

Эффективная беспроводная связь: применение нелинейного анализа для снятия характеристик беспроводных устройств

Даррен МАККАРТИ
(Darren McCARTHY)
Уолли АРСЕНО
(Wally ARCENEAUX)

Важнейшим конструктивным параметром устройств беспроводной связи является их КПД, или эффективность. Применение активных устройств, работающих в нелинейном режиме, повышает эксплуатационный КПД таких изделий. Традиционные высокоэффективные методы снятия характеристик нелинейных устройств связаны с измерениями и моделированием.

Существующие средства измерений были дополнены специализированным прикладным программным обеспечением. Однако эти методы не всегда предусматривают полноценную интеграцию с системой частотно-зависимого изменения импеданса источника и нагрузки. В результате значения импеданса, при которых снимаются характеристики устройства и усилителей, могут отличаться от тех, которые имеют место в готовой конструкции, что затрудняет:

- трансформацию измеренного импеданса устройства в конструкцию усилителя мощности;
- достижение потенциально возможных характеристик.

Поэтому существует потребность в интегрированной измерительной системе, которая бы поддерживала снятие кривых тока и напряжения устройства с одновременным частотно-зависимым изменением импеданса источника и нагрузки в пределах всей диаграммы Смита. Для частотно-зависимого регулирования импеданса и активного изменения импеданса нагрузки необходимо компенсировать все потери между исследуемым устройством и источником или нагрузкой с переменным импедансом. Такая интегрированная система позволяет установить реальное и устойчивое соответствие между снятыми характеристиками нелинейного устройства и конструкцией усилителя мощности. Частотно-зависимое изменение импеданса источника и нагрузки позволяет генерировать радиочастотные сигналы, повышающие КПД устройства, а непосредственная трансформация измеренных значений импеданса в конструкцию устройства обеспечивает точное воспроизведение в ней полученных характе-

ристик. Возможен и обратный переход, поскольку система позволяет легко имитировать импеданс, существующий в схеме усилителя мощности, а по результирующим радиочастотным кривым напряжения и тока можно получить подробную информацию о том, насколько близок фактический КПД устройства к максимальному, и какое влияние на надежность устройства могут оказать соответствующие колебания напряжения и тока.

Схема активного изменения импеданса нагрузки с незамкнутым контуром

Новый подход к нелинейным измерениям воплощает в себе схема активного изменения импеданса нагрузки с незамкнутым контуром, изображенная на рис. 1. В ней для возбуждения входа или выхода исследуемого устройства (ИУ) применяется отдельный источник сигнала, за счет чего устраняются все неконтролируемые взаимодействия между

ИУ и системой изменения импеданса нагрузки. Архитектуру с незамкнутым контуром можно использовать даже для создания коэффициентов отражения, превышающих единицу. Это дает уникальную возможность исследовать взаимодействие между генератором возбуждения и основным каскадом усилителя мощности.

Система активного изменения импеданса нагрузки расположена дальше, чем система импеданса в реальной конструкции. Но это можно компенсировать, управляя фазой и магнитудой каждой частотной составляющей сигнала, вырабатываемого генератором сигналов произвольной формы (ГСПФ). Поскольку система активного изменения импеданса нагрузки расположена вне калиброванного тракта (состоящего из разветвителей и точек их подключения к запоминающему осциллографу), ее можно переконфигурировать без необходимости в повторной калибровке измерительной системы. В отсутствие сигнала на выходе ГСПФ архитектура с ак-

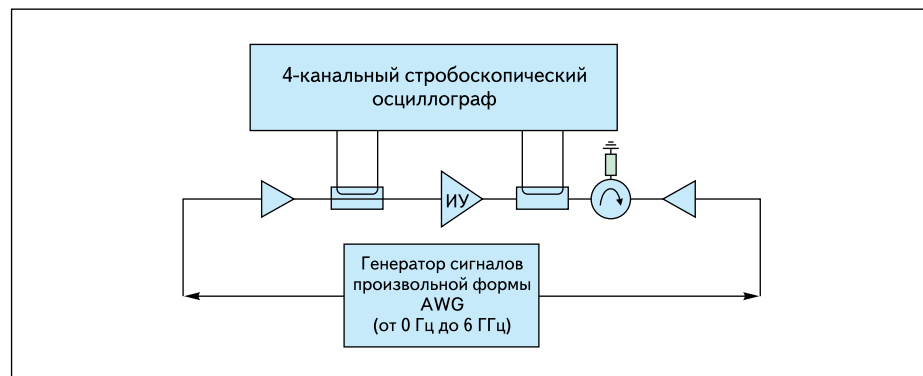


Рис. 1. Измерительная установка, выполненная по схеме активного изменения импеданса нагрузки с незамкнутым контуром

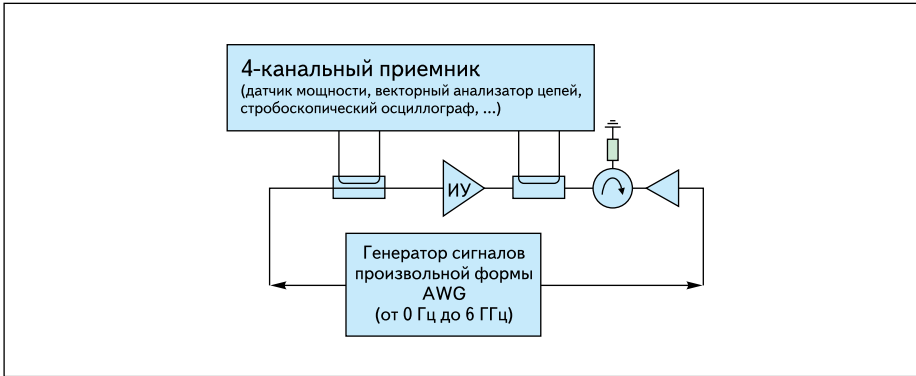


Рис. 2. Измерительная установка, выполненная по схеме активного изменения импеданса источника и нагрузки с незамкнутым контуром

тивным изменением импеданса источника и нагрузки представляет собой широкополосную цепь с импедансом 50 Ом. Меняется эта цепь только на частотах, содержащихся в сигнале ГСПФ. Следовательно, данная архитектура изменения импеданса нагрузки также устраняет артефакты, свойственные методу с пассивным тюнером.

Активная система изменения импеданса нагрузки имеет электронное управление, не содержит подвижных механических элементов и идеально подходит для выполнения измерений непосредственно на полупроводниковой пластине. При этом достигается максимальная надежность контакта со щупом, поскольку в процессе измерений с изменением импеданса отсутствуют механические вибрации.

ГСПФ может также вырабатывать импульсные сигналы и, таким образом, позволяет использовать архитектуру с незамкнутым контуром для импульсных измерений. Диапазон рабочих частот начинается с нуля, что делает возможным использование той же системы изменения импеданса нагрузки для регулирования импеданса в полосе частот модулирующего сигнала. Наконец, современные синтезаторы частоты способны вырабатывать сигналы от субгерцового до гигагерцового диапазона, позволяя использовать архитектуру с незамкнутым контуром на частотах модулирующего сигнала, основных частотах и высших гармониках. ГСПФ способны генерировать любой сигнал в полосе частот до 6 ГГц, что дает возможность управлять фазой и магнитудой всех частотных составляющих и, следовательно, охватить широкий диапазон основных и гармонических частот, используемых в системах беспроводной связи.

Схема с незамкнутым контуром имеет ряд мелких недостатков. Например, для получения желаемого коэффициента отражения необходим итеративный поиск надлежащего уровня мощности. Поскольку имеет место изменение импеданса на основной частоте, выполнять итерации в линейной области ИУ не нужно. Однако они необходимы в не-

линейной области ИУ при свипировании мощности или для учета нелинейной взаимосвязи между нагрузками на различных гармониках.

При снятии характеристик мощных устройств необходимы также дополнительные усилители мощности для компенсации разницы между характеристическим импедансом системы и оптимальной нагрузкой. Это относится только к основной частоте, так как на гармонических частотах необходимость в рассеянии мощности отсутствует.

Возможности средств нелинейных измерений следующего поколения

В условиях наличия спроса на более эффективные устройства беспроводной связи схема активного изменения импеданса нагрузки с незамкнутым контуром представляет собой многообещающий новый подход с уникальным набором преимуществ.

В принципе такой метод изменения импеданса нагрузки совместим с любым нелинейным приемником, способным регистрировать все 4 сигнальные кривые на входе

и выходе устройства. Привлекательным решением представляется сочетание архитектуры с незамкнутым контуром и серийно выпускаемых стробоскопических осциллографов, как показано на рис. 2.

Применение стробоскопических осциллографов обеспечивает возможность фазокогерентных широкополосных измерений. Преимуществом является когерентное выравнивание всех спектральных составляющих множества сигналов, которые измеряются одновременно. Стробоскопический осциллограф способен одновременно регистрировать до 8 сигналов, что позволяет производить измерения на устройствах с четырьмя несимметричными или двумя дифференциальными плечами. Вдобавок блок регистрации данных измеряет все представляющие интерес спектральные составляющие сигнала, включая основную частоту и ряд высших гармоник, а также характеристики на постоянном токе и в полосе частот модулирующего сигнала, что позволяет наблюдать часто встречающиеся в устройствах эффекты памяти. Результатом являются подлинные кривые напряжения и тока, представляющие реальные физические свойства устройства.

Конструирование сигнальных кривых

Следующий логический шаг — использовать приведенную схему экспериментальной установки для создания интегрированной системы, обеспечивающей формирование сигнала в сочетании с программным обеспечением для конструирования сигнальных кривых. В специальной литературе описаны теоретические кривые напряжения и тока для конкретных типов усилителей мощности — в частности, классов F и J. Под конструированием сигнальных кривых понимается оптимизация конструкции для реализации на практике этих теоретических сигнальных

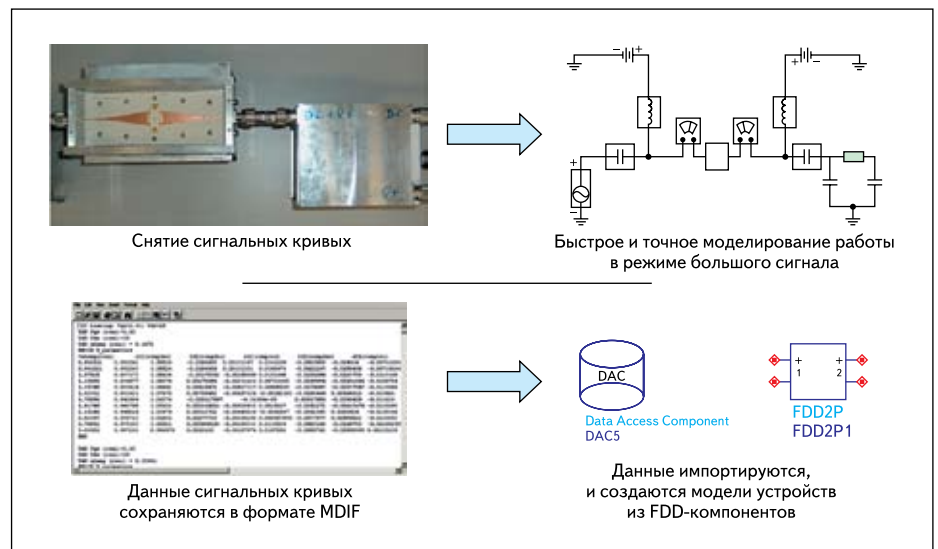


Рис. 3. Процесс экспорта сигнальных кривых в средства автоматизации проектирования электронных устройств

кривых. Полностью интегрированная система позволяет измерять нелинейные параметры с помощью истинных кривых тока и напряжения. Полученные в ходе измерения результаты дают возможность исследовать и разрабатывать эффективные режимы работы усилителей мощности [2] и проводить глубокий анализ эффектов памяти [3, 4]. Унифицированный характер данных тока и напряжения обеспечивает легкую взаимозаменяемость между измерениями и моделированием, что позволяет сократить время вывода продукта на рынок [6]. Этот процесс схематически показан на рис. 3.

Теперь пользователь может определить наилучшее представление данного устройства в системе моделирования — с помощью набора нелинейных измерений или нелинейной модели. Указанные возможности делают такой подход актуальным для полупроводниковой промышленности. Этот подход к измерениям представляет собой практическую реализацию системы моделирования на базе метода гармонического баланса или метода огибающей и обеспечивает возможность органичной интеграции с любыми программными средствами автоматизации проектирования нелинейных электронных устройств.

Выводы

Применение стробоскопического осциллографа и генератора сигналов произвольной формы представляет собой новую альтернати-

ву методам измерения с использованием векторных анализаторов цепей, которые предусматривают измерение только одной частотной составляющей за один прием. Данное решение в полной мере учитывает тот факт, что нелинейные устройства и системы вырабатывают сигналы с широким спектром на частотах модулирующего сигнала, основной частоте и гармониках, и обеспечивает возможность одновременного управления ими для получения наилучших характеристик в рамках заданной технологии. При использовании модульного подхода принимается в расчет все многообразие рынка, охватывающего устройства малой, средней и большой мощности, и предусматриваются решения, рассчитанные на диапазон мощностей от 20 до 150 Вт. Область применения данной технологии не ограничена методами «стимул – реакция» с непрерывным стимулом: ее можно также использовать для измерений с модулированным или импульсным стимулом при соответствующем программном обеспечении. Такой подход дает значительные преимущества в деле конструирования более эффективных устройств беспроводной связи. ■

Литература

1. www.janverspecht.com
2. Wright P., Sheikh A., Roff Ch., Tasker P.J., Benedikt J. Highly Efficient Operation Modes in GaN Power Transistors Delivering Upwards of 81% Efficiency and 12W Output Power // IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. Atlanta, Georgia, USA. June 15–20, 2008.
3. Alghanim A., Lees J., Williams T., Benedikt J., Tasker P. J. Reduction of Electrical Baseband Memory Effect in High-Power LDMOS Devices using Optimum Termination for IMD3 and IMD5 using Active Load-Pull // IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. Atlanta, Georgia, USA. June 15–20, 2008.
4. Lees J., Williams T., Woodington S., McGovern P., Cripps S., Benedikt J., Tasker P. Demystifying Device related Memory Effects using Waveform Engineering and Envelope Domain Analysis // 38th European Microwave Conference. Amsterdam, Netherlands. October 27–31, 2008.
5. Woodington S., Williams T., Qi H., Williams D., Pattison L., Patterson A., Lees J., Benedikt J., Tasker P. J. A Novel Measurement Based Method Enabling Rapid Extraction of a RF Waveform Look-up Table Based Behavioral Model // IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest. Atlanta, Georgia, USA. June 15–20, 2008.
6. Sheikh A., Lees J., Benedikt J., Tasker P. J. Utilization of a Measurement Based CAD Tool for Enhanced PA Design Investigations // 38th European Microwave Conference. Amsterdam, Netherlands. October 27–31, 2008.
7. Roff Ch., Benedikt J., Tasker P. J., Uren M., et al. Analysis of DC-RF Dispersion in AlGaN/GaN HFETs using RF Waveform Engineering // IEEE Transactions on Electron Devices. January 2009. Vol. 56, is. 1.