

## ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНСТРУМЕНТОВ АНАЛИЗА В NI MULTISIM

В статье рассмотрены вопросы выбора параметров моделирования и инструментов анализа при проектировании высокочастотных устройств. Сформулированы рекомендации, позволяющие минимизировать ошибки при анализе работы ВЧ-устройств.

В. Макаренко

### THE CHOICE OF SIMULATION PARAMETERS AND ANALYSIS TOOLS IN THE NI MULTISIM

*Abstract* – In the article the questions of choice of parameters of modeling and analysis tools when designing high-frequency devices are considered. Recommendations in order to minimize error in the analysis of RF devices are given

V. Makarenko

При использовании NI Multisim для моделирования различных устройств, работающих на низких частотах, как правило, проблем не возникает. А если какие-то параметры моделирования не позволяют корректно провести анализ исследуемой модели, то помощи ассистента, автоматически подбирающего параметры моделирования, оказывается вполне достаточно.

Однако при работе на высоких частотах или использовании управляемых источников сигналов, представленных в NI Multisim, этой помощи окажется недостаточно. Хотя информация о том, как нужно выбрать параметры моделирования и содержится в файле подсказки, многие пользователи об этом не задумываются и рассчитывают на то, что программа автоматически установит требуемые для анализа параметры. Однако это не так. В результате моделирование окажется либо невозможным, либо будет получен результат, абсолютно не соответствующий тому, который был бы получен при использовании реальных электронных компонентов.

Проиллюстрируем это на примере. Схема модели для исследований приведена на рис. 1. В качестве генератора, управляемого напряжением (ГУН), в Multisim можно использовать источник VOLTAGE\_CONTROLLED\_SINE\_WAVE (V2 на рис. 1). Чтобы наглядно продемонстрировать как изменяется не только частота, но и форма сигнала при неверно установленных параметрах моделирования, используем в качестве источника управляющего сигнала V1 генератор однополярных прямоугольных импульсов CLOCK\_VOLTAGE.

Для первого эксперимента зададим период

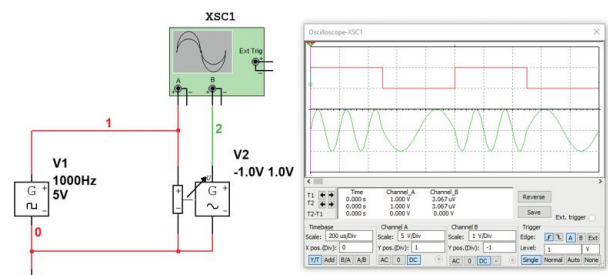
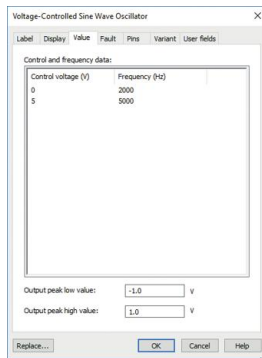


Рис. 1. Схема для исследования влияния шага моделирования на форму сигнала генератора VOLTAGE\_CONTROLLED\_SINE\_WAVE

следования импульсов генератора V1 равным 1 мс, скважность импульсов 50%, а у генератора V2 значение частоты выходного сигнала 2000 Гц при нулевом значении управляющего напряжения и 5000 Гц – при напряжении управления 5 В (рис. 2). Амплитуду выходного гармонического сигнала установим равной  $\pm 1$  В. Для установки параметров V2 достаточно дважды щелкнуть "мышкой" по иконке генератора на схеме. Осциллограммы сигналов на входе управления (красный) и на выходе V2 (зеленый) приведены на рис. 1. На выходе V2 формируется сигнал с частой манипуляцией. Причем форма сигнала как низкой, так и более высокой частоты, соответствует гармоническому сигналу.

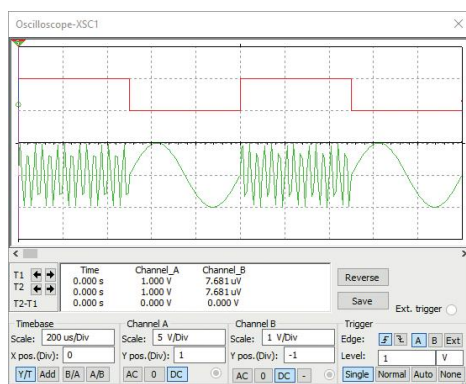
Зададим другой диапазон изменения частоты при сохранении остальных параметров. Напряжению 0 В будет соответствовать частота 2 кГц, а 5 В – 25 кГц. Форма сигнала на выходе



**Рис. 2. Окно установки параметров генератора VOLTAGE\_CONTROLLED\_SINE\_WAVE**

V2 приведена на рис. 3. Как следует из этого рисунка форма сигнала высокой частота сильно искажена. Это объясняется следующими причинами.

В NI Multisim все сигналы формируются

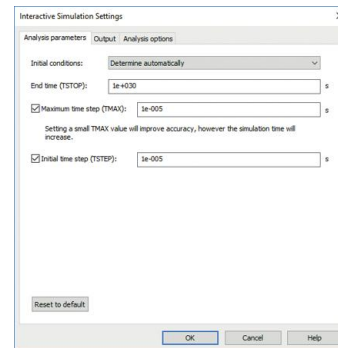


**Рис. 3. Осциллограммы сигналов на входе управления (красный) и на выходе V2 (зеленый) при максимальном значении выходной частоты 25 кГц**

цифровыми методами. Чтобы форма сигнала была близка к идеальной, необходимо выполнения условия  $f_d \geq 100f_B$ , где  $f_d$  – частота дискретизации,  $f_B$  – верхняя частота в спектре сигнала, который нужно сформировать или исследовать. Конечно, можно установить и меньшее значение частоты дискретизации (не менее  $10f_B$ ), но это приведет к ухудшению формы сигнала и уменьшению точности анализа. В параметрах Multisim вместо частоты дискретизации фигурирует величина обратная частоте – шаг анализа во времени (Maximum time step – TMAX), который по умолчанию установлен равным  $10^{-5}$  с (рис. 4). Установка другого значения временного шага осуществляется пу-

тем выбора в меню Simulate пункта Interactive Simulation Settings, после чего открывается окно установки параметров, приведенное на рис. 4.

Проверим это утверждение эксперимен-

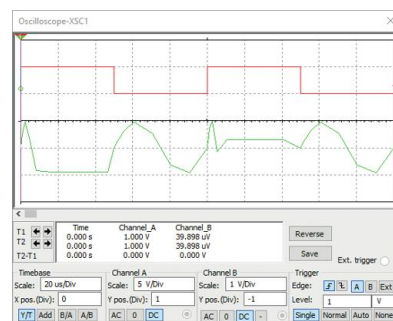


**Рис. 4. Окно установки временного шага анализа**

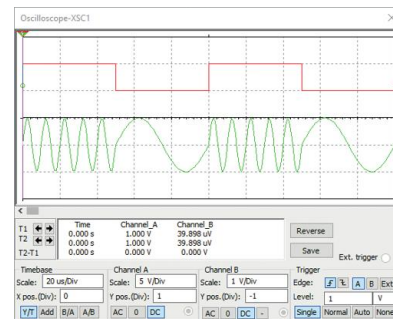
тально. Для этого зададим значения минимальной и максимальной частоты 10 и 100 кГц, соответственно. В соответствии с приведенными выше рекомендациями частоту дискретизации следует выбрать равной 10 МГц, что соответствует шагу временного анализа  $TMAX = 10^{-7}$  с. Уменьшим длительность периода генератора V1 до 0.1 с для ускорения процесса анализа.

Как следует из рис. 5, а, при установленном

а)



б)



**Рис. 5. Форма выходного сигнала с частотой 10/100 кГц при шаге анализа  $10^{-5}$  с (а) и  $10^{-7}$  с (б)**

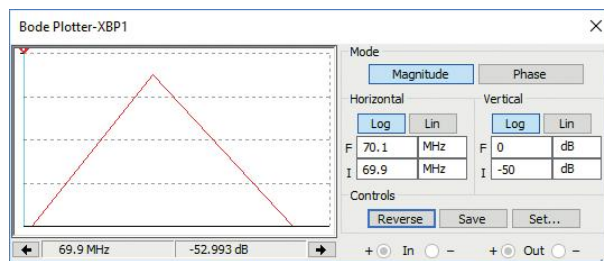
по умолчанию временном шаге сигнал настолько искажен, что использовать его невозможно. А при уменьшении шага ТМАХ до рассчитанного значения, равного  $10^{-7}$  с, форма сигнала соответствует требуемой. При выборе шага анализа следует учитывать, что чем меньше шаг, тем больше время, необходимое для выполнения анализа, и тем выше точность полученных результатов.

При анализе параметров моделей высококачественных устройств виртуальные инструменты Multisim не всегда позволяют провести корректные измерения. Рассмотрим один из таких случаев на примере анализа характеристик узкополосного LC-фильтра.

Фильтр спроектирован по методике, приведенной в [1]. И по расчету имеет такие характеристики: значение центральной частоты 70 МГц; полоса пропускания фильтра 100 кГц; нормированная частота среза 2.05; неравномерность АЧХ в полосе пропускания не более 0.4 дБ; величина гарантированного затухания не менее 55 дБ; сопротивление нагрузки 100 Ом.

При выборе аппроксимации по Чебышеву была реализована модель фильтра 7-го порядка, приведенная на рис. 6. Измерение АЧХ с помощью Боде-плоттера ХВР1 с параметрами, установленными по умолчанию, дало результат, приведенный на рис. 7. Как следует из рисунка, АЧХ имеет значительную неравномерность в полосе пропускания, примерно 13 дБ. Число точек анализа было задано максимально возможным равным 1000.

Конечно же, это совершенно не совпадает с результатами расчетов. Однако измерение с помощью Боде-плоттера АЧХ фильтра, рассчитанного на центральную частоту 70 МГц, при установке значений максимального шага



**Рис. 7. АЧХ фильтра, полученная в результате моделирования при стандартных параметрах, установленных по умолчанию**

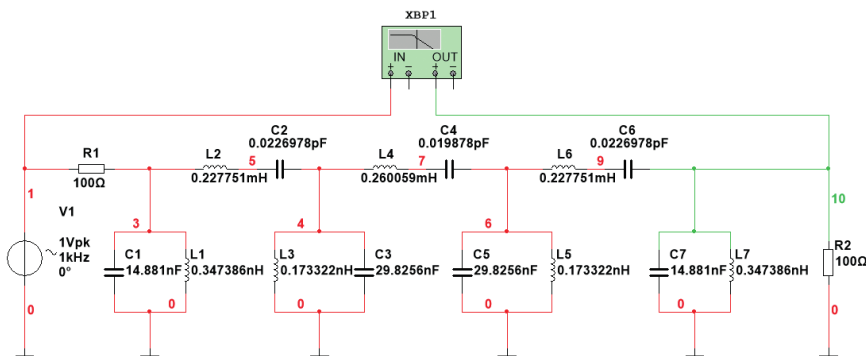
анализа ТМАХ от  $10^{-12}$  до  $10^{-15}$  с не привели к желаемому результату. Была получена такая же форма АЧХ. Это свидетельствует об ограничениях анализа, проводимого с помощью этого инструмента.

Подтверждением служит результат анализа по переменному току (AC analysis). Для получения требуемого результата недостаточно задать параметры интерактивного моделированного, указанные выше. Необходимо задать начальное и конечное значение частоты анализа (FSTART и FSTOP), масштаб по горизонтали (Sweep type) линейный, масштаб по вертикали (Vertical scale) логарифмический в дБ (Decibel), количество точек анализа (Number of points per decade) не менее 100.

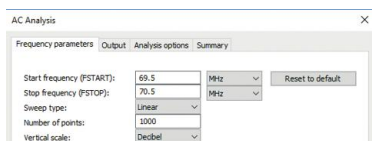
При измерении АЧХ фильтра были заданы параметры моделирования, приведенные на рис. 8.

Результаты измерений приведены на рис. 9. Они полностью соответствуют рассчитанным значениям.

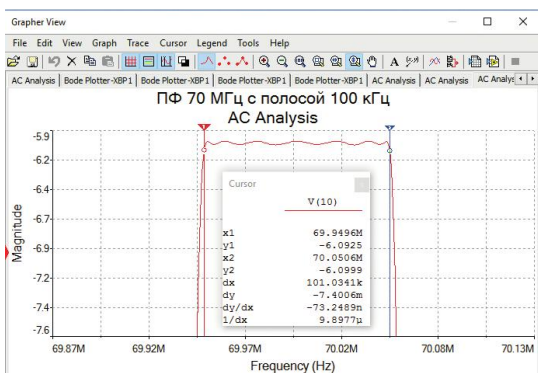
Приведенные выше результаты позволяют сделать некоторые выводы:



**Рис. 6. Модель полосового фильтра**



**Рис. 8. Параметры моделирования, установленные для измерения АЧХ в режиме AC Analysis**



**Рис. 9. Результаты измерения АЧХ фильтра в режиме AC Analysis**

1. При анализе работы высокочастотных устройств необходимо правильно задать максимальный шаг анализа TMAX, учитывая со-

отношение  $TMAX \leq 1/100f_B$ .

2. Поскольку, кроме функциональных возможностей, остальные параметры инструментов анализа NI Multisim не документированы, следует экспериментально определить их предельные возможности, сравнивая результаты, полученные с помощью разных методов анализа.

3. Для повышения достоверности полученных результатов анализ работы устройств и его параметров желательно проводить с использованием различных инструментов и затем сравнить полученные результаты.

4. При исследовании ВЧ-устройств следует по возможности минимизировать диапазон частот, в котором проводится анализ работы устройства, для повышения точности и сокращения времени измерений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ханзел Г. Е. Справочник по расчету фильтров. США, 1969. Пер. с англ., под ред. А. Е. Знаменского. М., "Сов. радио", 1974. – 288 с.

People | Power | Partnership

www.HARTING.com

**HARTING – это качество!**

Переключатели mCon-Switch производства компании HARTING — идеальные сетевые компоненты

Интеллектуальные сетевые компоненты, высокое качество которых соответствует бренду HARTING, гарантируют оптимизацию функций управления IT-ресурсами систем автоматизации производства. Изготавливаются под заказ для упрощения соединений в сети Ethernet.

**Pushing Performance**

**VD MAIS – официальный дистрибьютор компании HARTING в Украине**

тел.: (044) 220-0101, (057) 719-6718, (0562) 319-128, (062) 385-4947, (032) 245-5478,  
(095) 274-6897, (048) 734-1954, info@vdmiais.ua, www.vdmiais.ua