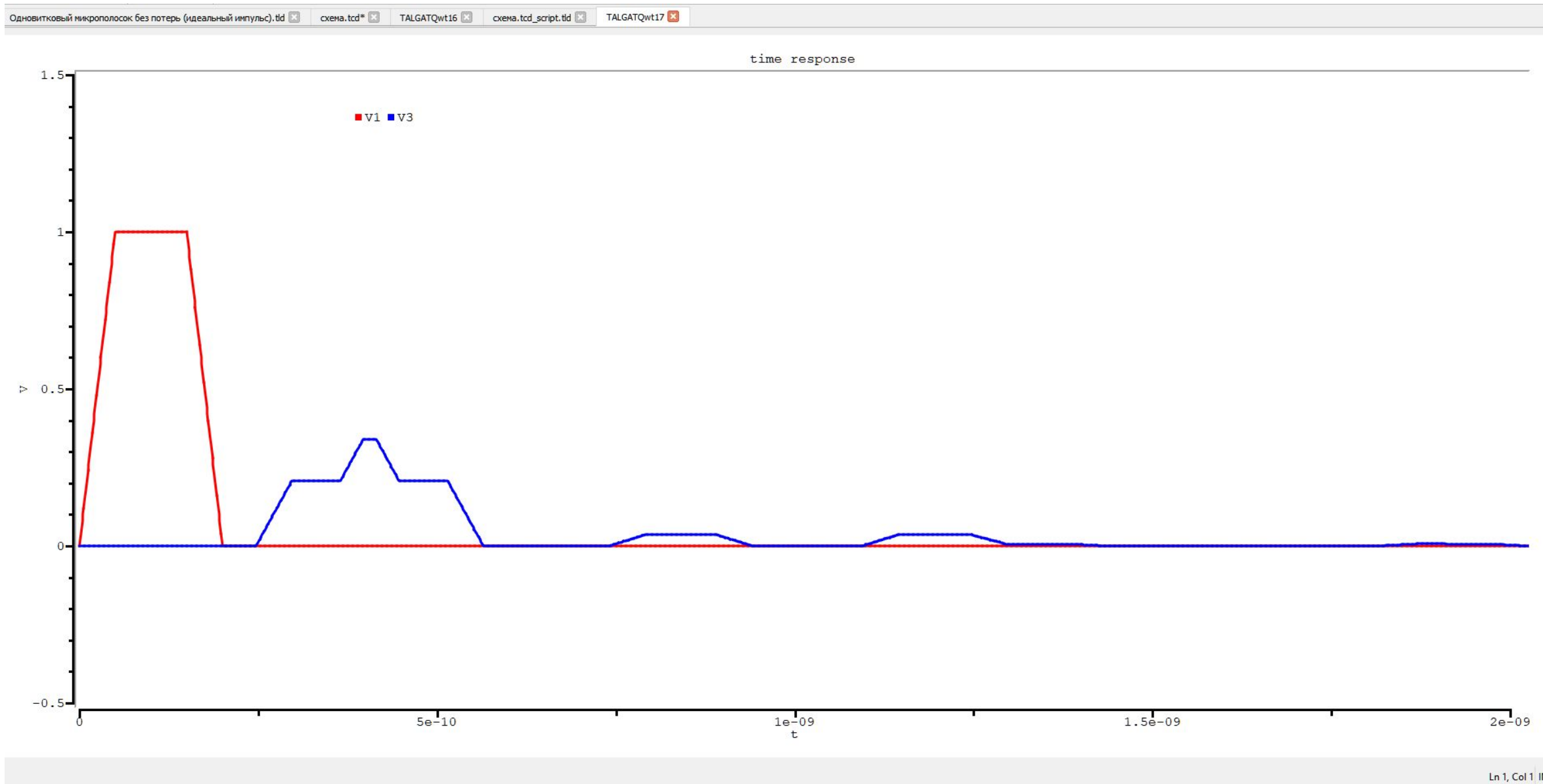
Orientation

R value

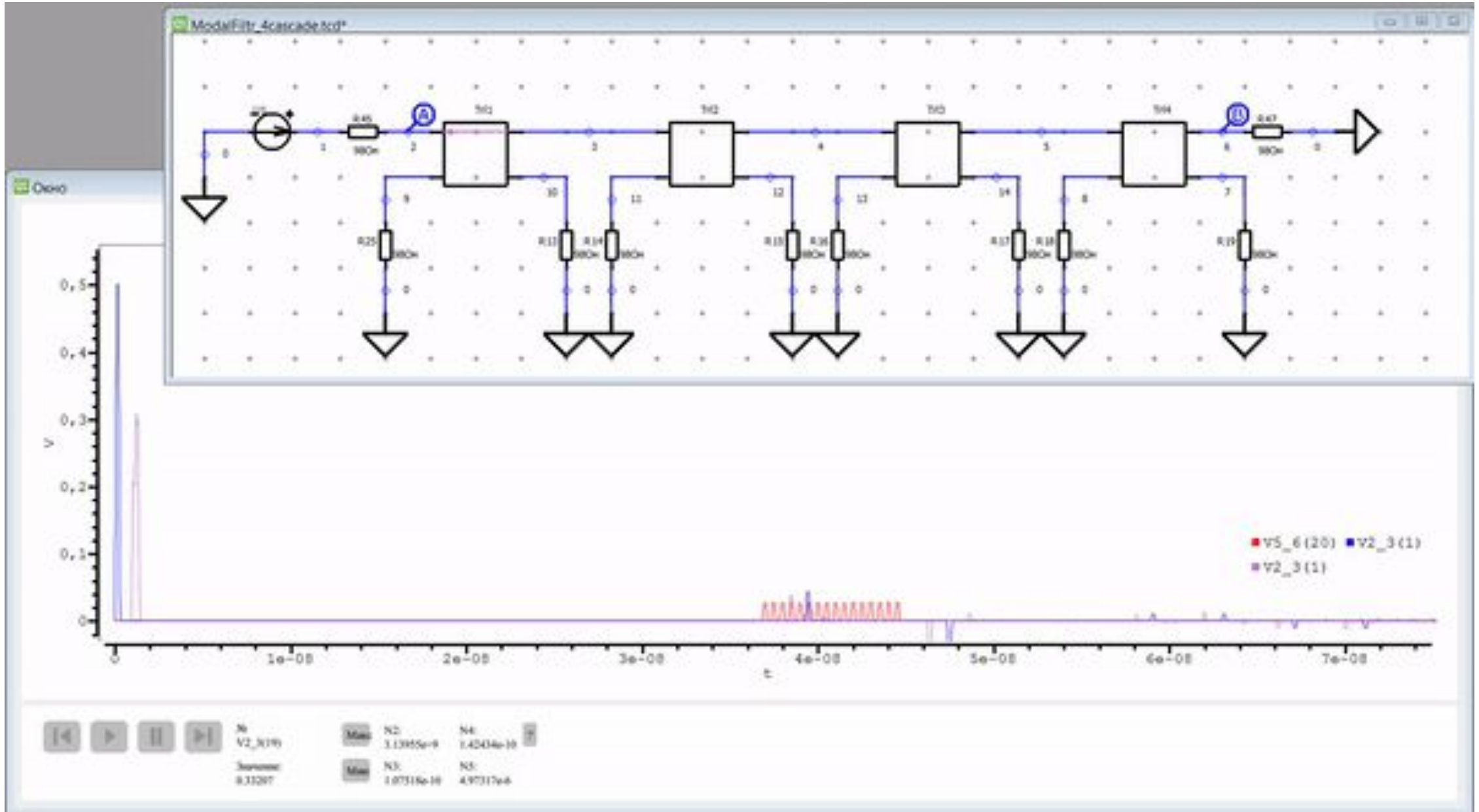
Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT



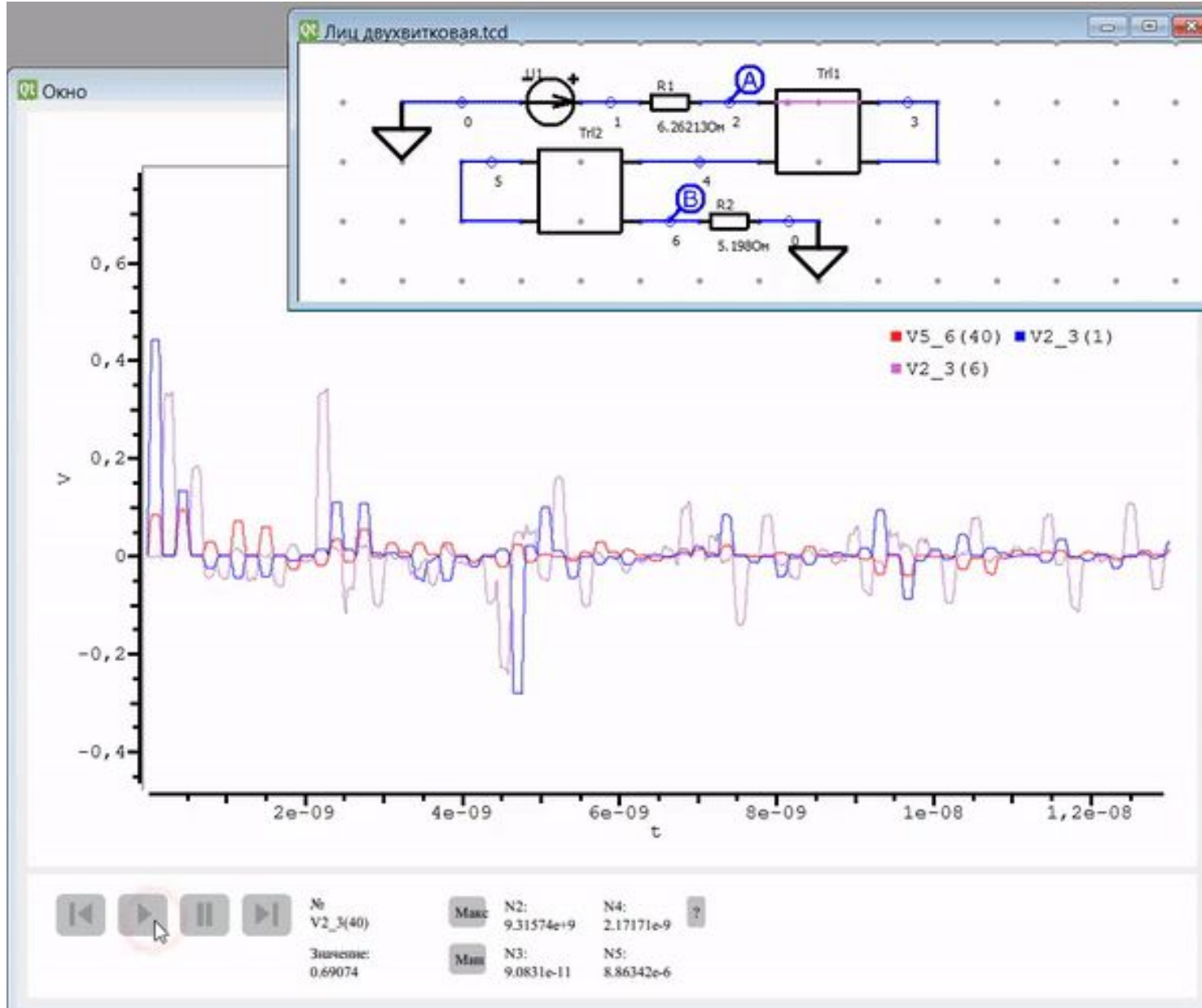
Построение схемы в схемном редакторе ПО TALGAT



Динамическое отображение

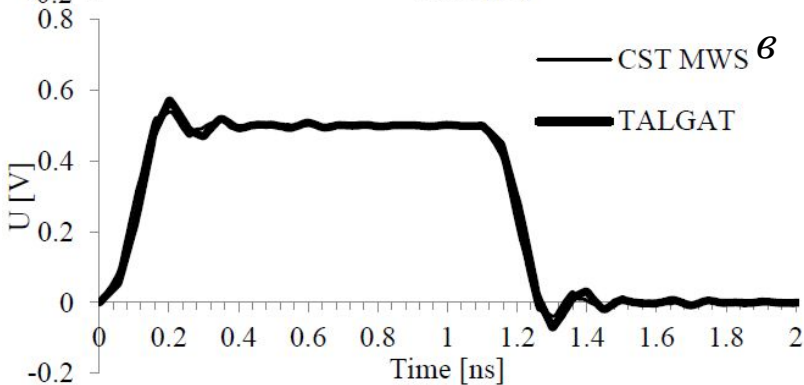
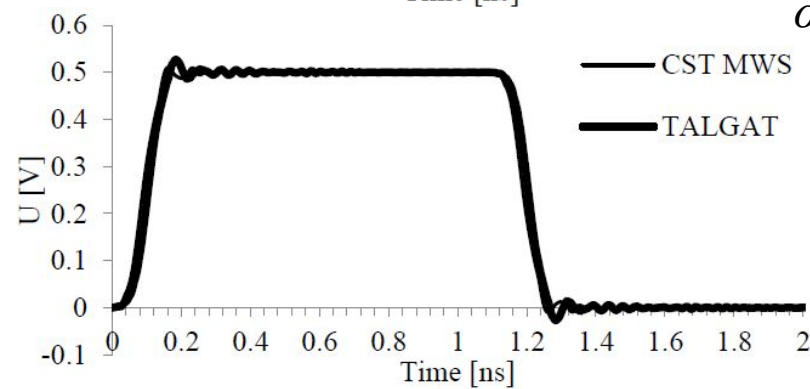
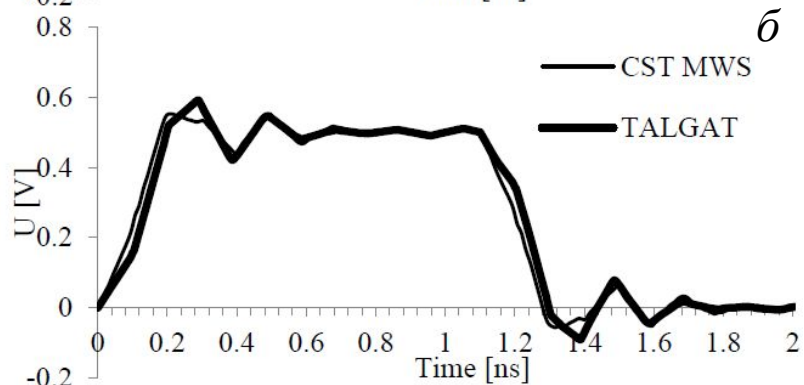
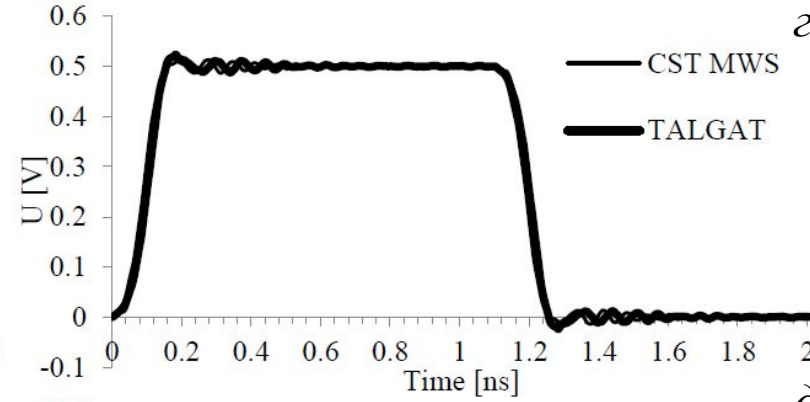
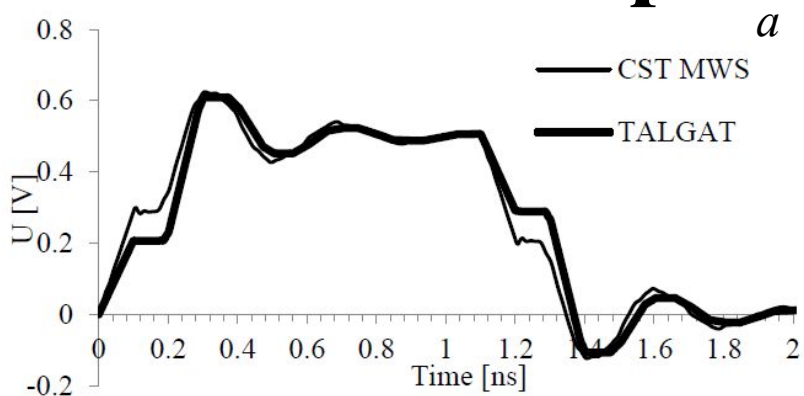


Динамическое отображение



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Сравнение CST MWS и TALGAT



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

N	CST MWS		TALGAT	
	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

N	l , mm	T_{CST} , ps	T_{TALGAT} , ps	ΔT , ps	$\frac{ T_{CST} - T_{TALGAT} }{T_{CST} + T_{TALGAT}} \cdot 100\%$
					Ж
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

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