

# Проектирование, оптимизация и изготовление сверхширокополосного приёмника

Алессио Цациатори, Cover Sistemi Srl

В данной статье представлено описание процесса схемотехнического проектирования нового ВЧ-устройства и разработки топологии печатной платы для изготовления сверхширокополосного приёмника. Внимательное отношение к конструированию и к деталям разводки платы позволили создать прототип, соответствующий требованиям заказчика без необходимости его доработок.

Основная задача при проектировании состояла в разработке ВЧ-приёмника от антенны до цифрового интерфейса за один цикл разработки без последующих доработок. Успех при таком проектировании стал возможен благодаря применению специализированного пакета для проектирования ВЧ-систем – Microwave Office из среды разработки NI AWR Design Environment, а также использованию преимуществ единой платформы разработки.

В целом, на работы от начала проектирования до изготовления завершённого прототипа сверхширокополосного (СШП, англ. Ultra Wideband, UBW) ВЧ-приёмника с заданными параметрами (см. рис. 1) было затрачено семь месяцев.

Процесс проектирования был начат с оптимизации конструкции и произ-

водительности в укрупнённом виде, а затем выполнялось полное схемотехническое проектирование и проектирование топологии ВЧ-цепей и, в заключение, была проведена электромагнитная оптимизация конструкции. Была разработана топология печатной платы с шестислойной металлизацией.

Целевое значение чувствительности СШП-приёмника составляет  $-92$  dBm для импульсных сигналов с полосой более 1 ГГц.

## АНТЕННА

В данном СШП-приёмнике применена антенна, которая была спроектирована компанией Cover Sistemi Srl для сверхширокополосных радиолокационных устройств. В антенне применён нестандартный эллиптический излучатель с подвижным отражателем для

улучшения параметров по усилению. На рисунке 2 показана антенна, а на рисунке 3 – её диаграмма направленности. На рисунке 4 представлены данные по коэффициенту отражения по входу (S11) для всего заданного диапазона частот.

## АРХИТЕКТУРА ПРИЁМНИКА

Была выбрана архитектура с прямым IQ-преобразованием (I – синфазный, Q – квадратурный сигнал) при одновременном выделении анализируемого сигнала во всём диапазоне частот. В такой архитектуре были применены: антенна и входной полосно-пропускающий фильтр (ППФ), малошумящий усилитель (МШУ, англ. Low Noise Amplifiers, LNA), два смесителя, нагруженных на два квадратурных сигнала опорного генератора, фильтры НЧ-полосы частот модулирующих сигналов, усилители и квадратичные детекторы, и, наконец, выходные цепи для передачи сигналов на следующий каскад, а также блоки АЦП и цифровой обработки сигналов.

## Малошумящий усилитель

Проектирование МШУ, включая гальваническую развязку для подачи

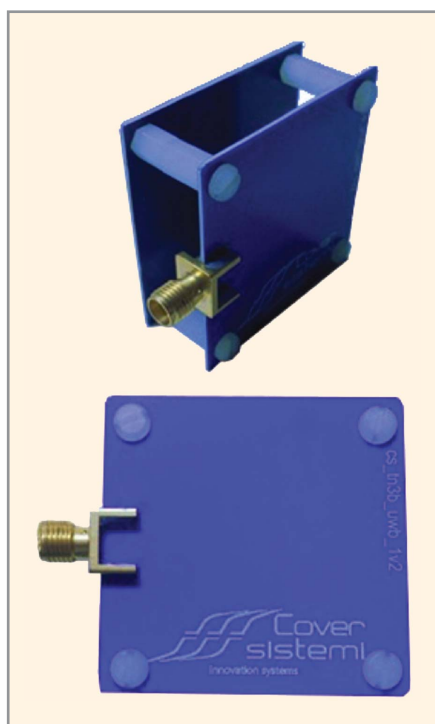


Рис. 1. СШП ВЧ-приёмник

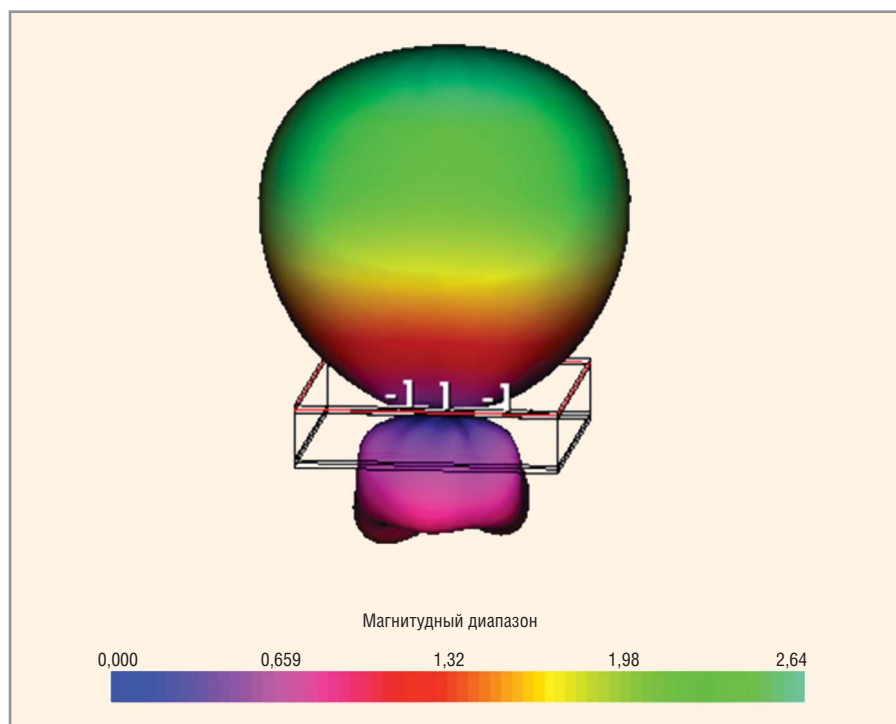


Рис. 2. СШП-антенна

# Среда проектирования NI AWR Design Environment Теперь доступна и Вам!



Реклама

Microwave Office | Visual System Simulator | Analog Office | AXIEM | Analyst

В среде проектирования V12 NI AWR Design Environment четко определен термин “user productivity” (производительность пользователя) для разработчиков MMIC, RF PCB - ВЧ печатных плат, модулей и т.д. В дополнение к особым характеристикам усилителя, радиолокатора и антенны, расширены возможности обработки задач с применением сторонних средств при электромагнитном моделировании (EM), анализе устойчивости, а также при проверке норм проектирования (DRC) / контроле

соответствия топологии разводки электрических схем (LVS). Также, данная программа позволяет повысить скорость расчетов и упрощает использование сторонних средств. Все это, как никогда ранее, облегчает процесс проектирования, улучшает качество конечного продукта, и ускоряет время вывода продукта на рынок. Попробуйте среду проектирования NI AWR Design Environment уже сегодня, открыв ссылку: [awrcorp.com/v12](http://awrcorp.com/v12).

>> Более подробно см. [awrcorp.com/ru](http://awrcorp.com/ru)

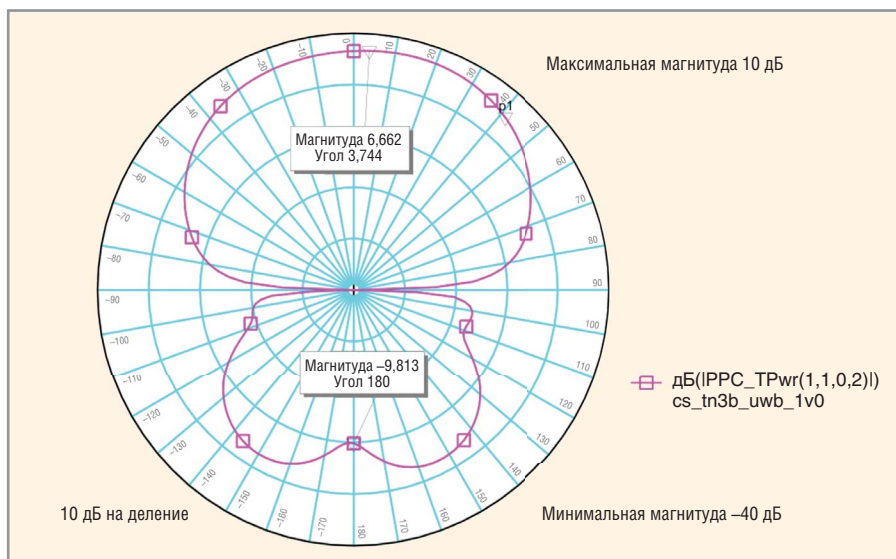


Рис. 3. Диаграмма направленности СШП-антенны

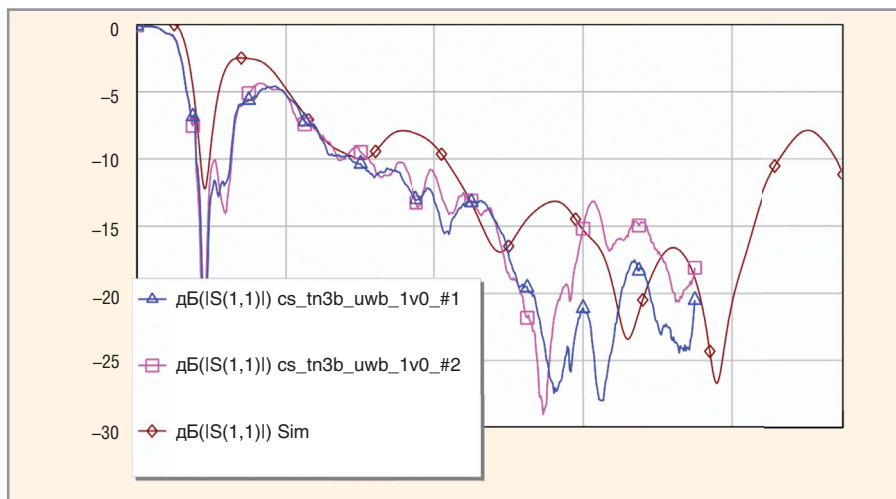


Рис. 4. График зависимости коэффициента отражения по входу (S11) для диапазона СШП-частот

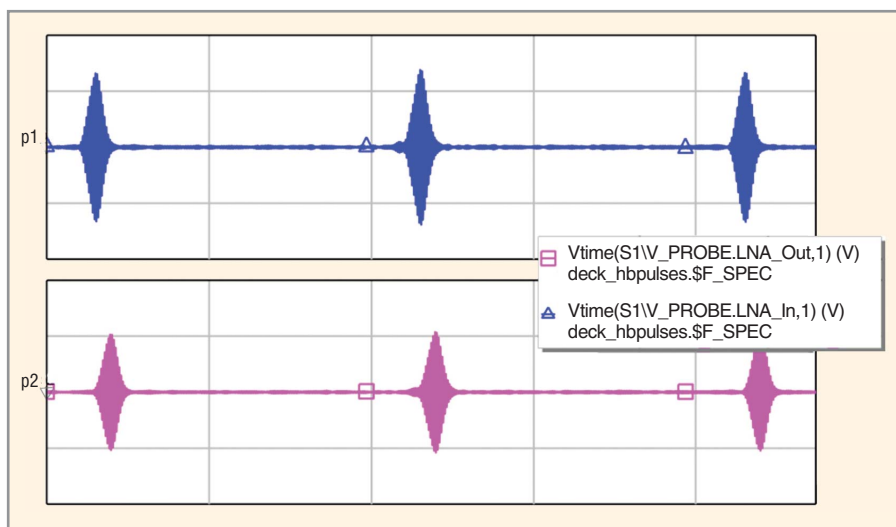


Рис. 5. Оценка параметров нелинейности МШУ при использовании реальных данных в качестве входного сигнала

питания постоянного тока на активные компоненты, было выполнено с применением симулятора в среде AXIEM для планарного 3D-электромагнитного анализа. Входной усилитель и ВЧ-фильтр были согласованно спроектированы для одновременного обеспечения характеристик по уровням подавления сигналов вне полосы, по усилению и шумам в пределах полосы. На рисунке 5 показаны параметрические характеристики при использова-

нии реальных данных в качестве входного сигнала.

нии реальных данных в качестве входного сигнала.

### СМЕСИТЕЛЬ

В каскаде IQ-преобразования с понижением частоты применён коммерческий широкополосный смеситель. Параметры были оптимизированы средствами распределённой фильтрации входного сигнала. Результаты электромагнитного моделирования в среде AXIEM для IQ-преобразователя с понижением частоты показаны на рисунке 6.

### КОМПЛЕКСНОЕ ПРОЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ

Вся цепочка обработки сигнала была смоделирована на уровне готовых топологических прототипов с использованием для каждого каскада его модели в среде AXIEM (использовалось иерархическое представление моделей). При моделировании применялись два различных диапазона частот (ВЧ/НПЧ) с использованием большого числа гармоник, достаточного по требованиям полосы СШП-сигнала. Для моделирования также применялся метод гармонического баланса (МГБ, англ. Multi-Rate Harmonic Balance, MRHB) при комплексном моделировании цепей приёмника вплоть до вывода на АЦП. Для МГБ-моделирования были импортированы реальные данные, полученные при измерениях передаваемого сигнала. На рисунке 7 представлены результаты оценки нелинейности отношений сигнал-шум (Signal-to-Noise Ratio, SNR) в зависимости от уровня входной мощности.

### ПРИЁМКА, ПЕРЕДАЧА ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ И ЭТАП ИЗГОТОВЛЕНИЯ

Базовая плата (с шестью слоями металлизации) была спроектирована с помощью приложения Microwave Office, что определило дальнейшее использование среды разработки NI AWR Design Environment.

Была применена следующая последовательность этапов подготовки производства:

- проверка норм проектирования (Design Rule Check, DRC) – необходима для контроля отсутствия нарушений требований поставщика печатных плат;
- LVS-контроль (Layout vs. Schematic) – контроль соответствия топологии разводки платы электрическим схемам;



- проверка данных по технологии производства/изготовления:
  - проверка Gerber-данных;
  - проверка контрольных данных на утверждённых заказчиком этапах производства;
  - проверка спецификации на материалы и комплектующие изделия (Bill of Materials, BOM);
  - проверка спецификации Pick & Place (автоматический монтаж компонентов).

Была рассмотрена возможность схематехнического и топологического проектирования с использованием САПР других производителей, но в этом случае увеличились бы затраты времени на проектирование, а также издержки на лицензионные затраты при отсутствии таких САПР в компании. Также существует риск возникновения ошибок в топологии при импорте и экспорте данных между различными средствами проектирования.

Проверка DRC – проверка норм проектирования была упрощена за счёт использования правил проектирования топологий, основанных на требованиях поставщика печатных плат:

- заданные минимальные размеры и зазоры между металлическими проводниками;
- заданные пропорции и площади покрытия;
- заданные минимальные маски припоя для выводов;
- заданные параметры припойной пасты.

LVS-контроль – гарантирует контроль проводимости цепей по каждому слою: выполняется проверка соединений между слоями через переходные металлизированные отверстия, а посредством контроля диаметра отверстия в паяльной маске проверяется правильность подсоединения электронных приборов на верхний и нижний слой платы.

Файлы программы производства – для производства печатной платы были сгенерированы Gerber-файлы и файлы для сверления отверстий.

Спецификации на материалы и комплектующие изделия для автоматического монтажа компонентов – для небольшой печатной платы с несколькими компонентами такую спецификацию можно составить вручную, но в данном проекте использовалось более 500 компонентов. При экспорте топологий в различные средства проектирования существу-

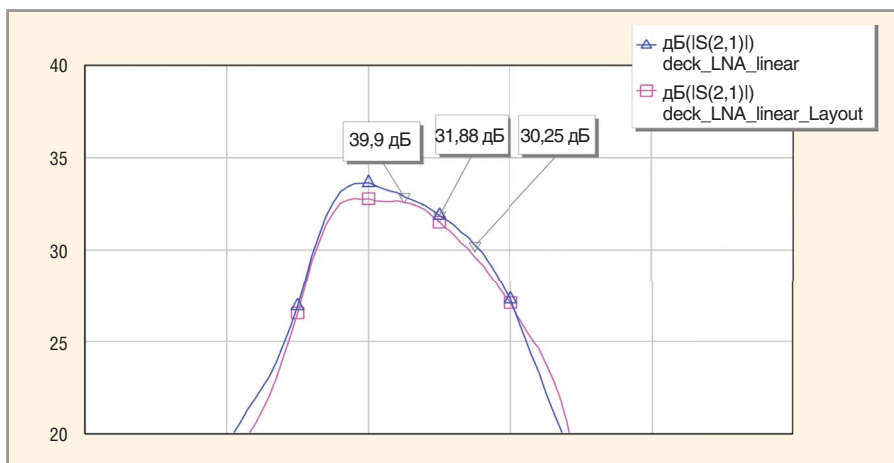


Рис. 6. Зависимость усиления сигнала от частоты при электромагнитном моделировании общей топологии в сравнении с данными схематехнического моделирования

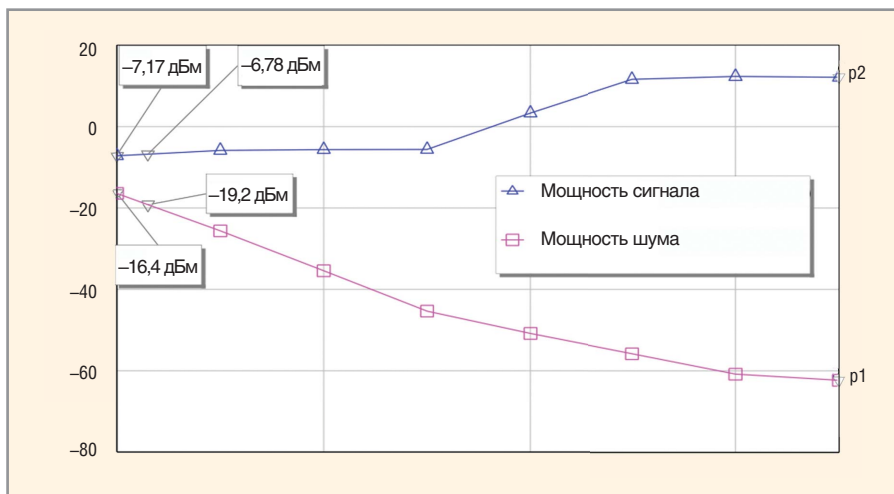


Рис. 7. Оценочные значения нелинейного отношения сигнал-шум в зависимости от входной мощности

ет риск появления ошибок из-за несовместимости файлов. Для исключения этого была разработана программа генерации спецификации материалов и комплектующих для автоматического монтажа компонентов. В файлы по автоматическому монтажу компонентов были включены следующие данные:

- RefDes (уникальный штриховой идентификатор прибора);
- идентификатор компонента (по данным библиотек AWR-среды проектирования) для заказа комплектующих;
- библиотека используемых компонентов;
- координата X, от начала системы координат платы;
- координата Y, от начала системы координат платы;
- угол поворота (в градусах);
- монтажный слой.

### Вывод

Полностью завершённый ВЧ СШП-приёмник, включая все элементы от антенны до входа в АЦП, проектиро-

вался на всех этапах только в среде разработки NI AWR Design Environment, включая схематехническое проектирование, разработку топологии, электромагнитное моделирование (средствами AXIEM), моделирование гармонического баланса, а также проектирование печатной платы. Средства генерации спецификации на материалы и комплектующие изделия, а также спецификации для автоматического монтажа не входили в состав среды NI AWR Design Environment, поэтому была выполнена их заказная разработка с использованием инструментов создания сценариев в среде Microwave Office. Несмотря на сложность подобной разработки, это позволило проектировать изделие в рамках единой среды разработки. Использование единой среды для всего процесса создания устройства в сочетании с внимательным отношением к конструированию устройства и к деталям разводки платы позволили успешно создать прототип приёмника без необходимости его дальнейших доработок.