

АЛГОРИТМЫ СИНТЕЗА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОГЛАСУЮЩИХ ЦЕПЕЙ В NI AWR DESIGN ENVIRONMENT

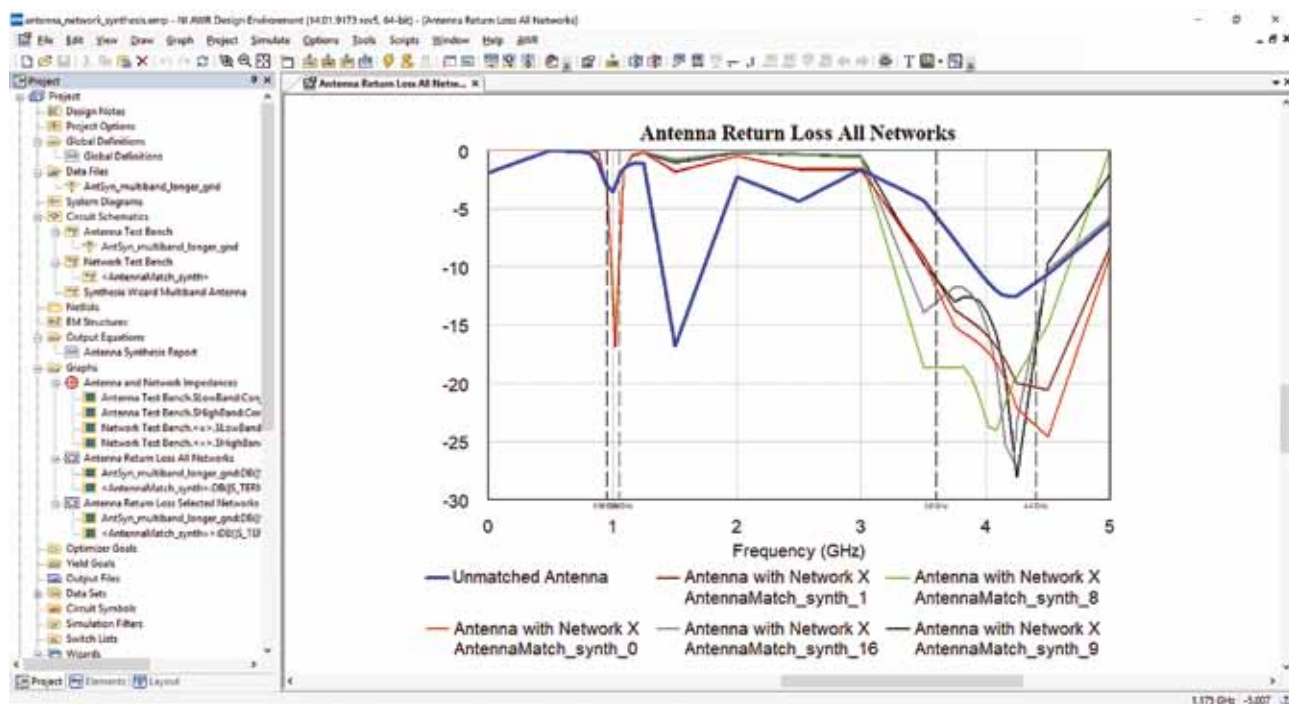
Современные САПР должны обеспечивать интуитивный ввод данных (в том числе и на основе схем), нелинейное моделирование, возможность отображения результатов, генерацию топологии на основе созданных схем и поддержку электромагнитного (ЭМ) анализа для моделирования и верификации топологии. NI AWR Design Environment является примером такой САПР. Также в статье будет описан новый мастер-модуль программного пакета NI AWR Design Environment, позволяющий синтезировать цепи согласования импеданса.

ВВЕДЕНИЕ

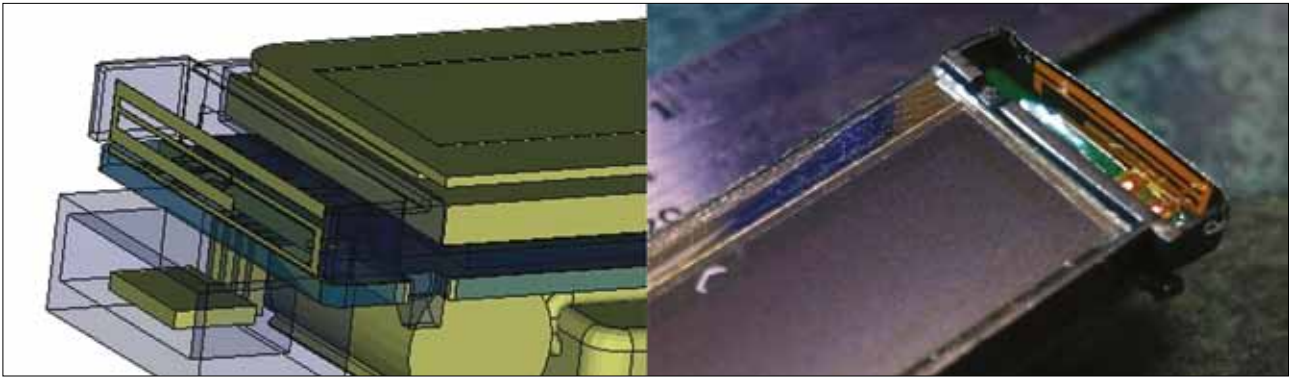
Сокращение времени разработки современных устройств и систем требует наличия программных инструментов, автоматизирующих и упрощающих все этапы проектирования — от генерации начального эскиза на основе технического задания и спецификаций до оптимизации параметров, создания топологии и итоговой верификации перед передачей в производство и тестированием первых прототипов. Современные САПР должны обеспечивать интуитивный ввод

данных (в том числе и на основе схем), нелинейное моделирование, возможность отображения результатов, генерацию топологии на основе созданных схем и поддержку электромагнитного (ЭМ) анализа для моделирования и верификации топологии. Алгоритмы синтеза должны упрощать описанный процесс проектирования благодаря использованию данных, имеющихся или легко получаемых в рамках рабочего проекта, и генерации согласующих цепей в виде схем, готовых для дальнейшего анализа.

NI AWR Design Environment является примером такой САПР: уникальная единая модель данных проекта и доступность всех схем, документов и симуляторов в едином окне позволяет добиться беспрецедентной интеграции и оптимизации времени, требуемого для получения готового к производству проекта на основе имеющегося технического задания. Помимо этого, в статье будет описан новый мастер-модуль программного пакета NI AWR Design Environment, позволяющий синтезировать цепи согласо-



▲ Рис. 1. Задачи синтеза могут решаться в нескольких частотных диапазонах



▲ **Рис. 2.** Пример встроенных антенн для носимых устройств «интернета вещей» (изображение предоставлено компанией Striiv)

вания импеданса, находящих применение во многих областях проектирования высокочастотных устройств.

МАСТЕР СИНТЕЗА СОГЛАСУЮЩИХ ЦЕПЕЙ

В версии 14 представлены новые мастера (визарды) для автоматизации часто используемых разработчиками процессов, одним из которых является мастер синтеза согласующих цепей (рис. 1). Он позволяет инженерам провести наиболее полный анализ всех доступных конфигураций цепей согласования путем создания оптимизированных двухпортовых схем из дискретных и распределенных элементов на основе заданных пользователем входных данных и целевых функций оптимизации. Синтез значительно упрощает поиск подходящих структурных решений, удовлетворяющих различным требованиям по характеристикам проектируемого устройства, размерам, примененным в составе схемы компонентам и т.д.

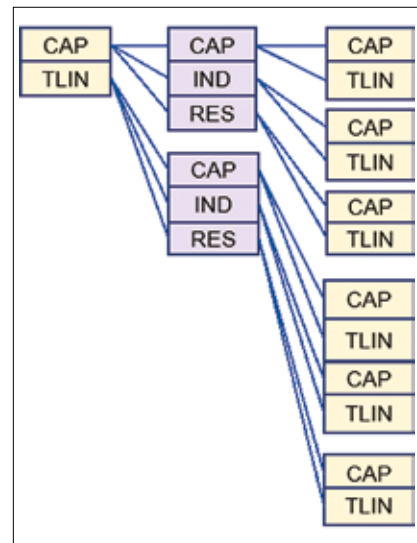
Проектирование согласующей цепи для усилителя или антенны на одной частоте — задача достаточно тривиальная. Однако с ростом сложности проекта, будь то широкополосные одно- и многокаскадные усилители или многодиапазонные антенны, усложняется и задача поиска оптимального согласования. Да и требования новых стандартов (в частности, для решений «Интернета вещей», рис. 2) ведут к необходимости создания компактных устройств и компонентов. Благодаря мастеру синтеза становится возможным автоматизированное формирование схем, напрямую согласующих импедансы различных компонентов, что позволяет сэкономить пространство платы или устройства по сравнению со стандартным методом согласования к характеристическому импедансу (например, 50 Ом).

Более того, согласование может производиться по коэффициенту шума, уровню мощности, а также между каскадами усилителей. Оптимальные значения коэффициентов отражения

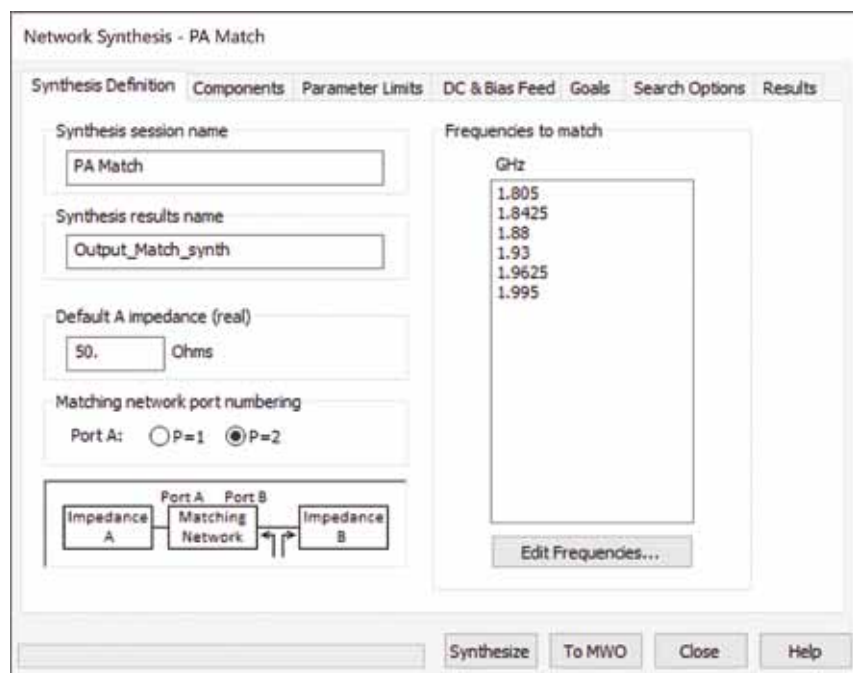
задаются в нужных частотных диапазонах и могут быть получены из данных load-pull, файлов S-параметров или напрямую из данных схемы в Microwave Office. На основе вводимых спецификаций, включающих типы последовательных и параллельных компонентов, их количество и ограничения по значениям параметров компонентов, алгоритмы синтеза рассматривают множество различных конфигураций схемы и выдают оптимизированные варианты конструкций согласующих цепей.

ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ

Создание нового мастера синтеза цепей согласования стало возможным благодаря увеличению расчетных мощностей современных компьютеров и появлению эволюционных алгоритмов оптимизации, зарекомендовавших себя в решении различных задач моделирования высокочастотных цепей. Новая технология уже была применена в программном обеспечении NI AWR — а именно в модуле синтеза и оптимизации



▲ **Рис. 3.** Алгоритмы поиска решения последовательно рассматривают различные комбинации компонентов до достижения заданного пользователем максимального количества секций антенн AntSyn™. Алгоритмы оптимизации основаны на рекомбинации и выборе точек из случайного распре-



▲ **Рис. 4.** На вкладках мастера синтеза цепей согласования задаются параметры, ограничивающие область поиска возможных решений

ления возможных значений параметров во всей области поиска решения, что обеспечивает повышенную эффективность и скорость получения оптимального решения.

В основе поискового алгоритма синтеза различных конструкций цепей согласования лежит ввод данных о типах компонентов, которые можно использовать в последовательном и параллельном подключении: конденсаторы, катушки индуктивности или линии передачи. С помощью этих данных мастер синтеза проводит обширный поиск всех возможных решений, расширяя его по мере добавления новых элементов до достижения максимального количества сек-

ций, заданного пользователем (рис. 3). Эвристические самообучающиеся методы позволяют определить правила добавления новых элементов: например, мастер понимает, что расположение двух конденсаторов подряд не имеет смысла с точки зрения решения задачи согласования, в то время как две линии передачи применимы для ступенчатого преобразования импеданса или в составе чисто распределенных конструкций.

Целевые функции оптимизации задаются в интерфейсе мастера при помощи предустановленного набора измерений, однако сам процесс мало чем отличается от стандартного для Microwave Office. Специализированные измерения

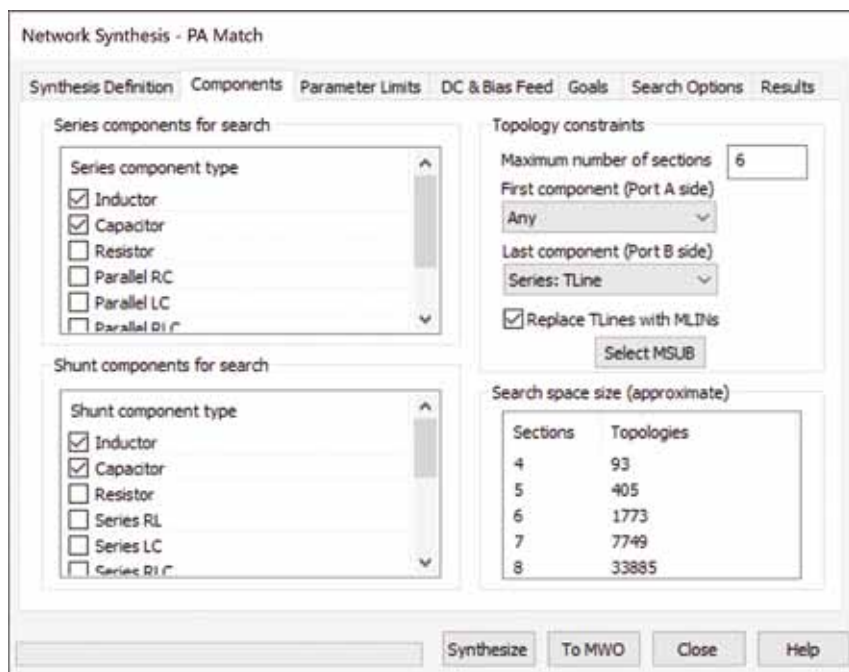
существуют для согласования по уровню шума, выходной мощности усилителя или межкаскадного согласования. Оптимальные значения коэффициента отражения устанавливаются в зависимости от частоты и могут вводиться в формате данных load-pull, файлов S-параметров или схем Microwave Office.

Мастер позволяет учесть и иные факторы в процессе синтеза — в частности, можно задать DC-параметры схемы, ограничения на значения параметров компонентов (включая возможность задать номинальные ряды), а также указать, какие элементы должны быть первыми или последними в схеме. Это может быть полезно в том случае, если нужно убедиться в реализуемости топологии синтезируемой схемы, в частности, если необходима широкая линия передачи для соединения с широким затвором транзистора. Помимо этого, можно учесть влияние цепей питания. В результате мастер получает набор возможных решений, сортируя их от лучших к худшим на каждом шаге поиска.

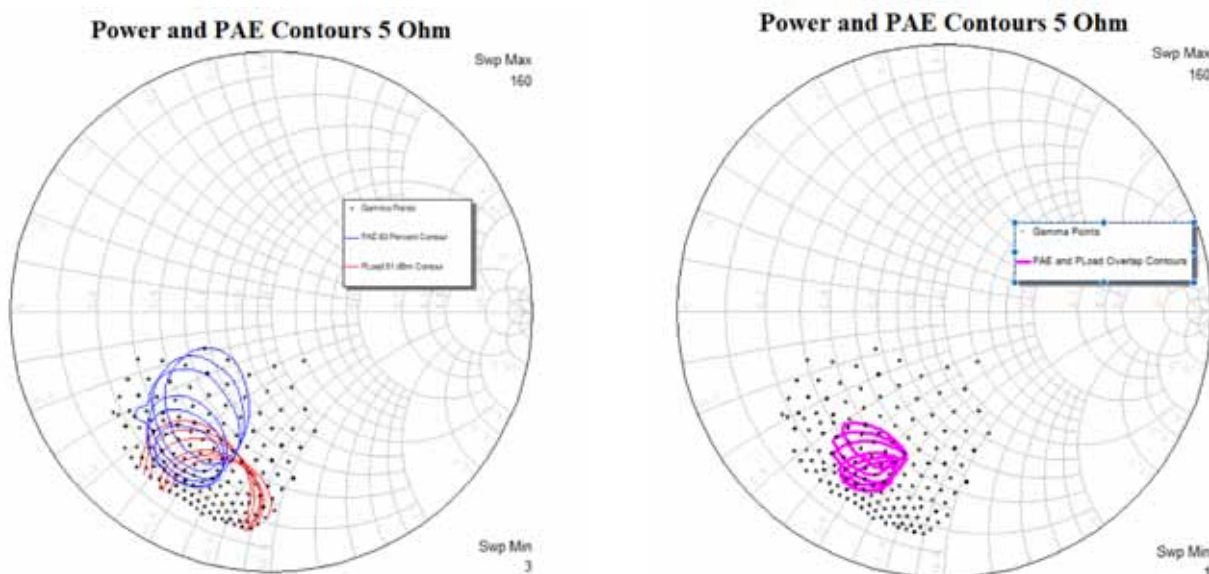
ИНТЕРАКТИВНЫЙ ИНТЕРФЕЙС

Интерфейс мастера представляет собой набор вкладок, на каждой из которых задаются определенные параметры поиска решения (рис. 4). К примеру, на вкладке Synthesis Definition указывается расположение согласующей цепи, нумерация портов и характеристический импеданс, а также устанавливаются частотные диапазоны согласования.

На вкладке Components выбираются типы компонентов, которые могут использоваться последовательно и параллельно, вводятся ограничения на первый и последний элементы, а также задается



▲ Рис. 5. Оценка количества рассматриваемых комбинаций позволяет интерактивно оценивать сложность решаемой задачи согласования



▲ Рис. 6. Контуры данных load-pull для выходной мощности и КПД (а) и области пересечения этих контуров (б) как опорные данные для мастера синтеза согласующих цепей

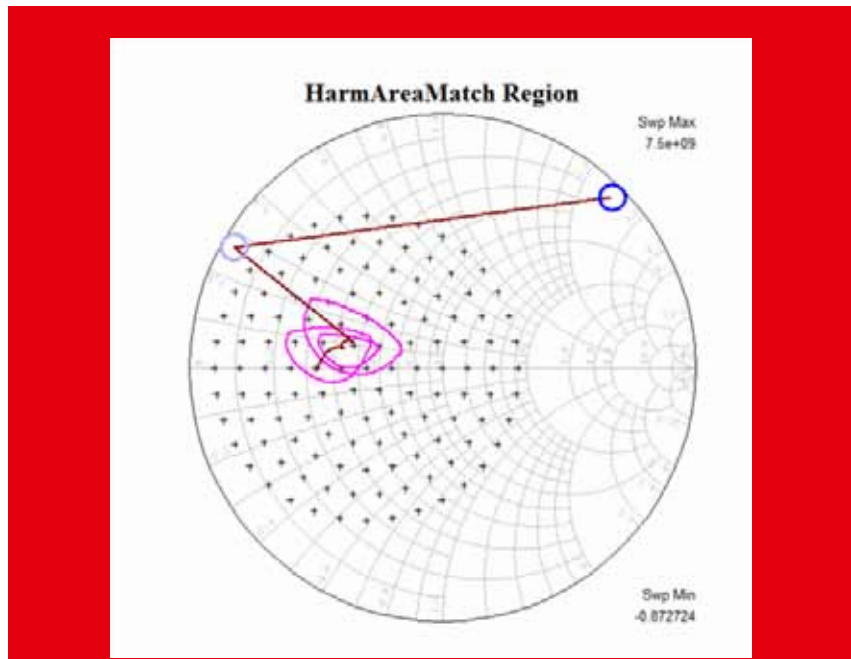
максимальное число секций. В этом же окне указывается оценка размера области поиска решений при текущих заданных параметрах, то есть количество комбинаций элементов, которое будет рассмотрено в процессе синтеза (рис. 5). На этой же вкладке можно указать блок параметров подложки MSUB, чтобы использовать модели микрополосковых линий вместо идеальных моделей TLIN.

ПРИМЕР: LOAD-PULL

Мастер синтеза способен работать напрямую с данными load-pull в Microwave Office. Рассмотрим пример, приведенный на рис. 6а, где на диаграмме Смита (5 Ом) построены контуры КПД добавленной мощности (PAE) в 63% и выходной мощности в 51 дБм (~125 Вт) в диапазоне 1,8–2,0 ГГц; те же данные можно представить и в виде контура пересечения этих значений (рис. 6б).

Вместо того чтобы задавать значения импедансов вручную, мастер предоставляет возможность указать файл данных load-pull в качестве источника всех необходимых значений. На вкладке Goals пользователь просто задает целевые функции оптимизации в виде значения КПД в 63% и выходной мощности 51 дБм. Очевидно, такой подход является более интуитивным и понятным по сравнению с ручным вводом целей для каждой точки частотного диапазона. Следует отметить, что мастер поддерживает синтез согласования в нескольких частотных диапазонах, а сам процесс настройки параметров оптимизации не отличается от стандартного для Microwave Office и позволяет задавать вес и наклон целевых функций.

Помимо целей оптимизации, основанных на данных load-pull, можно добавлять и другие. На рис. 7 показаны контуры пересечения КПД и выходной мощности при разных частотах и параметры синтезированной согласующей цепи для заданной частотной полосы. Пользователь



▲ Рис. 7. Мастер может синтезировать согласующие цепи, учитывающие контуры пересечения КПД и выходной мощности на трех основных частотах и заданные пользователем дополнительные цели для второй и третьей гармоник

может добавить цели для согласования на гармониках для увеличения КПД и линейности усилителя. Расширение частотного диапазона моделирования показывает, что мастер синтеза создал цепь, обеспечивающую требуемый импеданс как на основной частоте, так и на второй и третьей гармониках.

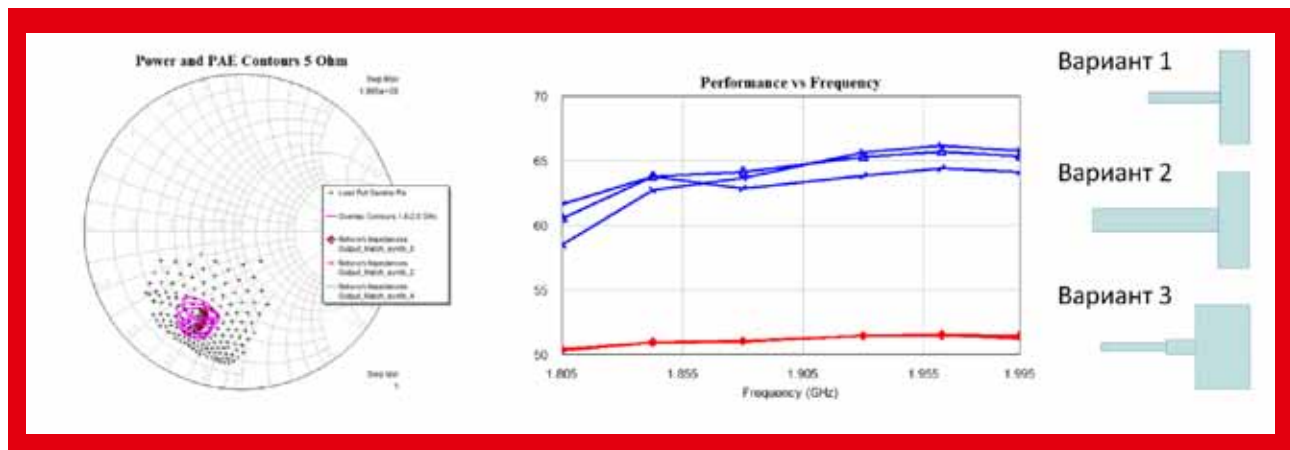
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По окончании процесса синтеза мастер предлагает пользователю набор различных вариантов конструкции согласующей цепи. В интерфейсе мастера их можно отсортировать по количеству используемых компонентов, степени отклонения от требуемых характеристик и по параметру чувствительности к технологическим допускам компонентов. Выбрав желаемые конструкции и отправив их для дальнейшего анализа в Microwave Office, пользователь может

наглядно сравнить их и выбрать оптимальный вариант конструкции (рис. 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С целью дальнейшей автоматизации процессов проектирования в NI AWR Design Environment версии 14 был представлен новый мастер синтеза согласующих цепей, способный на основе задаваемых пользователем характеристик синтезировать несколько конструкций согласующей цепи с учетом ряда указанных ограничений. Поисковые эвристические алгоритмы на основе методов эволюционной оптимизации позволяют рассматривать сотни и тысячи различных комбинаций компонентов для поиска оптимального решения. Чтобы узнать больше о новом мастере синтеза согласующих цепей и других нововведениях NI AWR Design Environment версии 14, посетите вебсайт: <http://awrcorp.com/whats-new>.



▲ Рис. 8. Предлагаемые варианты конструкций согласующей цепи и соответствующие им характеристики на графиках позволяют наглядно оценить результаты и выбрать наиболее подходящее решение