

# О НЕКОТОРЫХ ОСОБЕННОСТЯХ РАБОТЫ С ПРОГРАММОЙ LTSPICE

В статье приведена информация об особенностях моделирования при использовании альтернативного решателя. Показано какие преимущества имеет альтернативный решатель при анализе спектров сложных сигналов. Приведена информация об упрощенном методе измерения кондуктивных помех с использованием анализатора спектра LTSpice.

В. Макаренко

## ON SOME FEATURES OF WORKING WITH LTSPICE

The article provides information on modeling features when using an alternative solver. It is shown what advantages has an alternative solver when analyzing the spectra of complex signals. Information about the simplified method of measuring conductive interference using the LTSPICE spectrum analyzer is given.

V. Makarenko

При моделировании работы радиоэлектронных устройств широко используется spice-симулятор LTSpice компании Analog Devices, описанию работы с которой посвящено много источников. Однако, некоторые возможности программы не описаны и в файле подсказки о этих возможностях нет даже упоминаний. Недокументированные возможности программы можно найти в [1,2]. Некоторые функции программы упоминаются, но не показано как они влияют на результаты моделирования.

В Ltspice содержится две полные версии различных решателей [1]. Один называется обычным решателем, а другой – альтернативным. Альтернативный решатель использует разреженные матрицы, которые обеспечивают более высокую точность вычислений. Как правило, альтернативный решатель обеспечивает скорость вычислений примерно в два раза ниже чем обычный.

Чтобы включить альтернативный решатель, необходимо открыть настройки программы и на вкладке Spice (рис. 1) выбрать Alternative. Для иллюстрации

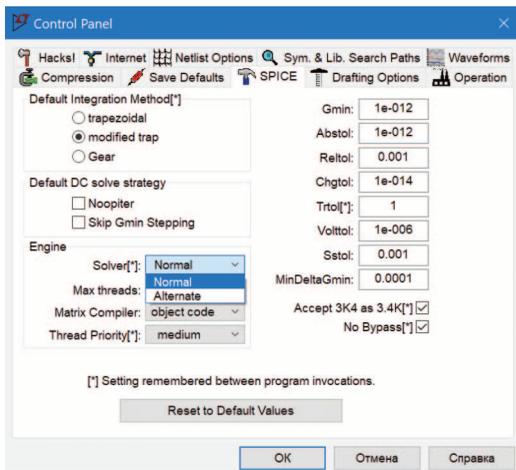


Рис. 1. Выбор решателя для работы с программой LTSpice

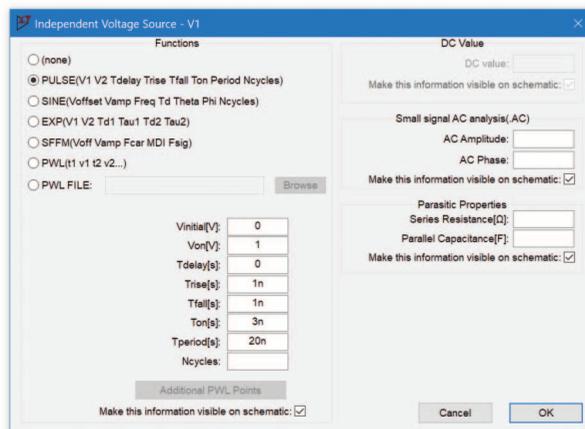
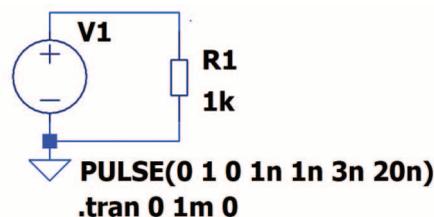
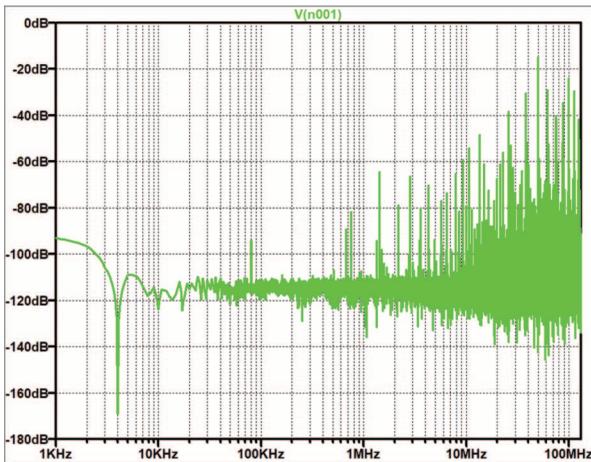


Рис. 2. Модель генератора коротких импульсов

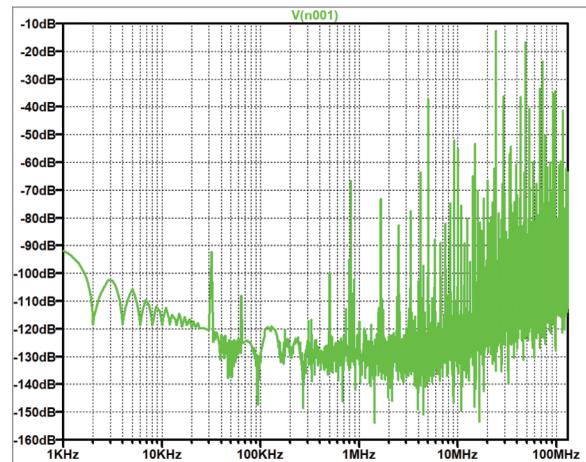
возможностей альтернативной версии решателя используем простую модель генератора коротких импульсов (рис. 2). Фронт и спад импульса длительностью 3 нс заданы равными 1 нс.

Спектр сигнала при нормальном (Normal) решателе приведен на рис. 3, а при альтернативном решателе – на рис. 4.

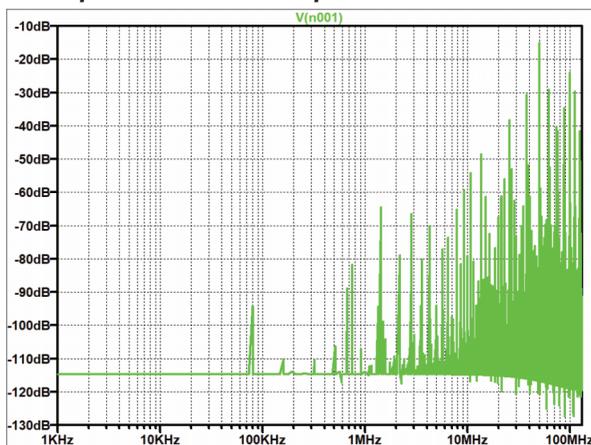
Как следует из рис. 3 и 4, при использовании альтернативного решателя точность отображения спектра выше. Отсутствуют выбросы и провалы в спектре в диапазоне частот от 1 до 100 кГц. Следует заметить, что нижняя частота в спектре сигнала, вычисленная в LTSpice, соответствует соотношению  $f_H = 1/T_{\text{анализа}}$ .



**Рис. 3. Спектр импульсов длительностью 3 нс при использовании решателя Normal**



**Рис. 5. Спектр импульсов длительностью 0.3 нс при использовании решателя Normal**



**Рис. 4. Спектр импульсов длительностью 3 нс при использовании решателя Alternative**

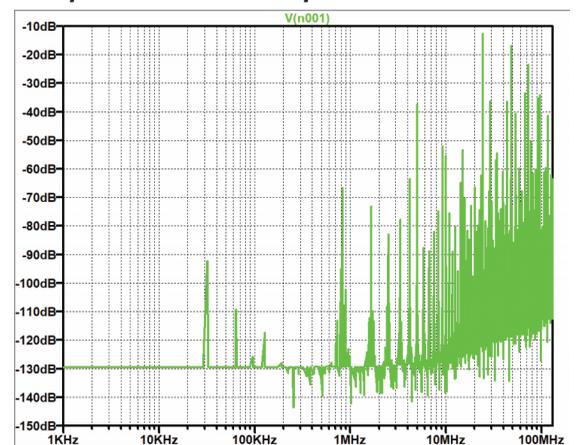
Для приведенной на рис. 2 модели время анализа задано равным 1 мс, что соответствует нижней частоте в спектре сигнала 1 кГц (рис. 3 и 4).

Необходимо знать, что в одном сеансе работы с программой невозможно исследовать работу схемы при двух различных решателях, если не провести моделирование повторно. Т.е. после переключения решателя необходимо повторно выполнить моделирование.

Чем шире спектр исследуемого сигнала, тем больше различия в спектре сигналов, измеренных в LTspice. На рис. 5 и 6 приведены спектры импульсного сигнала при длительности импульсов 0.3 нс и длительности фронта и спада 0.01 нс.

На рис. 5 и 6 значительно лучше видно различие результата работы решателей Normal и Alternative.

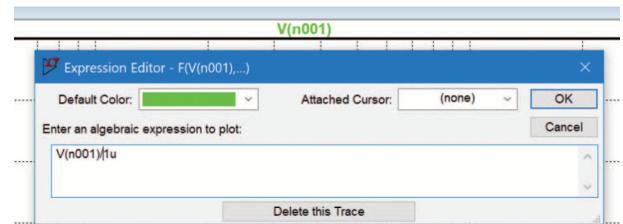
В LTspice предусмотрена возможность без дополнительных преобразований измерять спектры помех в дБмкВ, что необходимо при оценке различных устройств на соответствие стандартам электромагнитной совместимости.



**Рис. 6. Спектр импульсов длительностью 0.3 нс при использовании решателя Alternative**

В LTspice при анализе спектра информация выводится в логарифмических единицах (дБ), которые вычисляются как отношение среднеквадратического значения спектральной составляющей к значению напряжения 1 В. При оценке электромагнитных помех (ЭМП) спектр должен выводиться в значениях дБмкВ. Чтобы автоматически осуществить перерасчет в дБмкВ, необходимо в окне отображения спектра ввести делитель величиной 1 мкВ, как показано на рис. 7.

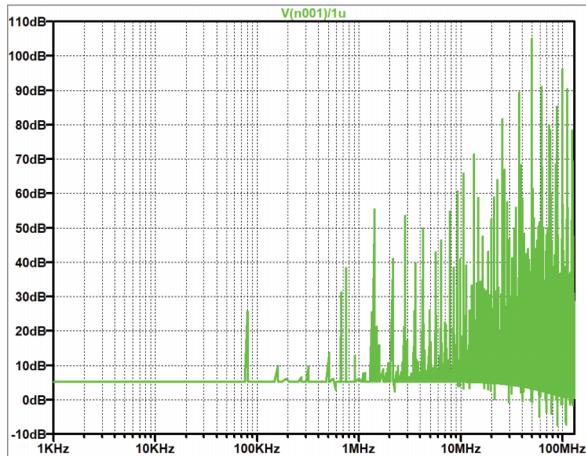
Для этого необходимо поместить курсор на обо-



**Рис. 7. Окно Expression Edition с внесенными изменениями для измерения спектра в дБмкВ**

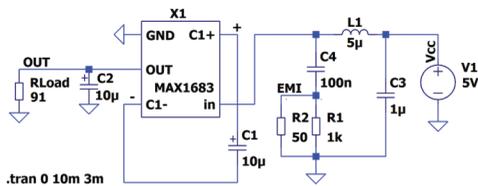
значение точки, в которой измеряется спектр – V(n001) на рис. 7 и нажать правую кнопку "мыши". В открывшемся окне Expression Editor вписать V(n001)/1u. Все спектральные составляющие должны стать на 120 дБ выше.

На рис. 8 приведен спектр, аналогичный спектру на рис. 4, но пересчитанный в дБмкВ.



**Рис. 8. Спектр импульсов длительностью 3 нс при использовании решателя Alternative, выраженный в дБмкВ**

Проверить верность полученного результата можно, сравнив результаты, полученные с помощью LTspice, и пересчитанные по формуле преобразования дБ в дБмкВ. Для эксперимента проведем измерение спектра кондуктивных помех, создаваемых повышающим преобразователем MAX1683 (рис. 9).



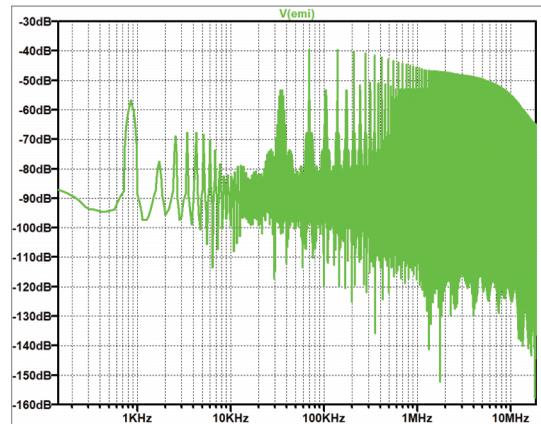
**Рис. 9. Модель повышающего преобразователя на ИМС MAX1683**

Для измерения уровня кондуктивных помех используется узел LISN, выполненный на элементах L1, C3, C4, R1, R2. Спектр, измеренный в точке обозначенной EMI, приведен на рис. 10.

Уровень спектральной составляющей с частотой 70 кГц равен -40 дБ. Чтобы пересчитать полученные значения в дБмкВ необходимо проделать несколько простых операций [3]:

- преобразовать полученные значения спектральных составляющих в мкВ

$$U_{\text{ЭМП}}(\text{В}) = 10^{\frac{U_{\text{ЭМП}}(\text{дБ})}{20}}$$



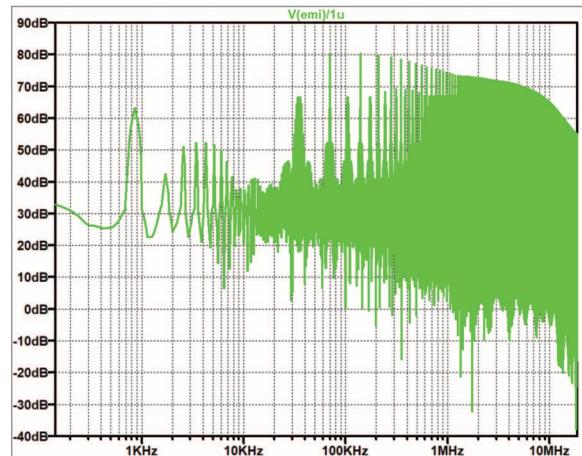
**Рис. 10. Спектр кондуктивных помех преобразователя MAX1683, измеренный в дБ**

- преобразовать полученное значение в дБмкВ по формуле

$$U_{\text{ЭМП}}(\text{дБмкВ}) = 20 \lg \frac{U_{\text{ЭМП}}(\text{В})}{1.1 \cdot 10^{-6}}$$

Для составляющей 70 кГц пересчитанное значение равно 80 дБ, что соответствует уровню этой составляющей в спектре, приведенном на рис. 11.

Такой спектр легко оценить на соответствие стандартам электромагнитной совместимости.



**Рис. 11. Спектр кондуктивных помех преобразователя MAX1683, измеренный в дБмкВ**

**ЛИТЕРАТУРА**

1. [http://ltwiki.org/LTspiceHelp/LTspiceHelp/SPICE\\_.htm](http://ltwiki.org/LTspiceHelp/LTspiceHelp/SPICE_.htm)
2. [http://ltwiki.org/index.php?title=Undocumented\\_LTspice](http://ltwiki.org/index.php?title=Undocumented_LTspice)
3. Timothy Hegarty The Engineer’s Guide To EMI In DC-DC Converters (Part 1): Standards Requirements And Measurement Techniques / How2Power Today, December 2017 issue. url: <http://www.how2power.com/newsletters/1712/index.html>