

Keysight EEsof EDA

Симуляция методом гармонического баланса

Руководство
с демонстрационными
примерами

Основы метода гармонического баланса

Гармонический баланс – метод анализа в частотной области, предназначенный для симуляции искажений в нелинейных схемах и системах. Он хорошо подходит для симуляции и анализа проблем в аналоговых РЧ- и СВЧ-устройствах, так как для этих устройств наиболее естественен анализ в частотной области. Вы можете проводить анализ усилителей мощности, умножителей частоты, смесителей, модуляторов и многих других устройств в режиме больших синусоидальных сигналов.

Симуляция методом гармонического баланса дает возможность проводить многотональный анализ схем с преобразованием комбинационной частоты. Он включает в себя частотные преобразования между гармониками. Гармонические колебания может генерировать не только схема сама по себе – каждый источник сигнала (задающее воздействие) также может производить гармоники или малые сигналы в боковых полосах частот. Задающее воздействие может включать до 12 гармонически не связанных источников. Суммарное количество частот в системе ограничивается только такими практическими соображениями, как объем памяти, объем файла подкачки и скорость симуляции.

Гармонический баланс – итерационный метод. Он основывается на предположении, что для заданного гармонического возбуждения существуют стационарные решения, которые с удовлетворительной точностью могут быть аппроксимированы при помощи ряда Фурье с конечным числом членов. Соответственно, напряжения в узлах схемы приобретают вид набора амплитуд и фаз для всех частотных составляющих. Токи, текущие из узлов схемы в линейные элементы, включая все элементы с распределенными параметрами, вычисляются с помощью прямого линейного анализа в частотной области. Токи, текущие из узлов в нелинейные элементы, рассчитываются во временной области. Для преобразования из временной в частотную область применяется обобщенное преобразование Фурье.

Полученное с помощью метода гармонического баланса решение аппроксимируется усеченным рядом Фурье, и данный метод по своей сути не способен отражать неустановившиеся процессы. Производную по времени можно точно вычислить с граничными условиями $v(0)=v(t)$, что автоматически удовлетворяется для всех итераций.

Аппроксимация с помощью усеченного ряда Фурье + N уравнений схемы дают функцию невязки, которая минимизируется.

Система из N x M нелинейных алгебраических уравнений разрешается относительно коэффициентов Фурье с помощью метода Ньютона, а внутренняя линейная задача решается с помощью:

- прямого метода (метода исключения Гаусса) для небольших задач;
- метода на подпространстве Крылова (например, метода обобщенных минимальных невязок GMRES) для задач большей размерности.

Нелинейные устройства (транзисторы, диоды и пр.) в методе гармонического баланса оцениваются (дискретизируются) во временной области и преобразуются в частотную область с помощью быстрого преобразования Фурье.

Чтобы успешно выполнить анализ методом гармонического баланса:

1. Добавьте компонент симуляции методом гармонического баланса в электрическую схему и два раза нажмите мышью на компонент для редактирования его параметров. Заполните поля во вкладке Freq (Частота):
 - Задайте по крайней мере одну основную частоту и количество (порядок) гармоник, которые будут учитываться при симуляции.

Убедитесь, что для всех представляющих интерес основных частот проекта заданы определения частот. Например, для смесителей следует включать определения частот RF и LO.

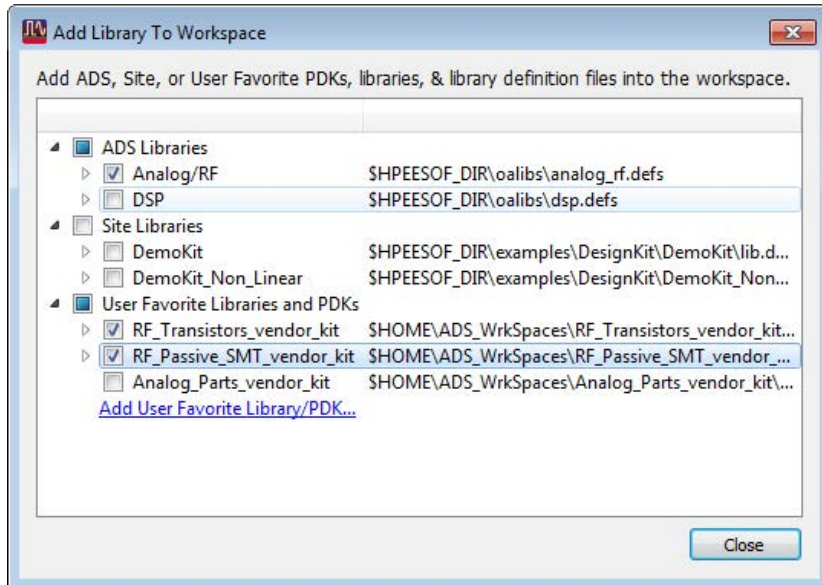
 - Если задано более одной основной частоты, задайте максимальный порядок комбинационных составляющих, что ограничит их количество, которое будет учитываться при симуляции. Более подробную информацию об этом параметре см. в разделе «Гармоники и максимальный порядок комбинационных составляющих» из документации по симуляции методом гармонического баланса в системе ADS.
2. Для ускорения процесса симуляции вы можете воспользоваться полученными ранее решениями. Более подробную информацию см. в разделе «Повторное использование результатов симуляции» из документации по методу гармонического баланса в системе ADS.
3. Вы можете выполнить расчеты распределения характеристик по компонентам схемы как часть процесса симуляции. Информацию об анализе распределения по компонентам см. в разделе «Использование симуляторов схемы для анализа РЧ-систем» из документации по использованию симуляторов схемы.
4. Вы можете выполнить анализ в режиме малого сигнала. Включите опцию Small-signal (Малый сигнал) и заполните поля во вкладке Small-Sig. Подробную информацию см. в разделе «Метод гармонического баланса для смесителей».
5. Вы можете выполнить анализ нелинейных шумов. Выберите вкладку Noise (Шум), включите опцию Nonlinear noise (Нелинейные шумы) и заполните поля диалоговых окон Noise (1) и Noise (2).
6. Если ваша разработка содержит компоненты NoiseCon, выберите вкладку Noise (Шум), включите опцию NoiseCons и заполните поля.
7. Если ваша разработка содержит компонент OscPort, включите Oscillator (Генератор) и заполните поля вкладки Osc. Метод гармонического баланса для симуляции генераторов специально ориентирован на симуляцию схем генераторов.

Практический пример: процесс симуляции методом гармонического баланса

1. Создайте новую рабочую среду Lab2_HBSimulation_wrk.

Примечание:

Для выполнения данного примера помимо библиотеки Analog/RF (Аналоговых/РЧ-компонентов) системы ADS необходимо также подключить библиотеки РЧ-транзисторов RF_Transistors_vendor_kit и пассивных РЧ-компонентов поверхностного монтажа RF_Passive_SMT_vendor_kit. Если вам необходима помощь в подключении библиотек, обратитесь к разделу «Начало работы с системой проектирования Advanced Design System (ADS)» данного практического руководства.



2. Создайте новую ячейку электрической схемы (назовите ее SystemAmp) и поместите в схему модель Amp (Усилитель) из палитры библиотеки System- Amps and Mixers (Система – Усилители и Смесители).

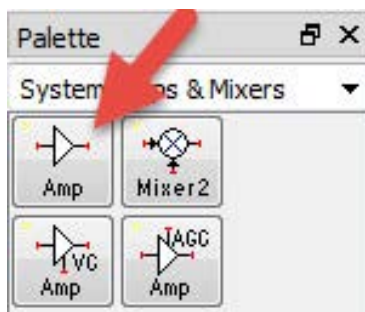


Рис. 31.

3. Дважды нажмите мышью компонент Amp (Усилитель) и задайте следующие параметры модели усилителя:
 - S21 = dbpolar(20,0)
 - S11 = dbpolar(-20,0)
 - S22 = dbpolar(-20,180)
 - S12 = dbpolar(-35,0)
 - TOI = 20

Примечание: Если у вашего компонента не указан параметр TOI или какой-либо другой параметр, возможно, он не отображается вместе с заголовком компонента. Вы можете нажать два раза мышью на компонент и изменить значение TOI в списке параметров, а также отметить параметр для его отображения на схеме.

4. Поместите источник P_1Tone из палитры библиотеки Sources-Freq Domain (Источники – Частотная область) и задайте следующие параметры источника:
 - P = polar(dbmtow(pin),0)
 - Freq = 5 GHz

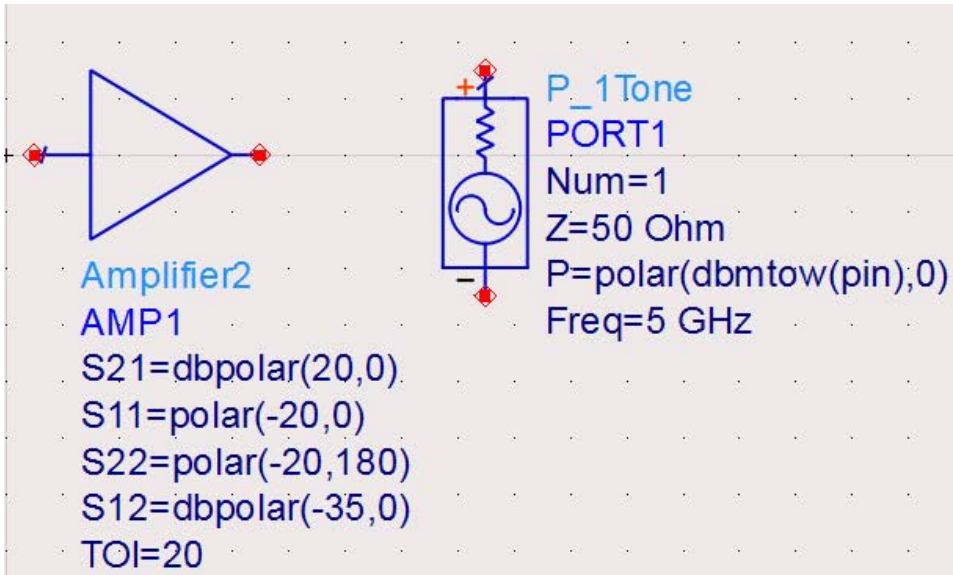


Рис. 32.

dbmtow() представляет собой функцию, преобразующую введенное нами в источнике значение мощности в dBm (дБм) в ватты для проведения внутренних вычислений.

5. Поместите компонент **Term** из палитры библиотеки **Simulation-HB** (Симуляция – Гармонический баланс) после усилителя (Amplifier) и выполните соединения, как показано на рисунке ниже.
6. Нажмите мышью иконку **Wire Label** (Метка проводника), введите имя «**vout**» и нажмите мышью голубой узел контакта «+» компонента **Term**, как показано на рисунке ниже.

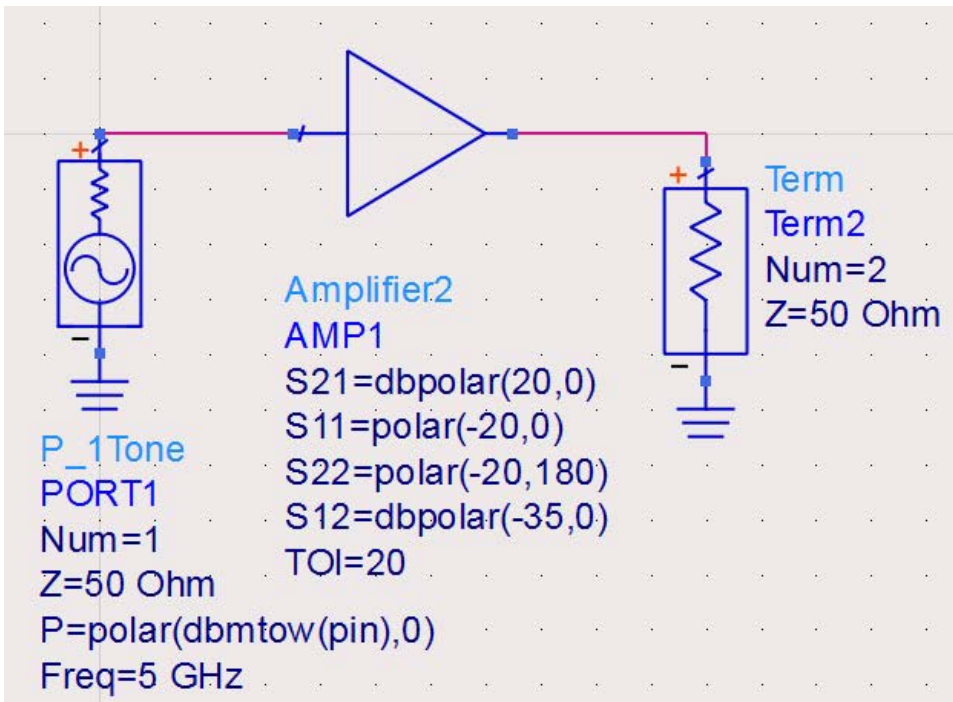
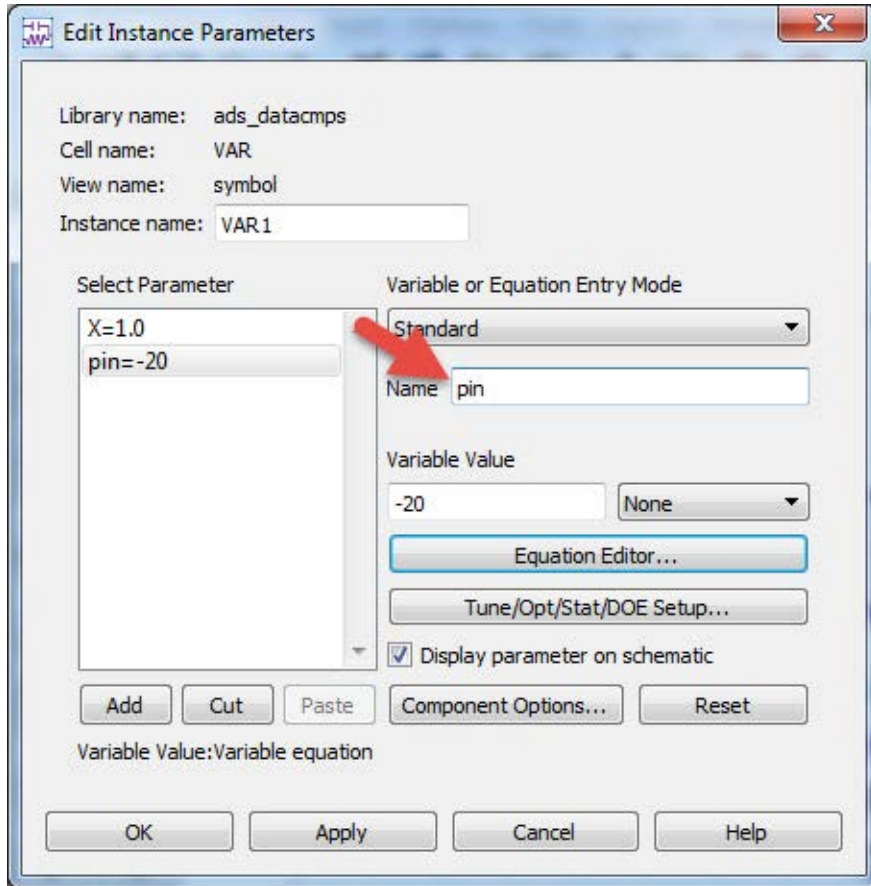


Рис. 33.

7. Поместите контроллер симуляции методом гармонического баланса (НБ) из палитры библиотеки Simulation-НБ (Симуляция – Гармонический баланс) и задайте частоту Freq = 5 GHz (ГГц) (равной заданной в источнике 1-Tone).
8. Нажмите мышью иконку **VAR** на панели инструментов, которая располагается рядом с иконкой земли, и определите новую переменную со значением pin, равным -20.
9. После этого схема примет вид, представленный на рисунке ниже.



HARMONIC BALANCE

Var
Eqn
VAR
VAR1
pin=-20

HarmonicBalance
HB1
Freq[1]=5 GHz
Order[1]=5

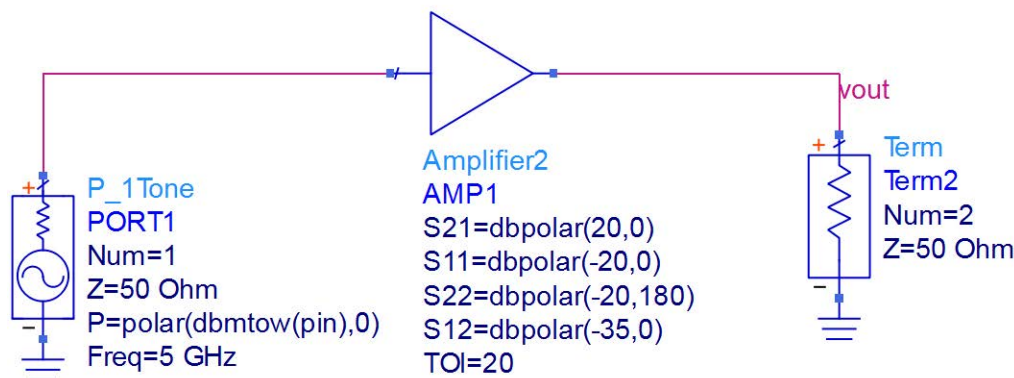


Рис. 34.

10. Запустите процесс симуляции и постройте график на дисплее данных, выбрав «vout» из доступного списка и выбрав единицы измерения «Spectrum in dBm» (Амплитудный спектр в дБм). Просмотрите изображение на дисплее данных (показано ниже):

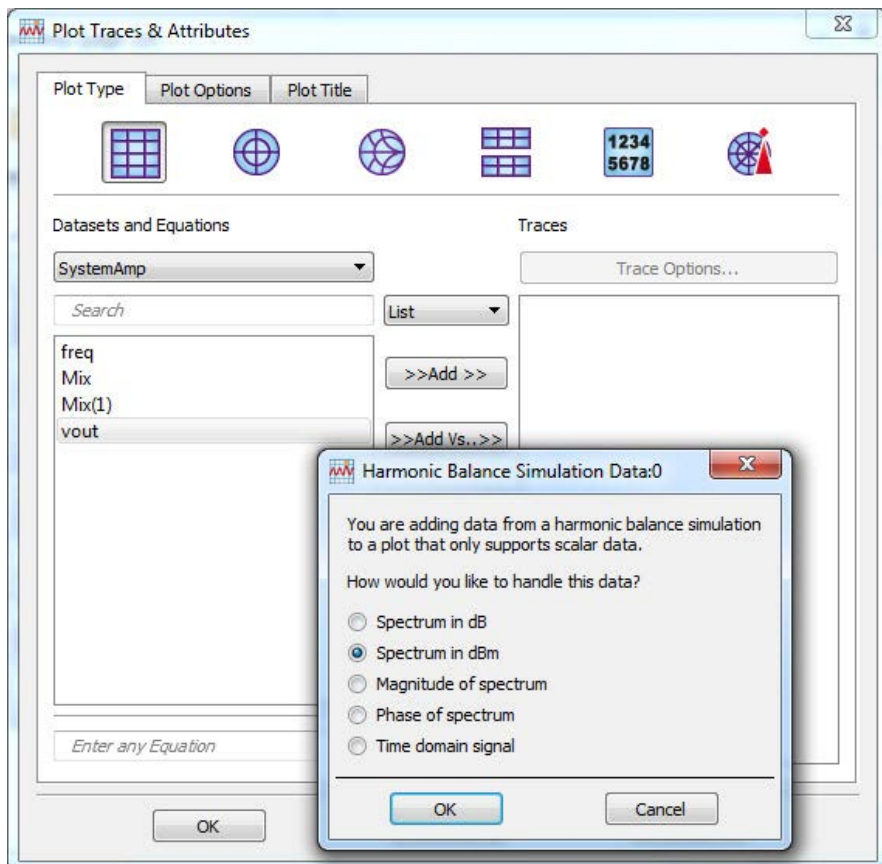
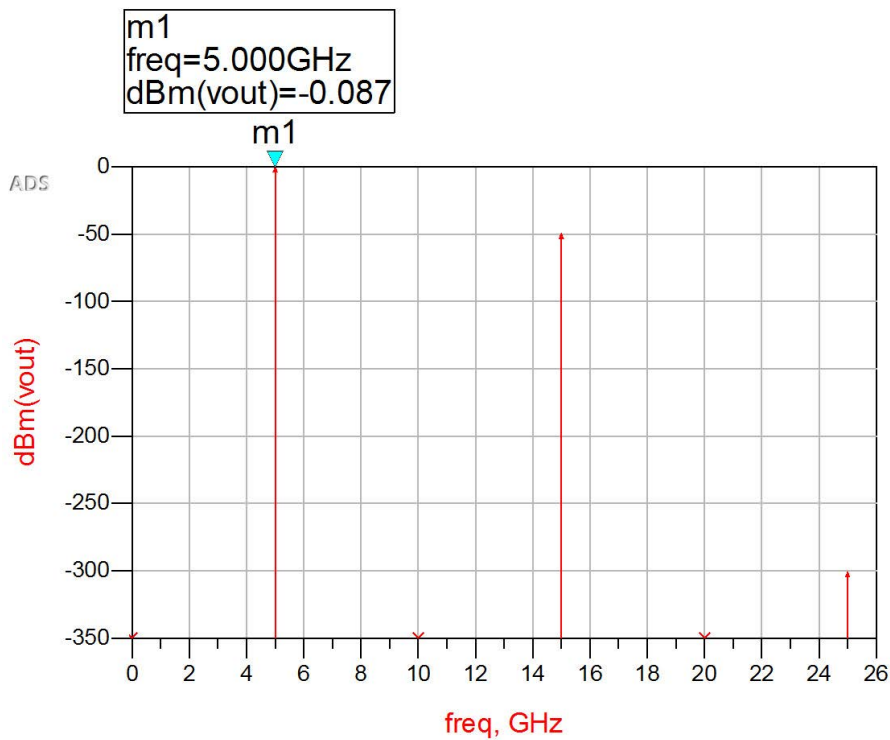
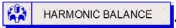


Рис. 35.

Практический пример: Симуляция свипирования мощности

1. Создайте копию ячейки, нажав правой кнопкой мыши на существующую ячейку и выбрав команду Copy Cell (Копировать ячейку).
2. Дайте ячейке новое имя, например, SystemAmp_PSWweep.
3. Откройте схематехнический вид этой скопированной ячейки и два раза нажмите мышью контроллер симуляции методом гармонического баланса (HB)

4. Перейдите во вкладку Sweep (Свипирование) и введите:
 - Parameter to Sweep = pin (Свипируемый параметр)
 - Start = -30 (Начало)
 - Stop = 0 (Конец)
 - Step-size = 1 (Размер шага)

С помощью этих настроек мы задаем свип параметра pin (входной мощности) от -30 до 0 dBm (дБм) с шагом 1 dBm (дБм).

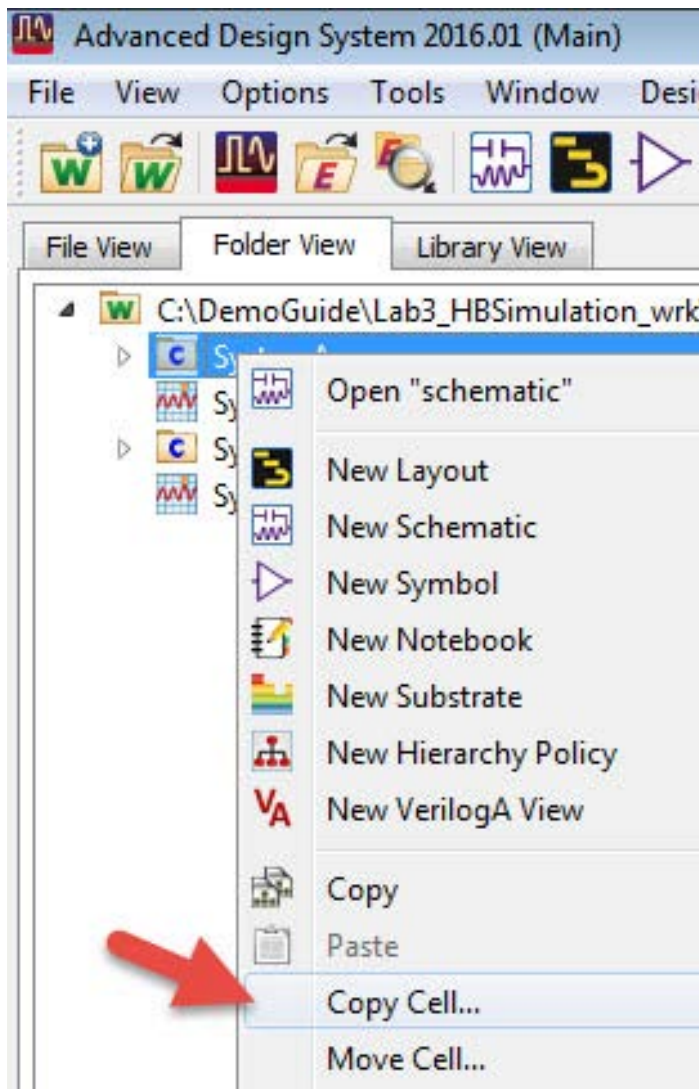


Рис. 36.

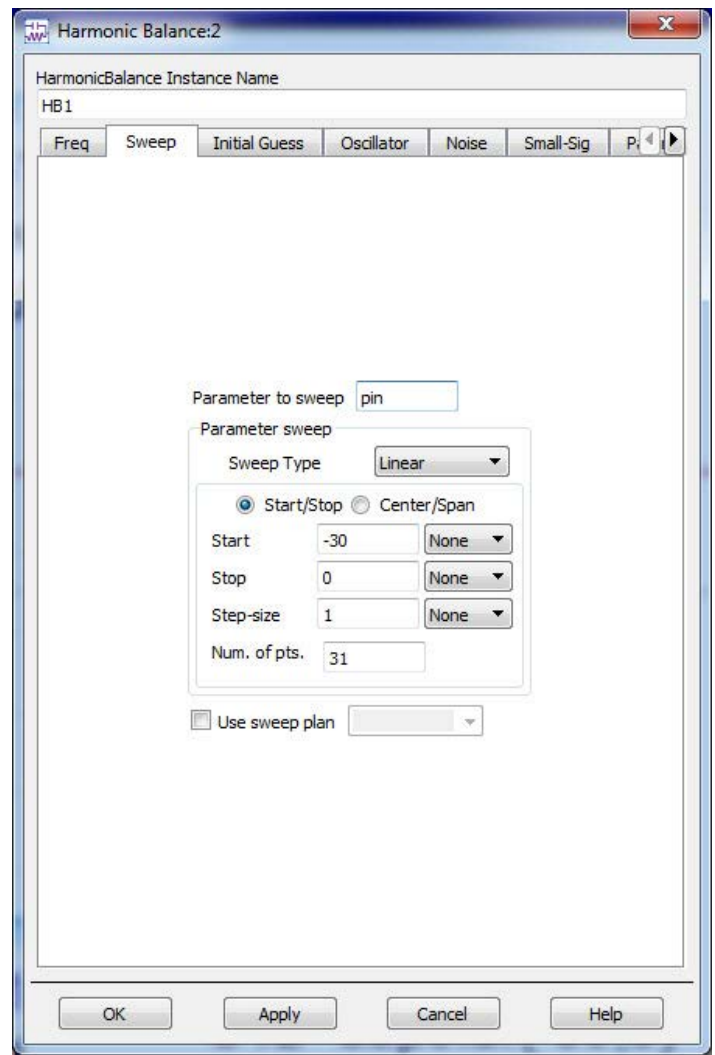


Рис. 37.

5. Запустите процесс симуляции, вставьте новый график в прямоугольной системе координат (Rectangular plot), выберите «vout» в качестве параметра для отображения на графике, выберите «Fundamental tone in dBm over all sweep values» (Основной тон в дБм по всему диапазону свипирования). Просмотрите изображение на дисплее данных (показано ниже):

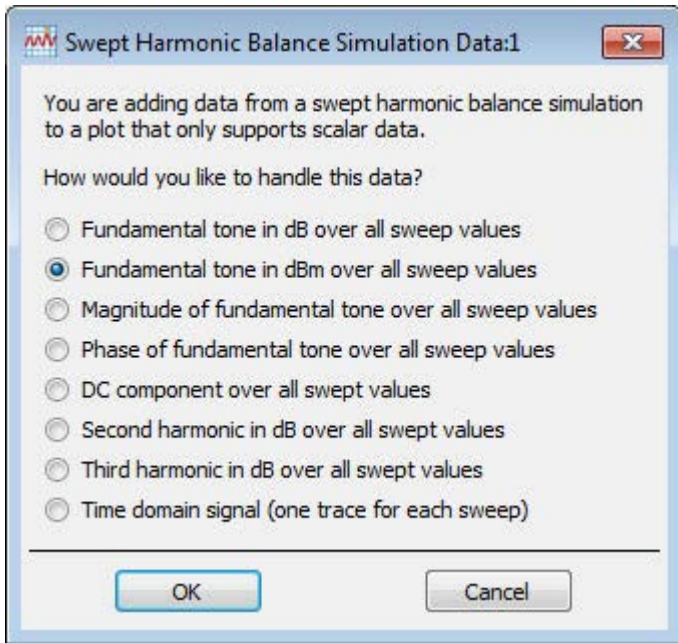


Рис. 38.

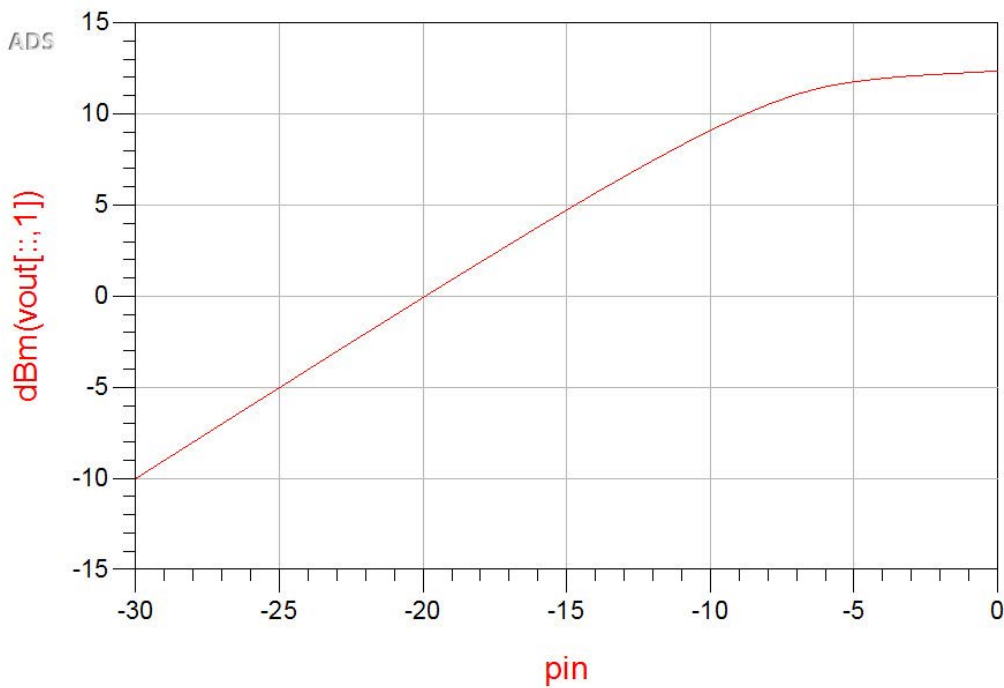

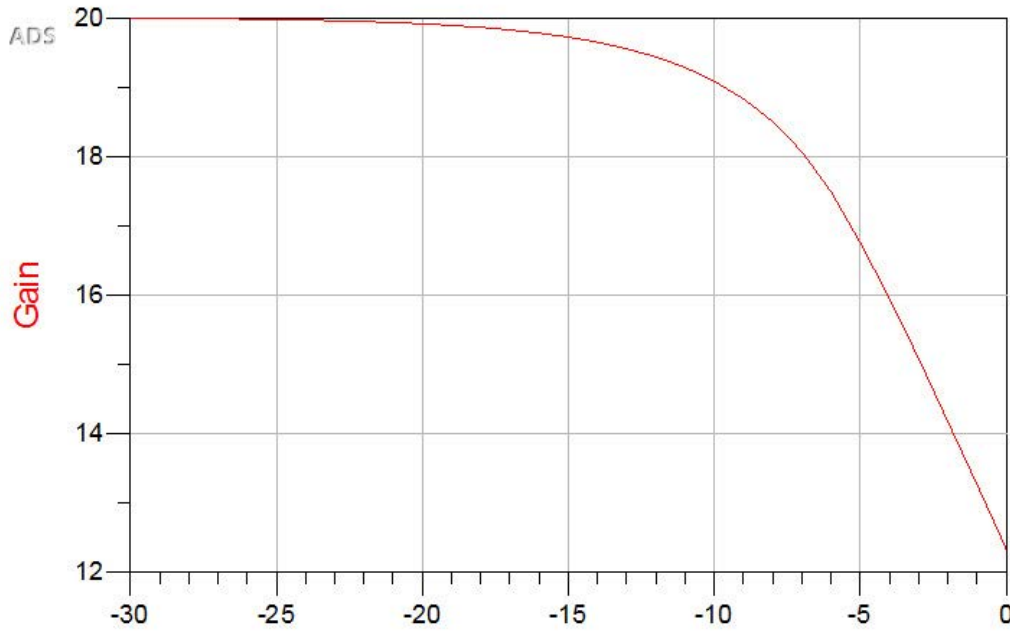


Рис. 39.

6. Вставьте **Eqn**  (Выражение) на дисплей данных и задайте выражение для расчета кривой усиления для усилителя:
 - $Gain = dBm(vout[:,1]) - pin$
 - Вставьте новый график в прямоугольной системе координат (Rectangular plot), нажмите мышью выпадающее меню Datasets and Equations (Наборы данных и выражения), выберите **Equations** (Выражения).
 - Выберите **Gain** (Усиление) (или любое имя, которое было задано в выражениях).
 - Нажмите мышью кнопку **OK** для построения характеристики усиления Gain, как показано ниже.



Eqn $Gain = dBm(vout[:,1]) - pin$

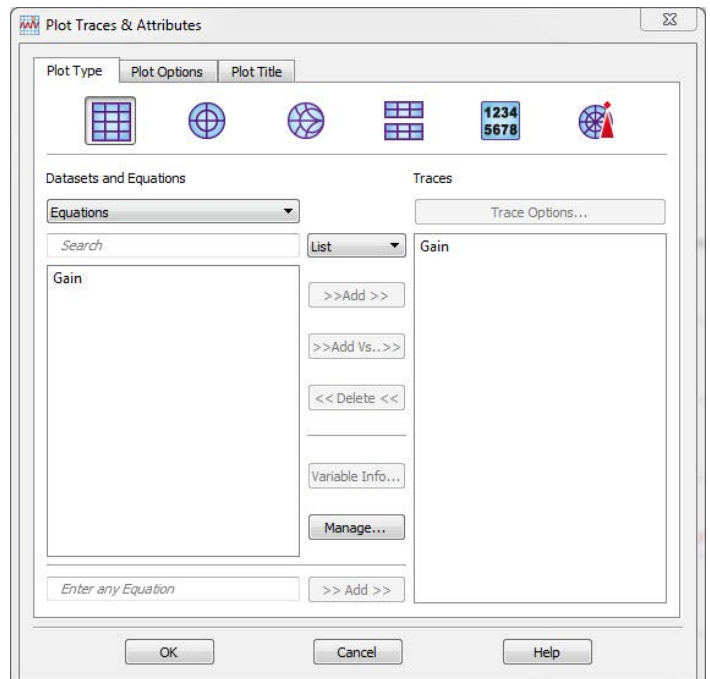
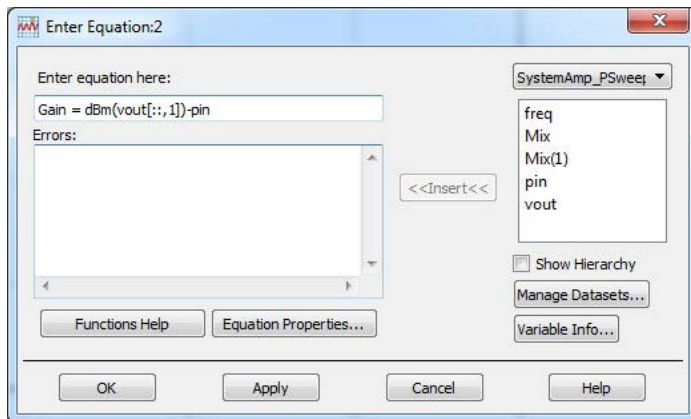


Рис. 40.

Примечания:

1. Уделите время рассмотрению значения $\text{dBm}(\text{vout}[:,1])$, отображаемому по оси Y. Доступный в качестве «vout» набор данных представляет собой двумерный массив, первым аргументом которого является свипируемая мощность (pin), а вторым – частотные тоны (5 гармоник согласно заданному в контроллере гармонического баланса HB, т.е. Order (Порядок) = 5).
2. Чтобы лучше уяснить для себя индексирование массива, два раза нажмите мышью на график, выберите «vout» и нажмите мышью кнопку **Variable Info** (Информация о переменной) для просмотра подробной информации по данным, доступным в узле «vout», как показано ниже:

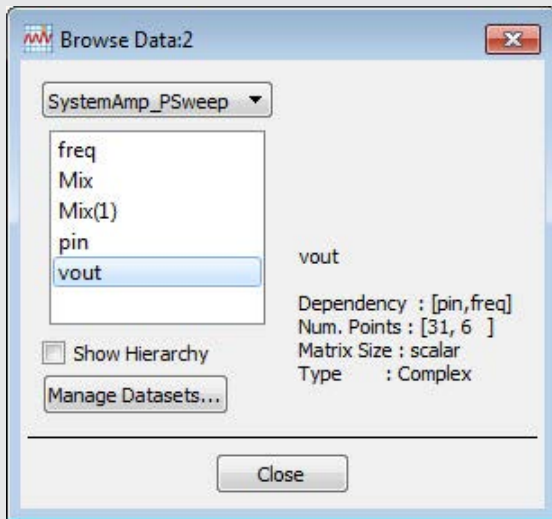


Рис. 41.

3. Добавьте «vout» на график, как мы уже делали ранее, и выберите ту же самую опцию добавления основного тона в дБм по всему диапазону свипирования (Fundamental tone in dBm over all sweep values)...
4. Теперь на графике должны отображаться две кривые. Нажмите мышью на обозначение оси Y одного из графиков, после чего появится возможность его редактирования. Замените обозначение на $\text{dBm}(\text{vout}[:,3])$, чтобы увидеть кривые основной частоты и одновременно с ней – третьей гармоники.
5. Чтобы просмотреть значения на кривых, поместите маркер линии (Line Marker). Отметьте крутизну графиков основной частоты и третьей гармоники (крутизна графика третьей гармоники в три раза больше, чем у основной частоты).

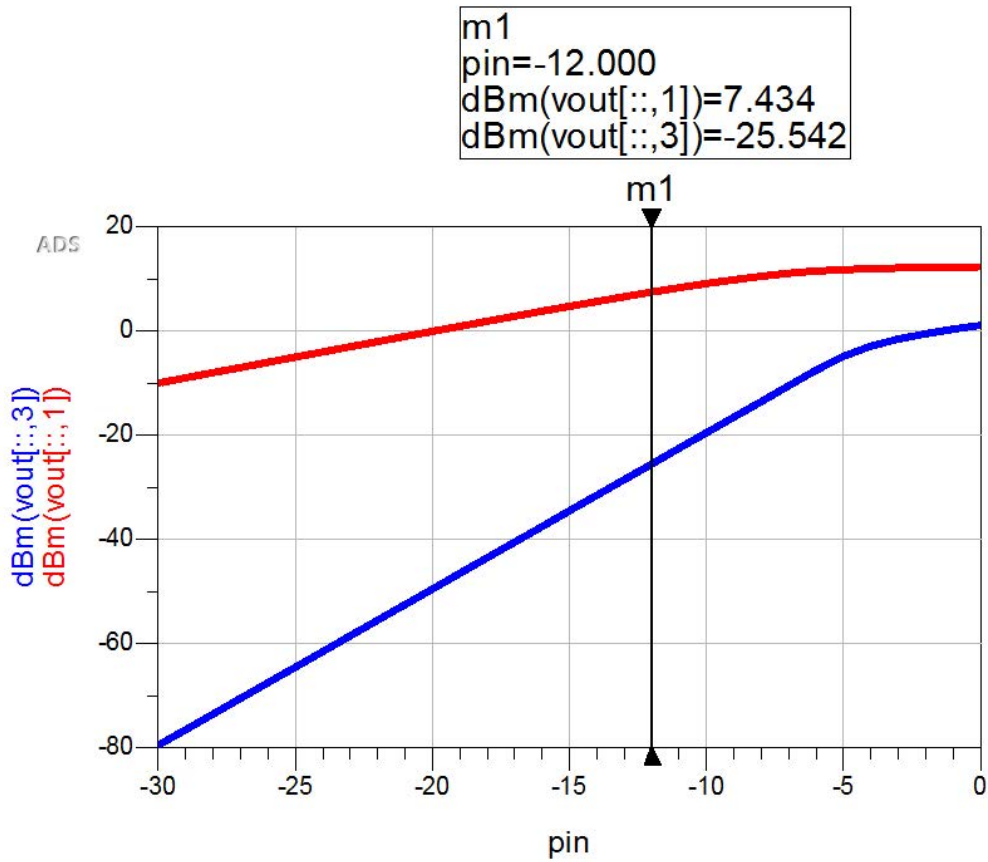


Рис. 42.

Поздравляем! Вы завершили раздел «Симуляция методом гармонического баланса». Дополнительные примеры вы найдете здесь: www.Keysight.com/find/eesof-ads-rfmw-examples

Download your next insight

Программное обеспечение компании Keysight является воплощением профессионального опыта и знаний ее сотрудников. Мы готовы обеспечить вас инструментами, которые помогут сократить сроки сбора первичных данных и принятия решения на всех этапах – от предварительного моделирования изделия до отгрузки готового продукта заказчику.

- Системы автоматизированного проектирования (САПР) радиоэлектронных устройств
- Прикладные программы
- Среды программирования
- Программные утилиты



Более подробная информация:

www.keysight.com/find/software

Бесплатная пробная лицензия на 30 дней:

www.keysight.com/find/free_trials

Российское отделение Keysight Technologies

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973954,
8 800 500 9286 (Звонок по России
бесплатный)

Факс: +7 (495) 7973902

e-mail: tmo_russia@keysight.com

www.keysight.ru

Сервисный Центр Keysight Technologies в России

115054, Москва, Космодамианская наб., 52, стр. 3

Тел.: +7 (495) 7973930

Факс: +7 (495) 7973901

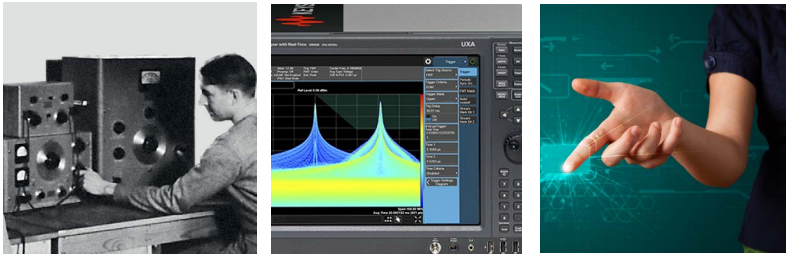
e-mail: tmo_russia@keysight.com

(BP-06-08-16)

Развитие

Уникальное сочетание передового контрольно-измерительного оборудования, программных решений и опыта наших сотрудников способствует рождению революционных технологий.

Мы разрабатываем измерительные технологии с 1939 года.



От Hewlett-Packard и Agilent к Keysight



myKeysight

myKeysight

www.keysight.com/find/mykeysight

Персонализированное представление наиболее важной для Вас информации



Unlocking Measurement Insights

Информация может быть изменена без уведомления.

© Keysight Technologies, 2016

Published in USA, June 9, 2016

5992-1453RURU

www.keysight.com