

НАЦИОНАЛЕН ФОРУМ
ЕЛЕКТРОННИ,
ИНФОРМАЦИОННИ И
КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ
2013

ЕЛЕКТРОННИ, ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ 2013

Национален дом на науката и техниката
16 и 17 Май 2013 г., София

НАЦИОНАЛЕН ФОРУМ

**"ЕЛЕКТРОННИ,
ИНФОРМАЦИОННИ И
КОМУНИКАЦИОННИ
СИСТЕМИ 2013"**

ДОКЛАДИ

16 и 17 май 2013 г., София

**Национален дом на науката и техниката
ул. "Раковски" № 108**

ТЕМАТИЧНИ НАПРАВЛЕНИЯ:

- **Електронни технологии и системи**
- **Информационни технологии и системи**
- **Комуникационни технологии и системи**

ISSN 1314-8605

НАЦИОНАЛНИЯТ ФОРУМ "ЕИКС" 2013

е организиран от

Съюза по електроника, електротехника и съобщения (СЕЕС),

Техническият университет – София (ТУ-София) и

Федерацията на научно-техническите съюзи (ФНТС) в България,

със съдействието на :

Съюза по автоматика и информатика (САИ),

Българската академия на науките (БАН),

Техническият университет - Варна,

Техническият университет - Габрово,

Русенският университет "Ангел Кънчев",

ВУ "Колеж по телекомуникации и пощи",

Клъстера "Микроелектроника и индустриални електронни системи" (КМИЕС),

ZMDI (Zentrum Mikroelektronik Dresden AG - Sofia Office),

Smartcom Bulgaria AD,

Балкантел ООД и

IEEE - българска секция.

Национален форум "ЕЛЕКТРОННИ, ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ СИСТЕМИ 2013"

Почетни председатели: проф. д-р Марин Христов - ТУ-София и СЕЕС
проф. д-р Иван Ячев - ФНТС и ТУ-София

Организационен комитет

Председатели: доц. д-р Емил Манолов - ТУ-София и СЕЕС
доц. д-р Сеферин Мирчев - СЕЕС и ТУ-София

Научни секретари:

доц. д-р Николай Хинов – ТУ-София и СЕЕС
доц. д-р Димитър Арнаудов – СЕЕС и ТУ-София

Членове:

проф. д-р Георги Михов - ТУ-София
проф. д-р Овид Фархи – ТУ-Варна
проф. д-р Христо Белоев – РУ "А. Кънчев"-Русе
проф. д-р Райчо Иларионов - ТУ-Габрово
чл.кор. проф. д-р Георги Младенов – СЕЕС
чл.кор. проф. д-р Ангел Попов –
СУ "Св. Кл. Охридски"
проф. Антони Славински - АСТЕЛ
проф. д-р Димитър Юдов – БСУ-Бургас и СЕЕС
доц. д-р Костадин Илиев – СЕЕС
доц. д-р Санка Гатева – ИЕ БАН
доц. д-р Елена Колева – ХТМУ
проф. д-р Иван Куртев – КТП – София
проф. д-р Огнян Наков – ТУ-София
проф. д-р Владимир Пулков – ТУ-София
проф. д-р Емил Николов - ТУ-София
доц. д-р Тодор Джамийков – ТУ-София
доц. д-р Иво Илиев – ТУ-София
доц. д-р Анатолий Александров – ТУ-Габрово
проф. д-р Николай Михайлов –
РУ "А. Кънчев" и СЕЕС
проф. д-р Георги Стоянов – ТУ-София
инж. Росица Голева – IEEE и ТУ-София
доц. д-р Йордан Колев – IEEE и ТУ-Варна
чл.кор. проф. д-р Филип Филипов – ТУ-София
акад. проф. д-р Васил Стурев – САИ
проф. д-р Михаил Илиев - РУ "А. Кънчев"

проф. д-р Ради Романски –
ТУ-София и СЕЕС
проф. д-р Кирил Конов – СЕЕС
проф. д-р Любен Тонев – СЕЕС
доц. д-р Мария Маринова - ТУ-Варна
доц. д-р Венцислав Вълчев - ТУ-Варна
доц. д-р Марин Маринов - ТУ-Варна
доц. д-р Минчо Симеонов - ТУ-Габрово
проф. д-р Иван Доцински – БАН
доц. д-р Иван Василев – СЕЕС
доц. Иван Шишков – СЕЕС
проф. д-р Тихомир Таков – ТУ-София
доц. д-р Петър Горанов - ТУ-София
доц. д-р Ана Андонова - ТУ-София
доц. д-р Петър Якимов - ТУ-София
проф. д-р Добри Добрев - ТУ-София
доц. д-р Никола Дурчев – Балкантел
доц. Румен Атанасов – БАСЕЛ
доц. д-р Николай Илиев – DATECS
доц. д-р Йордан Кисьов – RISK Electronics
д-р Любомир Гергов – Електрум
инж. Върбан Върбанов –
Оргтехника-Силистра
инж. Красимир Пингелов -
Електрон Прогрес
инж. Николай Беров - Соларпро

Секретариат:

доц. д-р Иван Василев – СЕЕС
доц. д-р Георги Ангелов – ТУ-София
инж. Николай Рангелов – ТУ-София

СЪДЪРЖАНИЕ

Румен АТАНАСОВ ЕЛЕКТРОТЕХНИКАТА И ЕЛЕКТРОНИКАТА В БЪЛГАРИЯ, СЪСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВИ.....	8
Никола ДУРЧЕВ ВИСКОТЕХНОЛОГИЧЕН ПЪТ НА РАЗВИТИЕ – ИНДУСТРИАЛИЗАЦИЯ И ИНОВАЦИИ В ОБЛАСТТА НА ИКТ.....	14
Peter PETROV PHYSICAL VAPOR DEPOSITION CARBON NITRIDE THIN FILMS.....	18
Mariya ALEKSANDROVA, Georgi DOBRIKOV, Georgi KOLEV and Ivelina SHOLAKOVA IMPROVEMENT OF THE INJECTION EFFICIENCY IN ORGANIC LIGHT EMITTING DEVICES BY ADDITIONAL SPRAY DEPOSITED HOLE TRANSPORTING LAYER.....	22
Krassimir DENISHEV MEMS MAGNETOMETER.....	28
Красимир ДЕНИШЕВ ПИЕЗОЕЛЕКТРИЧЕН ЕЛЕМЕНТ ОТ PVDF, С ГОЛЯМА ПЛОЩ, ИЗГОТВЕН ПОСРЕДСТВОМ ДЕБЕЛОСЛОЙНА ТЕХНОЛОГИЯ.....	34
Анна АНДОНОВА, Георги АНГЕЛОВ ИНФРАЧЕРВЕНА ТЕРМОГРАФСКА ОЦЕНКА НА ТЕХНИЧЕСКОТО СЪСТОЯНИЕ НА ФОТОВОЛТАИЧНИ МОДУЛИ.....	40
Кирил РАЙКОВ, Тихомир ТАКОВ МОДЕРНИЗАЦИЯ НА ЖИЧЕН БОНДЕР ЗА ОПРОВОДЯВАНЕ НА ПОЛУПРОВОДНИКОВИ ЧИПОВЕ.....	46
А. БАНКОВА, В. ВИДЕКОВ ПНЕВМАТИЧНИ ИЗПИТВАНИЯ НА МЕМБРАНИ ОТ НАНОСТРУКТУРИРАН ОКСИД.....	51
В. ВИДЕКОВ, Б. ЦАНЕВА, А. СТРАТЕВ, М. МИТОВ ОПТИЧЕН КОНТРОЛ НА ПОЛИРАНИ МЕТАЛНИ МАСКИ.....	56
В. ВИДЕКОВ ЗАПЪЛВАНЕ НА МЕТАЛНИ МАСКИ СЪС СПОЙВАЩА ПАСТА.....	62
Elissaveta GADJEVA, Georgi VALKOV DEVELOPMENT OF NOISE SOURCES IN VERILOG-A.....	68
Цветан ШОШКОВ, Георги МИХОВ СУБТРАКЦИОННА ПРОЦЕДУРА ЗА ПРЕМАХВАНЕ НА ЕМГ СМУЩЕНИЯ ОТ ЕКГ СИГНАЛИ: АДАПТАЦИЯ ЗА РАБОТА В РЕАЛНО ВРЕМЕ С ПРОГРАМИРУЕМИ УСТРОЙСТВА.....	73
Кръстю КРЪСТЕВ АНАЛИТИЧНО ОПИСАНИЕ НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С КАФЕЗЕН РОТОР ПРИ ВИСОКА СКОРОСТ НА ВЪРТЕНЕ.....	79
Кръстю КРЪСТЕВ, Емил РАЧЕВ, Радка КРЪСТЕВА ПРОГРАМЕН МОДЕЛ В МАТЛАВ/SIMULINK СРЕДА НА АСИНХРОНЕН ДВИГАТЕЛ С КАФЕЗЕН РОТОР ПРИ ВИСОКА СКОРОСТ НА ВЪРТЕНЕ.....	85
Нанко БОЗУКОВ, Марко ДИМИТРОВ ИНФОРМАЦИОННА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОЦЕНКА НА ЕНЕРГИЙНОТО СПЕСТЯВАНЕ ПРИ ОБНОВЯВАНЕ НА ИЗОЛАЦИЯТА НА СГРАДИ.....	91
Нанко БОЗУКОВ, Марко ДИМИТРОВ ИНФОРМАЦИОННА ТЕХНОЛОГИЯ ЗА ОЦЕНКА НА ЕНЕРГИЙНОТО СПЕСТЯВАНЕ ПРИ ПОДМЯНА НА СЪЩЕСТВУВАЩ ИЛИ ЗАКУПУВАНЕ НА НОВ КОТЕЛ.....	95

Иван БОЗЕВ	
МАТЕМАТИЧЕН МОДЕЛ НА ЕЛЕКТРОМАГНИТНАТА ИНДУКЦИЯ В ОБЛАСТИ С НУЛЕВА ГЪСТОТА НА МАГНИТНИЯ ПОТОК.....	99
Трифон ТРИФОНОВ, Огнян НАКОВ	
МЕТАМОДЕЛ ЗА СЪЗДАВАНЕ НА АДАПТИВНИ КУРСОВЕ В СИСТЕМИТЕ ЗА ЕЛЕКТРОННО ОБУЧЕНИЕ.....	106
Георги ПЕТРОВ, Филип АНДОНОВ	
ПЕРСПЕКТИВИ ПРЕД РАЗВИТИЕТО НА ОТВОРЕНИЯ ХАРДУЕР.....	112
Velimira TODOROVA, Dimo KOLEV	
PROBLEMS WHEN PROCESSING DATA FROM SOME MULTIPLE SENSOR SYSTEM....	120
Tsvetomir LAZAROV	
CPLD BASED FRAME CAPTURER.....	124
Stoyan NIKOLOV	
EMULATORS OF THE OUTPUT FROM SCINTILLATOR-BASED DETECTION SYSTEMS.....	129
Стоян НИКОЛОВ, Георги ЖЕЛЯЗКОВ	
ВИСОКОВОЛТОВИ ИЗТОЧНИЦИ НА ПОСТОЯННО НАПРЕЖЕНИЕ НА БАЗАТА НА РЕЗОНАНСЕН ОСЦИЛАТОР НА ROYER.....	135
Марин МАРИНОВ	
СЕНЗОРНА СИСТЕМА ЗА ЕНЕРГИЙНО-ЕФЕКТИВНА МНОГОЗОНОВА ВЕНТИЛАЦИЯ	141
Катя АСПАРУХОВА, Тодор ДЖАМИЙКОВ	
ШИРОКОДИНАМИЧЕН, НИСКОШУМЯЩ ФОТОПРИЕМЕН МОДУЛ ЗА ЛАБОРАТОРНИ ЦЕЛИ.....	147
Тодор ДЖАМИЙКОВ, Катя АСПАРУХОВА	
ГЕНЕРИРАНЕ НА СИГНАЛИ СЪС ЗАДАДЕНИ СТАТИСТИЧЕСКИ СВОЙСТВА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ ПОВЕДЕНИЕТО НА ОПТОЕЛЕКТРОННИ СХЕМИ.....	153
Ивайло ПАНДИЕВ	
ОПТИМИЗАЦИЯ И ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА ОСНОВНИТЕ УСИЛВАТЕЛНИ СХЕМИ С ОПЕРАЦИОННИ УСИЛВАТЕЛИ.....	160
Димитър ТОДОРОВ	
НАМАЛЯВАНЕ НА ШУМОВЕТЕ В ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ТОКОВИ ИЗМЕРВАНИЯ.....	166
Димитър ТОДОРОВ	
РЕДАКТИРАНЕ НА ДАННИ В РЕАЛНО ВРЕМЕ В ЕЛЕКТРОМЕТРИЧНИТЕ ИЗМЕРВАТЕЛНИ УРЕДИ.....	172
Екатерина ДУДИН, Илия МИЛКОВСКИ	
ПРОГРАМА ЗА МОДЕЛИРАНЕ И СИМУЛАЦИЯ НА ШИРОКОЛЕНТОВ ХЕНДОВЪР РЕАЛИЗИРАН С ТРИПРИОРИТЕТНА СХЕМА.....	178
Филип ЦВЕТАНОВ, Димитър РАДЕВ	
ИНСТРУМЕНТИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА НИСКΟΣКОРОСТНИ МРЕЖИ.....	184
Елица ГОСПОДИНОВА	
ОБОБЩЕН МОДЕЛ НА СИГУРНОСТТА В WLAN.....	190
Боян ЖЕКОВ, Ирина ВАСИЛЕВА	
ЕЛЕКТРОННО УПРАВЛЕНИЕ И ЕЛЕКТРОННА ТЪРГОВИЯ – ПЕРСПЕКТИВИ И ПРЕДИЗВИКАТЕЛСТВА. ОТВОРЕНИ ДАННИ.....	196
Петър АПОСТОЛОВ, Алексей СТЕФАНОВ	
ШИРОКОЛЕНТОВА МИКРОФОНА РЕШЕТКА.....	201

Веселин ДЕМИРЕВ	
ТЕХНОЛОГИЯТА SCP-RPSC – НЕИЗВЕСТНИЯТ ЛИДЕР В НАДПРЕВАРАТА ЗА ШИРОКОЛЕНТОВ МОБИЛЕН ДОСТЪП ДО СПЪТНИКОВИЯ СЕГМЕНТ.....	208
Владимир ДИМИТРОВ	
КОРЕНИТЕ НА ОРИЕНТИРАНАТА КЪМ УСЛУГИ АРХИТЕКТУРА.....	214
Владимир ДИМИТРОВ	
ЗАДАЧИТЕ ЗА ХОРА В ОРИЕНТИРАНАТА КЪМ УСЛУГИ АРХИТЕКТУРА.....	219
Николай БАНКОВ, Александър ВУЧЕВ, Ясен МАДАНКОВ	
АНАЛИЗ НА ВИСОКОВОЛТОВ РЕЗОНАНСЕН DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ПРИ ОСНОВЕН РЕЖИМ НА РАБОТА.....	224
Николай БАНКОВ, Александър ВУЧЕВ, Ясен МАДАНКОВ	
АНАЛИЗ НА ВИСОКОВОЛТОВ РЕЗОНАНСЕН DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛ ПРИ ГРАНИЧЕН РЕЖИМ НА РАБОТА.....	230
Младен МИТОВ	
МИКРОСОНДОВА СИСТЕМА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПЛАЗМЕНИ ПАРАМЕТРИ.....	236
Tzeno GALCHEV	
MICRO-SCALE AND MACRO-SCALE SYSTEMS FOR HARVESTING KINETIC ENERGY OVER A WIDE RANGE OF APPLICATIONS AND IN MULTIPLE AXES.....	242
Николай ХИНОВ, Димитър АРНАУДОВ, Никола ГРАДИНАРОВ	
ИНЖЕНЕРНА МЕТОДИКА ЗА ПРОЕКТИРАНЕ НА РЕЗОНАНСНИ ИНВЕРТОРИ С ОБРАТНИ ДИОДИ.....	248
Димитър АРНАУДОВ, Николай ХИНОВ, Валери ГОЧЕВ, Николай НИКОЛОВ	
ЕЛЕКТРОННИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ЕНЕРГИЯ В ХИБРИДНИ СИСТЕМИ ИЗПОЛЗВАЩИ СУПЕРКОНДЕНЗАТОРИ.....	254
Николай ХИНОВ, Димитър АРНАУДОВ, Николай РАНГЕЛОВ, Валери ГОЧЕВ	
СХЕМИ НА ЕЛЕКТРОННИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ НА ЕНЕРГИЯ В ХИБРИДНИ СИСТЕМИ, ИЗПОЛЗВАЩИ СУПЕРКОНДЕНЗАТОРИ.....	261
Николай РАНГЕЛОВ, Николай ХИНОВ, Димитър АРНАУДОВ	
СРАВНЯВАНЕ НА DC-DC КОНВЕРТОРИ С МЕКИ И ТВЪРДИ КОМУТАЦИИ ПРИ ЕДНАКЪВ ТОВАР.....	269
Борислав ГАНЕВ	
СЕНЗОРЕН МОДУЛ, ЗАХРАНВАН ПРЕЗ ETHERNET.....	276

DEVELOPMENT OF NOISE SOURCES IN VERILOG-A

Elissaveta GADJEVA* and Georgi VALKOV**

* Technical University of Sofia, Department of Electronics, 1156 Sofia, Bulgaria, 8 Kl. Ohridski Blvd., Bl. 1, E-mail: egadjeva@tu-sofia.bg

** Technical University of Sofia, Department of Electronics, 1156 Sofia, Bulgaria, 8 Kl. Ohridski Blvd., Bl. 1, E-mail: gvalkov@abv.bg

Резюме. Разработени са шумови източници на езика Verilog-A. Моделите са проверени спрямо Spice еквивалентите си. Времената за симулация също са сравнени, с цел се оцени ефективността на моделите.

Ключови думи: поведенчески модели, сравнение на ефективност, шумови модели, Spice, Verilog-A.

INTRODUCTION

For RF communication circuits, non-linearity and noise are key figures of merit that are to be simulated, and recently there has been significant effort to improve models and simulation algorithms for such analysis types. A number of computer models are proposed for computer-aided noise analysis of active linear circuits and for noise behavior description of passive and active components at RF [1-5]. User-defined parameterized computer macromodels are proposed in [4] which extend the possibilities for the noise simulation of standard circuit simulators such as Cadence PSpice.

Noise modeling and simulation are important for analogue and mixed-signal ICs. With the growth and increasing complexity of the designs and with the requirement to predict the behavior of mixed signal designs in RF domain, comes the need to develop Verilog-A models that consider the noise performance of the devices. Hence the need to develop, noise macromodels of the basic noise source types.

In the present paper behavioral models of noise sources are developed in the Verilog-A language. Effectiveness assessment is performed for various models of white noise sources in different simulators, languages and implementations, in a circuit with a very sparse matrix.

STANDARD PSpICE IMPLEMENTATION OF NOISE SOURCES

There are different types of noise, depending on the physical phenomenon producing them, but from the modeling side of view, there are: *thermal (white) noise*

– where the power is constant in the whole frequency range, *flicker (pink) noise* – where the power decreases with the frequency as $\frac{1}{f^{A_F}}$, where A_F is the frequency exponent, and also the *table noise* – where the magnitude of the noise is described as a frequency table.

White noise modeling

Cadence PSpice [6] lacks the models of noise sources. It is however possible to use a resistor with a specific value in a combination with a dependent voltage or current source to develop parameterized noise sources. The schematic implementation of a white noise voltage source with magnitude of E_N is shown in Fig. 1a [3]. The Spice code is presented in Fig. 1b.

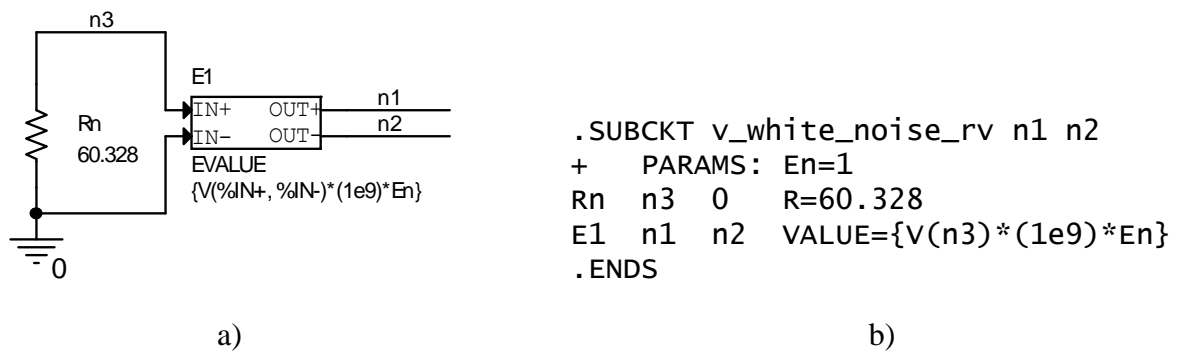


Fig.1. *RV model*, schematic (a) and Spice code (b) of a white noise voltage source.

The relationship between noise voltage and resistance value is given by the following expression:

$$(1) \quad R_N = \frac{U^2}{4\pi kT}.$$

The resistance value required to produce a noise voltage of $1nV$ at temperature $27^\circ C$ is 60.328Ω .

Alternative PSpice implementation of white noise source

It is also possible to use the noise current across R_N as a reference for the output noise voltage. The results are equivalent, with the only difference that the matrix order is increased by 1. This decreases the simulation speed hence this implementation is not preferred. The schematic implementation of a voltage noise source with magnitude of E_N is shown in Fig. 2a [3]. The Spice code is shown in Fig. 2b. The relationship between noise current and resistance value is given by the following expression:

$$(2) \quad R_N = \frac{4\pi kT}{I^2}.$$

The resistance value required to produce a noise current of $1pA$ at temperature $27^\circ C$ is 16576Ω .

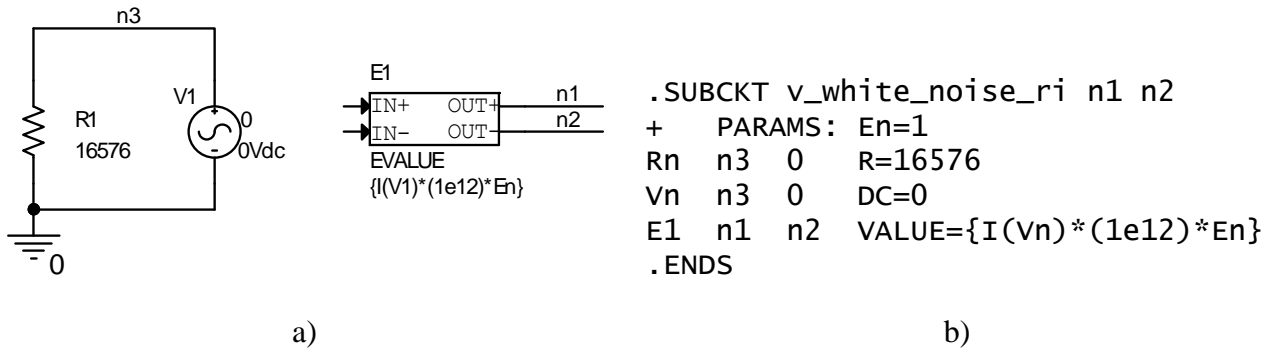


Fig.2. *RI* model, schematic (a) and Spice code (b) of a white noise voltage source.

Flicker noise modeling

In PSpice the flicker noise sources are implemented using a reference noise resistor and an *ELAPLACE* source [3].

The schematic implementation of a voltage noise source with magnitude of E_N at 1Hz and frequency exponent of A_F is shown in Fig. 3a. The Spice code is shown in Fig. 3b.

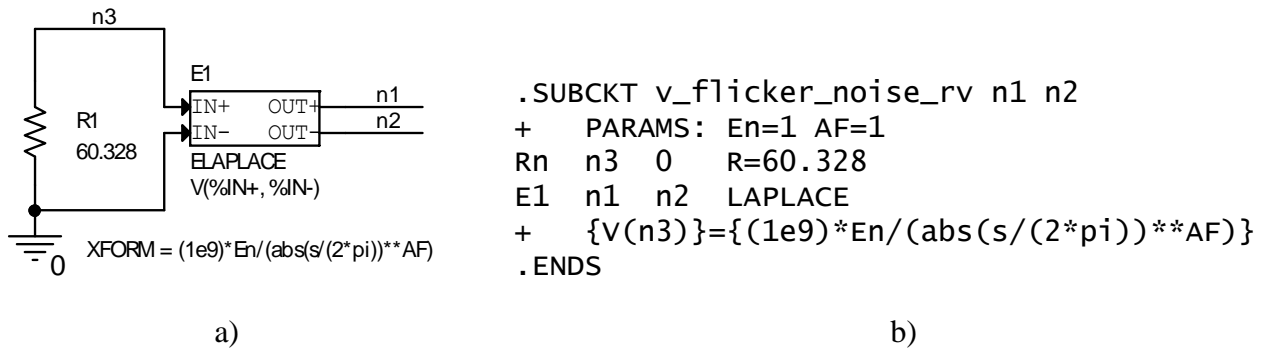


Fig.3. Schematic (a) and Spice code (b) of a flicker noise voltage source.

SMASH SPICE IMPLEMENTATION OF NOISE SOURCES

In Dolphin SMASH [7], the *Spice* language is extended and offers built-in support for noise sources. It is possible to combine DC, AC, transient, and noise signals into the same source. A lowpass filter may also be applied to the noise signals. SMASH Spice allows the noise sources to be activated during a transient analysis. An example of a voltage noise source is shown in Fig. 4.

```
V1 n1 n2 DC=0 AC=0 NOISE
+ THN={Ewn*Ewn} FLN={Efn*Efn} ALPHA={AF*2} FC={Fcut} N={Forder}
+ FILE="noise.dat" SIGNAL="TABLE1" XSCALE="LIN" YSCALE="LIN" GNOISE=1
```

Fig.4. Noise voltage source in SMASH Spice.

THN specifies the white noise level. *FLN* is the flicker noise level at 1Hz . Both are in $\frac{V^2}{\text{Hz}}$. The coefficient *ALPHA* specifies the flicker exponent. *FILE* specifies the

input file for the table defined source. Supported formats are *ICD*, *DAT* and *NMF*. The parameter *SIGNAL* specifies which signal should be used from the table. *XSCALE* and *YSCALE* specify the interpolation type for *x* and *y*, supported values are *lin* for linear and *log* for logarithmic. *GNOISE* is a scaling coefficient for the noise. *FC* and *N* specify the cut-off frequency and filter order of the lowpass filter that is applied to the noise signal. The equation for noise power has the form:

$$(3) \quad S_x = GNOISE^2 \frac{(\text{power spectrum from FILE}) + THN + \frac{FLN}{f^{ALPHA}}}{\left(1 + \left(\frac{f}{FC}\right)^2\right)^N}.$$

VERILOG-A IMPLEMENTATION OF NOISE SOURCES

Verilog-A has built-in support for noise signals. It is possible to combine DC, AC, transient, and noise signals into the same source. For example, the description of a noise voltage source is shown in Fig. 5.

```

module v_noise(n1, n2);
  inout n1, n2;
  electrical n1, n2;
  parameter real Ewn = 1 from (0:inf);
  parameter real Efn = 1 from (0:inf);
  parameter real AF = 1 from (0:inf);
  parameter real NT[0:5] = '{1k, 2.5m, 10k, 0.4m, 100k, 0.9m}';
analog begin
  V(n1, n2) <+ white_noise(Ewn*Ewn) + flicker_noise(Efn*Efn, AF*2)
    + noise_table(NT);
end
endmodule

```

Fig.5. Noise voltage source in Verilog-A.

The parameter of the *white_noise* function specifies the noise level. The first parameter of the *flicker_noise* function is the noise level at 1Hz. The second parameter is the frequency exponent. The parameter passed to the *noise_table* function defines the noise levels for a number of frequency points, using the following form: '{f1, v1, f2, v2..., fn, vn}'. For some simulators, a file name can be specified as the parameter for *noise_table*. Each line of the file should contain a pair of frequency point and noise level. All noise levels described above are in $\frac{V^2}{Hz}$.

EFFECTIVENESS ASSESSMENT

The noise models based on behavioral modeling using Verilog-A are characterized with the highest efficiency, due to the fact that they do not increase the

order of circuit matrix. The model implemented in SMASH Spice is also built into the source and does not increase the matrix order. The *RV* model increases the matrix order by 1, while the *RI* model increases it by 2, resulting in decreased efficiency. This is supported by experimental data, which shows that:

The *RI* model from Fig. 2 performs worse than the *RV* model from Fig. 1. In SMASH the *RV* model requires only 53% of the time to simulate the *RI* model, which is nearly twice as fast. And in Cadence PSpice the *RV* model uses 84% of the time required by the *RI* model.

The noise model built-into the SMASH Spice simulator takes only 67% of the time required to simulate the *RV* model in the same simulator.

The Verilog-A model is the best for noise modeling, taking only 33% from the *RV* model's time and 50% of the SMASH Spice model's time.

To assess the effectiveness of the different simulators, languages and model implementations, the following variants are simulated: *Cadence PSpice RI* and *SMASH Spice RI* model from Fig. 2, *Cadence PSpice RV* and *SMASH Spice RV* model from Fig. 1, *SMASH Spice* model from Fig. 4 (white noise only), *Verilog-A* model from Fig. 5 (white noise only). The simulated circuit is characterized with a very sparse matrix (number of nodes 1000). The following analysis settings are used: AC interval [10Hz-1GHz], 1000 *points/decade*, and Print interval for noise contribution table: every 5th point.

For the Cadence PSpice simulator, the *.ACCT* Spice directive is specified to print detailed summary and simulation time statistics in the output file. For the SMASH simulator, the time is measured using a custom plugin, which hooks the simulation start and end events, and reports the time difference. The plugin uses the *RDTSC* processor instruction and enables very-high precision time measurements. This results in a very low time deviation between multiple simulation runs.

Each variant is simulated 12 times. The best 8 times with minimal deviation from the mean value are selected and averaged. The others are discarded. Finally the normalized times are calculated relatively to the maximum value of 1000. Lower values are better. The results are shown in Fig. 6.

CONCLUSIONS

Noise models are developed in the Verilog-A language for the following noise voltage sources: white, flicker and table. The models are verified against their Spice equivalents. Effectiveness assessment is performed for various models of white noise sources in different simulators, languages and implementations, in a circuit with a very sparse matrix.