

# Обзор свободного ПО для моделирования радиоэлектронных устройств и новых возможностей симулятора электронных схем Qucs

Кузнецов В.В., доцент кафедры ЭИУ1-КФ  
E-mail: ra3xdh@gmail.com

Калужский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана

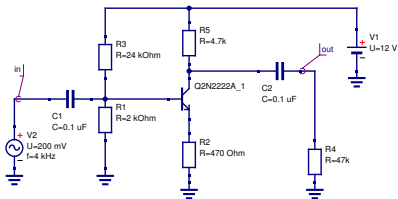
2015



- Ngspice <http://ngspice.org/> — консольный симулятор аналоговых и цифроаналоговых схем. Имеет полную совместимость со SPICE-моделями и существующим библиотеками электронных компонентов. Совместим с популярным коммерческим пакетом PSpice. Имеет постпроцессор Ngnutmeg со встроенным скриптовым языком. Разрабатывается независимым сообществом.
- Xyce <https://xyce.sandia.gov/> — консольный кроссплатформенный SPICE-совместимый симулятор. Разрабатывается Сандийскими национальными лабораториями (США). Существуют версия симулятора с поддержкой параллельных вычислений через OpenMPI (XyceParallel).
- Gnucap <http://www.gnucap.org/> — основан на движке моделирования, написанном с нуля. Пока не реализованы все виды моделирования и постпроцессор. Лидер проекта — Felix Salfelder.

# Пример списка цепей (netlist) — задание на моделирование схемы в SPICE-совместимых консольных симуляторах

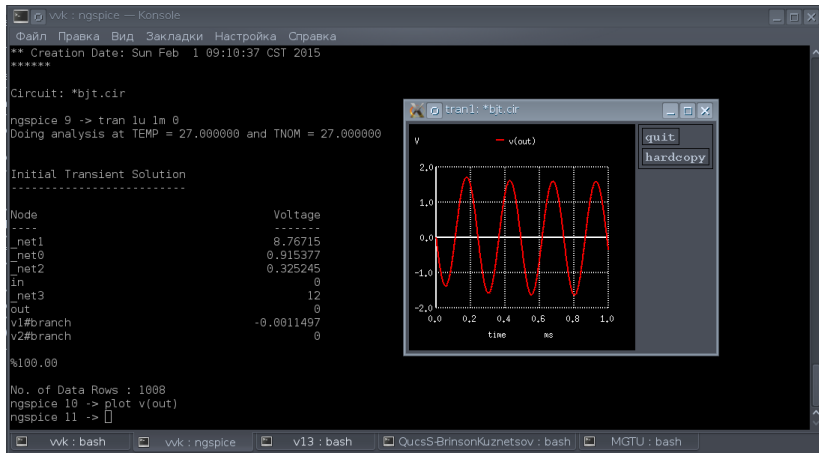
## ● Пример схемы:



## ● Список цепей (SPICE netlist)

```
Q1 _net1 _net0 _net2 2N2222A_1
+ AREA=1 TEMP=26.85
.MODEL 2N2222A_1 npn (Is=8.11e-14
+ Nf=1 Nr=1 Ikf=0.5 Ikr=0.225 Vaf=113
+ Var=24 Ise=1.06e-11 Ne=2 Isc=0 Nc=2
+ Bf=205 Br=4 Rbm=0 Irb=0 Rc=0.137 Re=0.343
+ Rb=1.37 Cje=2.95e-11 Vje=0.75 Mje=0.33
+ Cjc=1.52e-11 Vjc=0.75 Mjc=0.33 Xcjc=1 Cjs=0
+ Vjs=0.75 Mjs=0 Fc=0.5 Tf=3.97e-10 Xtf=0 Vtf=0
+ Itf=0 Tr=8.5e-08 Kf=0 Af=1 Ptf=0 Xtb=1.5
+ Xti=3 Eg=1.11 Tnom=26.85 )
R1 0 _net0 2K
R2 0 _net2 470
C1 in _net0 0.1U
R3 _net0 _net3 24K
C2 _net1 out 0.1U
R5 _net1 _net3 4.7K
V2 in 0 DC 0 SIN(0 200M 4K 0 0) AC 200M
R4 0 out 47k
V1 _net3 0 DC 12
```

# Пример моделирование схемы в Ngrice



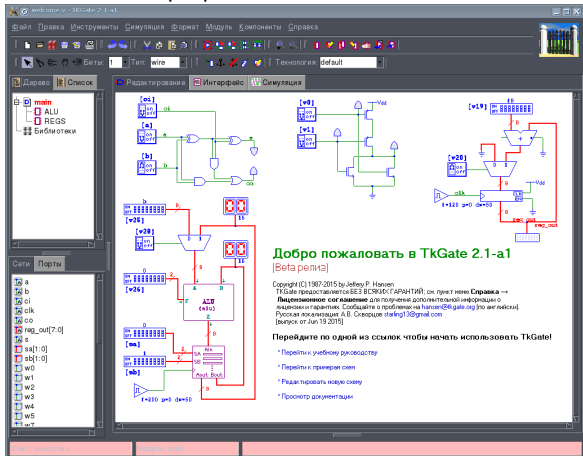
# СПО для моделирования цифровых схем

TkGate — <http://tkgate.org/> симулятор цифровых схем на Tk/Tcl.  
Автор проекта — Jeffery P. Hansen (неактивен). Лидер проекта Андрей Сковрцов.

Возможности:

- Интерактивное моделирование цифровых схем
- Типы компонентов: цифровые ИМС малой и средней степени интеграции, ОЗУ, ПЗУ, АЛУ, светодиоды, семисегментные индикаторы, шкалы.
- Использование пользовательских скриптов Verilog.

## Главное окно программы



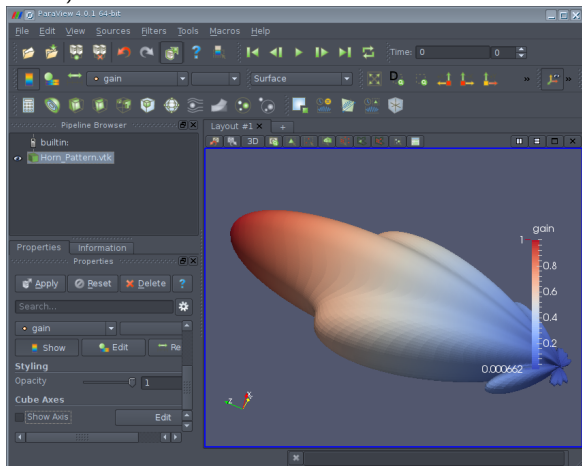
# Электромагнитные симуляторы

openEMS <http://openems.de/> — предназначен для расчёта антенн и СВЧ-структур. Автор — Thorsten Liebig.

Возможности:

- Симулятор встраивается в Octave/Matlab
- Расчёт электромагнитного поля методом FDTD.
- Расчёт S-параметров электромагнитных систем.
- Расчёт электромагнитного поля в ближней и дальней зоне.
- Расчёт диаграмм направленности антенн.

Окно Paraview с результатами расчётов (ДН рупорной антенны)



# Модель дипольной антенны в openEMS

The image shows the openEMS software interface. On the left, a terminal window displays the configuration script for a dipole antenna simulation. The script includes physical constants, mesh parameters, and the definition of the antenna structure using the CSX (Constructive Solid Geometry) library. The right pane shows a 3D visualization of the antenna's radiation pattern, with a color scale indicating the gain. The gain scale ranges from 1.07e-07 to 1.05, with a peak gain of 1.05. The antenna is a simple dipole structure, and the radiation pattern is shown as a red and blue torus-like shape.

```
close all;
clear;
clc;

physical_constants
#unit = 1e-3; # Units in mm
SimPath = 'tmp';
SimCSX = 'tmp.xml';

f_max = 0.5e9;
lambda = c0/f_max;
]
dipole_tL = lambda/2;
step=lambda/50;

CSX = InitCSX();

mesh.x = -lambda:step:lambda;
mesh.y = -lambda:step:lambda;
mesh.z = -lambda:step:lambda;
SimBox = [2*lambda 2*lambda 2*lambda];

CSX = DefineRectGrid(CSX,1,mesh);

#f0 = f_max;
f0 = 400e6;
fc = 0.5*f0;
FDTD = InitFDTD('NRTS',30000);
FDTD = SetGaussExcite(FDTD,f0,fc);
BC = {'MUR','MUR','MUR','MUR','MUR','MUR'};
FDTD = SetBoundaryCond(FDTD,BC);

t = step/4;
CSX = AddMetal(CSX,'right_beam');
start = [t -t];
stop = [lambda/4 t];
CSX = AddBox(CSX,'right_beam',1,start,stop);

CSX = AddMetal(CSX,'left_beam');
start = [0 -t -t];
stop = [lambda/4 t t];
'dipole.m' !l0L, 2399C
```

The 3D visualization shows a dipole antenna structure with a radiation pattern. The gain scale ranges from 1.07e-07 to 1.05. The antenna is a simple dipole structure, and the radiation pattern is shown as a red and blue torus-like shape.

# Qucs — post-SPICE симулятор цифровых и аналоговых схем

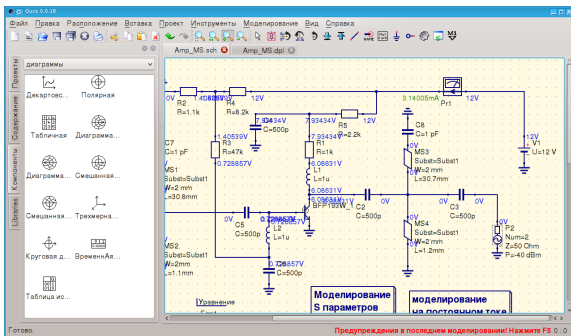
## Возможности:

- Движок моделирования Qucsator
- Виды моделирования для анализа СВЧ-устройств в частотной области
- Модели СВЧ линий и подложек.
- Постпроцессор и система визуализации с функциями анализа параметров СВЧ-систем.

## Недостатки:

- Несовместимость со SPICE-моделями
- Баги при моделировании переходных процессов
- Невозможно моделировать ключевые схемы

- Модель усилителя СВЧ сигнала в Qucs



- Сайт проекта:  
<https://qucs.sourceforge.net/>
- Репозиторий исходных кодов:  
<https://github.com/Qucs/qucs>



## Qucs-0.0.19S — расширение Qucs с поддержкой SPICE

Начиная с Qucs-0.0.19 будет выпускаться параллельно две версии Qucs:

- Qucs — используется движок моделирования Qucsator
- Qucs-S — можно использовать дополнительные движки моделирования Ngspice или XYCE

Возможности версии Qucs-S:

- Улучшенная поддержка моделирования ключевых схем (силовая электроника)
- Моделирование больших реалистичных схем с помощью Ngspice
- Полная совместимость со SPICE-моделями компонентов, поставляемыми производителями
- Поддержка всех стандартных видов моделирования SPICE (.AC, .TRAN, .DISTO, .NOISE, .FOUR )

Поддержку SPICE-совместимых симуляторов реализует набор патчей spice4qucs (разработчики В. Кузнецов и М. Brinson) Кандидат в релизы Qucs-0.0.19S-RC3 с интегрированным набором патчей spice4qucs:

<https://github.com/ra3xdh/qucs/releases/tag/0.0.19S-rc3>

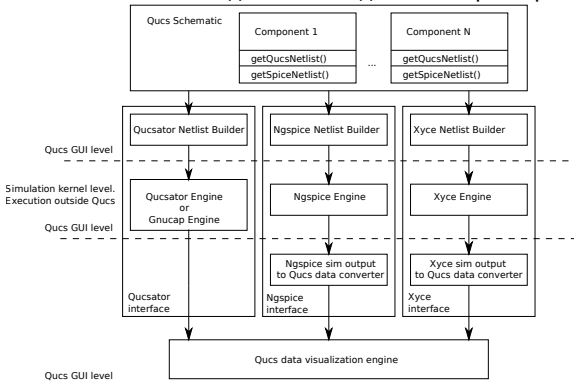


# Подсистема spice4qucs

Задачи подсистемы spice4qucs:

- Генерация списка цепей в формате SPICE
- Запуск внешнего симулятора
- Конвертация файлов результатов моделирования в формате SPICE3f5 raw-ASCII.

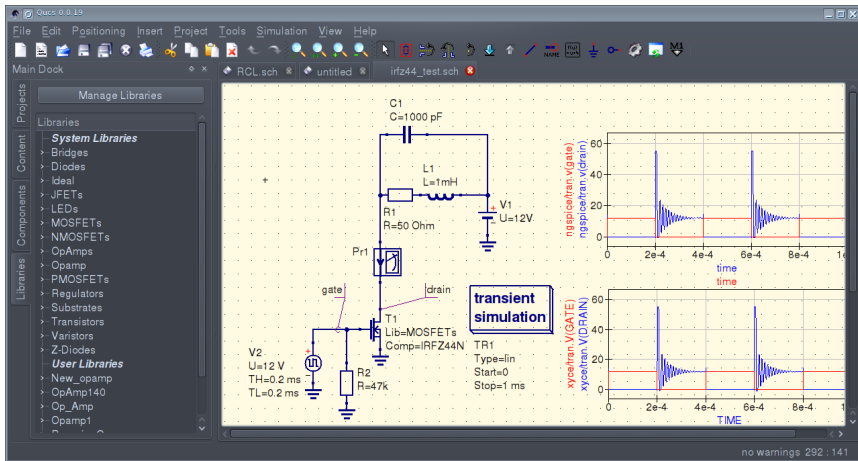
Блок-схема потоков данных в подсистеме spice4qucs



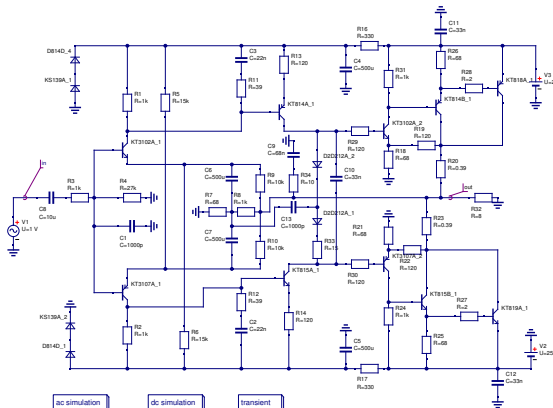
- Онлайн-документация Qucs-S:  
<https://qucs-help.readthedocs.org/en/spice4qucs/>
- Исходный код spice4qucs:  
[https://github.com/Qucs/qucs/tree/rebase\\_spice4qucs](https://github.com/Qucs/qucs/tree/rebase_spice4qucs)



# Пример моделирования схемы в Qucs-0.0.19S: силовая электроника



# Пример моделирования схемы в Qucs-0.0.19S: реалистичные схемы

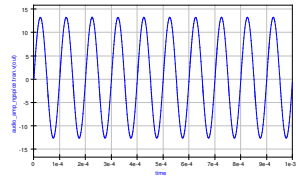
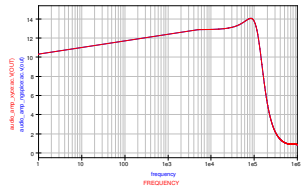


ac simulation    
  dc simulation    
  transient simulation

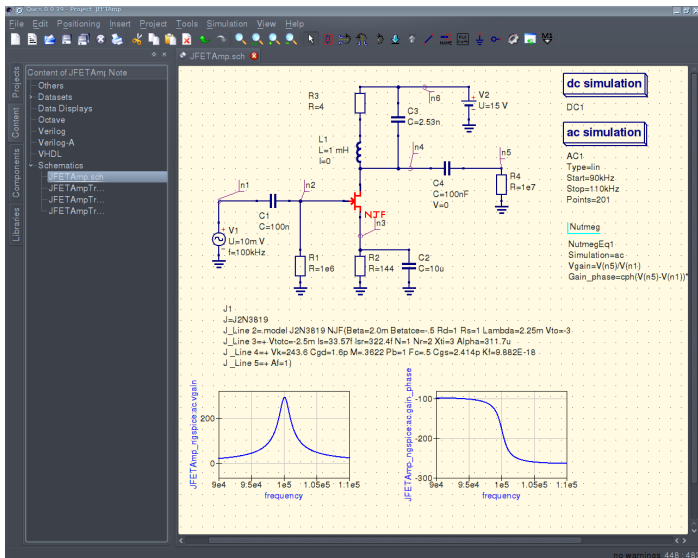
AC1  
 Type=In  
 Start=1 Hz  
 Step=1 MHz  
 Points=200

DC1

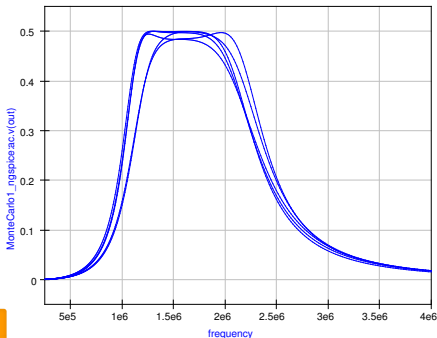
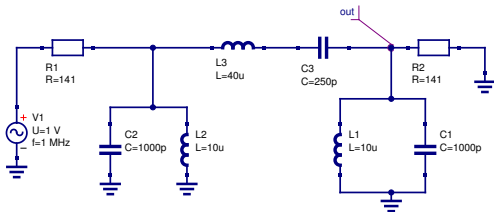
TR1  
 Type=In  
 Start=0  
 Step=1 ms



# Пример моделирования схемы в Qucs-0.0.19S: использование встроенных SPICE-моделей



# Пример моделирования схемы в Qucs-0.0.19S: пользовательские Ngnutmeg-скрипты



Ngspice  
custom simulation

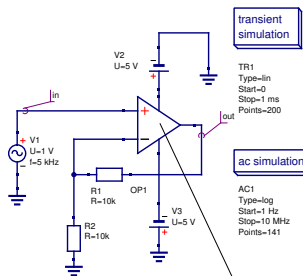
```
CUSTOM1
SpiceCode=
set filetype=ascii
let mc_runs = 5
let run = 0
```

```
define unif(nom, rvar) (nom + (nom*rvar) * sunif(0))
define aunif(nom, avar) (nom + avar * sunif(0))
define gauss(nom, rvar, sig) (nom + (nom*rvar)/sig * sgauss(0))
define agauss(nom, avar, sig) (nom + avar/sig * sgauss(0))
define limit(nom, avar) (nom + ((sgauss(0) >= 0) ? avar : -avar))
*
*
dowhile run < mc_runs $ loop starts here
*
alter c1 = unif(1e-09, 0.1)
alter l1 = unif(10e-06, 0.1)
alter c2 = unif(1e-09, 0.1)
alter l2 = unif(10e-06, 0.1)
alter l3 = unif(40e-06, 0.1)
alter c3 = limit(250e-12, 25e-12)
*
ac oct 100 250K 4Meg

set run = "$&run" $ create a variable from the vector

let K = db(v(out))
write MonteCarlo_ac.txt v(out) K
set appendwrite
let run = run + 1
end $ loop ends here
```

# Пример моделирования схемы в Qucs-0.0.19S: SPICE-модели, предоставляемые изготовителями

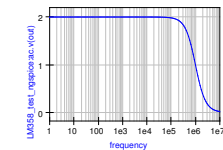
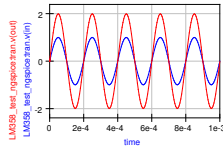


transient simulation

ac simulation

TR1  
Type=lin  
Start=0  
Stop=1 ms  
Points=200

AC1  
Type=log  
Start=1 Hz  
Stop=10 MHz  
Points=141



LM358 XSPICE macromodel

```
.SUBCKT LM358 1 2 3 4 5
*
C1 11 12 5.544E-12
C2 6 7 20.00E-12
DC 5 53 DX
DE 54 5 DX
DLP 90 91 DX
DLN 92 90 DX
DP 4 3 DX
EGND 99 0 POLY(2) (3,0) (4,0) 0 .5 .5
FB 7 99 POLY(5) VB VC VE VLP VLN 0 15.91E6
* -20EG 20EG 20EG -20EG
GA 6 0 11 12 125.7E-6
GCM 0 6 10 99 7.067E-9
IEE 3 10 DC 10.04E-6
HLIM 90 0 VLIM 1K
Q1 11 2 13 QX
Q2 12 1 14 QX
R2 6 9 100.0E3
RC1 4 11 7.957E3
RC2 4 12 7.957E3
RE1 13 10 2.773E3
RE2 14 10 2.773E3
REE 10 99 19.92E6
RO1 8 5 50
RO2 7 99 50
RP 3 4 30.31E3
VB 9 0 DC 0
VC 3 53 DC 2.100
VE 54 4 DC .6
VLIM 7 8 DC 0
VLP 91 0 DC 40
VLN 0 92 DC 40
.MODEL DX D(I5=800.0E-18)
.MODEL QX PNP(I5=800.0E-18 BF=250)
.ENDS
```



- Кузнецов В. В. Симулятор электронных схем с открытым исходным кодом Qucs: основные возможности и основы моделирования, Компоненты и технологии, 2015, №3 (164)., с. 114 – 120
- Кузнецов В.В. Моделирование высокочастотных схем в частотной области при помощи САПР Qucs, Компоненты и технологии, 2015, №8 (169)., с. 120 – 127
- Brinson M., Kuznetsov V. Qucs equation-defined and Verilog-A RF device models for harmonic balance circuit simulation, in Mixed Design of Integrated Circuits & Systems (MIXDES), 2015 22nd International Conference, vol., no., pp.192-197, 25-27 June 2015
- M. Brinson, R. Crozier, V. Kuznetsov, C. Novak, B. Roucaries, F. Schreuder, G. B. Torri. Qucs: improvements and new directions in the GPL compact device modelling and circuit simulation tool., MOS-AK Workshop, Grenoble, March, 2015 [http://www.mos-ak.org/grenoble\\_2015/presentations/T4\\_Brinson\\_MOS-AK\\_Grenoble\\_2015.pdf](http://www.mos-ak.org/grenoble_2015/presentations/T4_Brinson_MOS-AK_Grenoble_2015.pdf)
- M. Brinson, R. Crozier, V. Kuznetsov, C. Novak, B. Roucaries, F. Schreuder, G. B. Torri. Qucs: An introduction to the new simulation and compact device modelling features implemented in release 0.0.19/0.0.19Src2 of the popular GPL circuit simulator., MOS-AK Workshop, Graz, September, 2015 [http://www.mos-ak.org/graz\\_2015/presentations/T\\_5\\_Brinson\\_MOS-AK\\_Graz\\_2015.pdf](http://www.mos-ak.org/graz_2015/presentations/T_5_Brinson_MOS-AK_Graz_2015.pdf)





Спасибо за внимание!

