

Новый инструмент для синтеза рупорных антенн

В 2008 году компания Mician совместно с корпорацией MDA (MacDonald, Dettwiler and Associates Corp.) по заказу Европейского космического центра исследований и технологий (ESA/ESTEC) выполнила разработку специального программного обеспечения, предназначенного для синтеза рупорных антенн различного типа. Несмотря на то, что коммерческая версия этого продукта в настоящий момент недоступна, информация о нем может быть интересна широкому кругу специалистов.

Юрий Потопов

potapoff@eurointech.ru

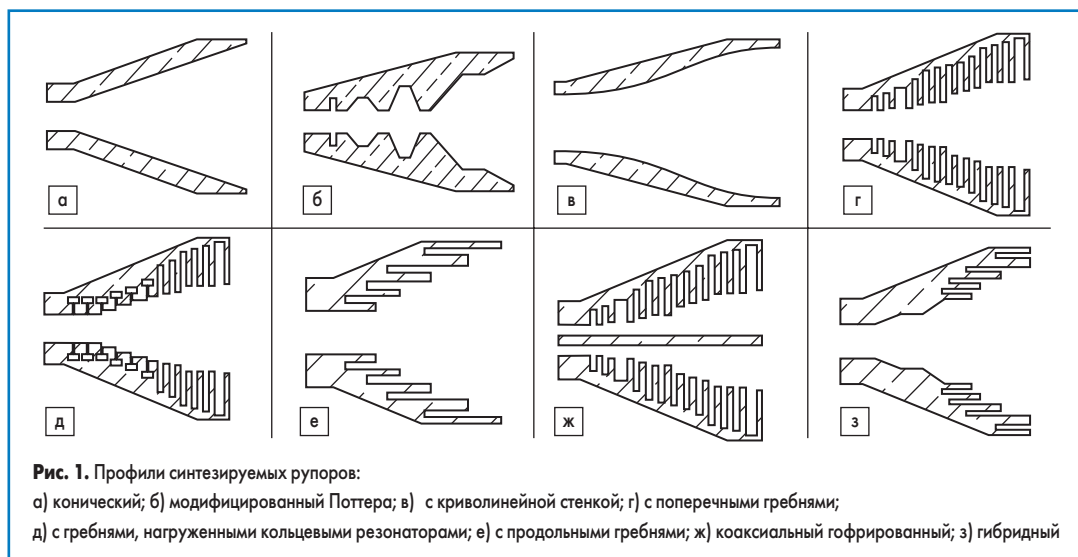
Рупорные гибридные излучатели с высоким коэффициентом использования апертуры и низким уровнем кросс-поляризации обычно используются в широкополосных или многолучевых антеннах современных телекоммуникационных систем. Такие приложения обычно требуют тщательного анализа и оптимизации параметров антенны для основного и высших типов волн. Несмотря на то, что существует много различных инструментов анализа для расчета рупорных антенн, синтез и оптимизация широкополосных высоконаправленных рупоров с малым уровнем паразитной поляризации все еще представляют собой сложную задачу. Чтобы упростить и ускорить проектирование подобных антенн, компания Mician разработала новый модуль синтеза многомодовых и следящих рупоров, который поддерживает профили различного типа, такие как обычные гофрированные рупоры, рупоры с криволинейными стенками и рупоры Поттера.

Новый модуль синтеза использует так называемые BOR-элементы (элементы на основе тел вращения), которые наилучшим образом соответствуют специфическим проектам рупорных антенн для круглых и коаксиальных волноводов. Модуль может исполь-

зоваться в качестве автономной программы или может быть встроен в пакет μ Wave Wizard посредством COM-интерфейса (Component Object Model), позволяющего расширять функциональность программного обеспечения. Главное окно модуля синтеза используется для задания основных параметров и выбора профиля. После выбора профиля задание параметров его геометрии осуществляется в соответствующем окне.

Модуль позволяет задавать геометрию следующих видов рупорных антенн:

- конических и двухмодовых рупоров (рупоров Поттера);
- модифицированных рупоров Поттера;
- рупоров со стенкой криволинейного профиля;
- гофрированных рупоров с гребнями, расположенными поперек оси антенны;
- гофрированных рупоров с гребнями, нагруженными кольцевыми резонаторами;
- гофрированных рупоров с продольными гребнями;
- гофрированных рупоров на базе коаксиального волновода;
- гофрированных рупоров гибридного типа с поперечными или продольными гребнями.



На рис. 1 показаны примеры профилей указанных типов рупорных антенн.

Для библиотеки излучающих элементов пакета μ Wave Wizard был разработан набор новых элементов, использующих симметрию тел вращения в круглых волноводных рупорных излучателях. Эти элементы хорошо подходят для использования в профилях различного типа, например, модифицированном рупоре Поттера, гофрированном или нагруженном рупоре.

Такой подход значительно упрощает описание геометрии конструкции по сравнению с использованным ранее методом, когда систему надо было разбивать на множество мелких круглых волноводов со ступенчатыми переходами и описывать их вручную. Сейчас пользователю достаточно задать основные параметры профиля, разбиение программа выполняет автоматически.

Несмотря на то, что новый набор BOR-элементов рассчитывается с использованием метода сшивания полей (MM, Mode-Matching), его применение ускоряет вычисления для одновременного анализа возбуждения основной и высших типов волн посредством разбиения наборов мод на несвязанные продольные моды.

Кроме того, в этих элементах реализованы новые способы расчета и вывода данных. В отличие от других элементов, где электромагнитное поле рассчитывается только в одной заданной позиции (например, ирисовая диафрагма) при одном способе возбуждения (амплитуда/фаза), поле внутри BOR-элементов учитывает всю структуру и рассчитывает максимум для всех случайных фазовых набегов. Зависимости рассчитанного максимума поля от частоты или от координаты на оси рупора могут быть просмотрены с помощью средств визуализации, входящих в состав пакета μ Wave Wizard.

Программное обеспечение способно рассчитывать следующие электрические параметры:

- возвратные потери по входу антенны для основной волны, а также волн высшего порядка (TM_{mn} и TE_{mn});
- диаграммы направленности в плоскостях основной и паразитной поляризации для основной волны и высших типов волн на заданном расстоянии от излучающей апертуры;
- параметры распространения сферической волны, которые могут быть записаны во внешний файл либо во внутреннем формате программы μ Wave Wizard или формате TICRA Grasp;
- координаты фазового центра антенны, коэффициент использования апертуры, ширину главного лепестка диаграммы направленности в плоскости основной поляризации по уровню 3 и 10 дБ;
- электромагнитные поля и апертурное распределение поля вдоль оси рупора;
- зависимость максимума напряженности поля от частоты;
- омические потери.

Типичный вид окна модуля синтеза рупорных антенн показан на рис. 2. Вначале пользователь задает основные параметры проекта, такие как частотный диапазон и вид поляризации. Далее, на основе указанных пользователем параметров (например, полоса и уровень кросс-

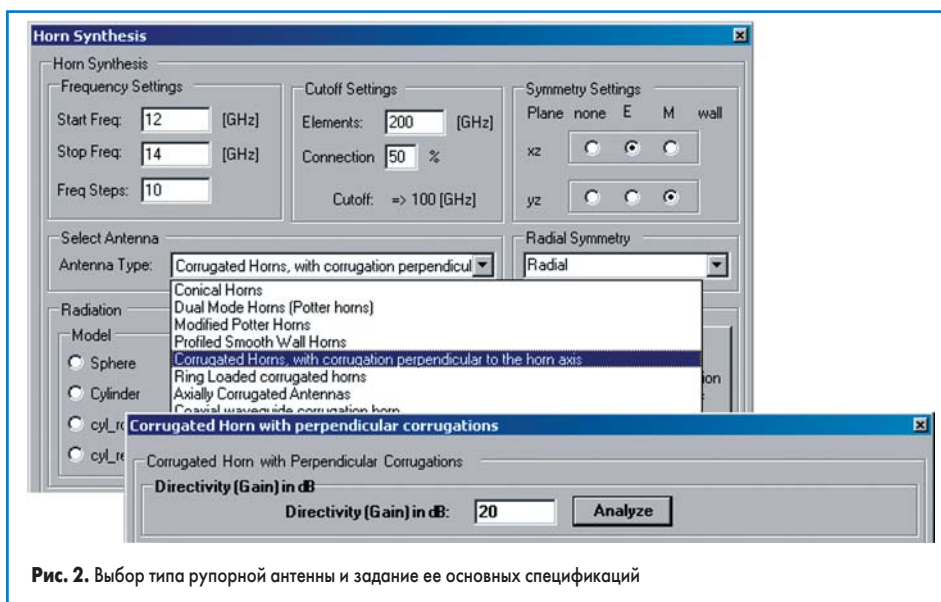


Рис. 2. Выбор типа рупорной антенны и задание ее основных спецификаций

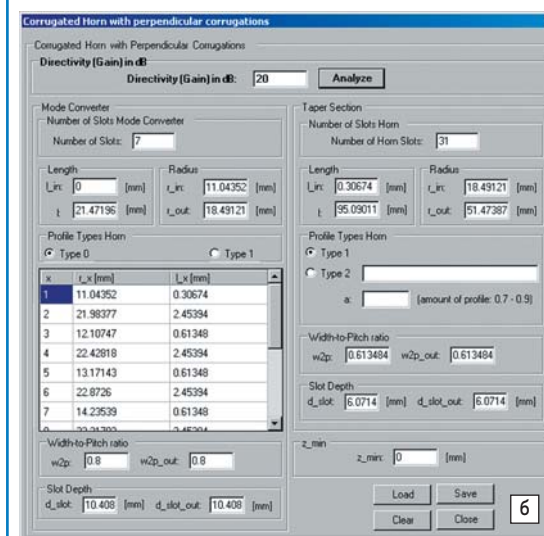
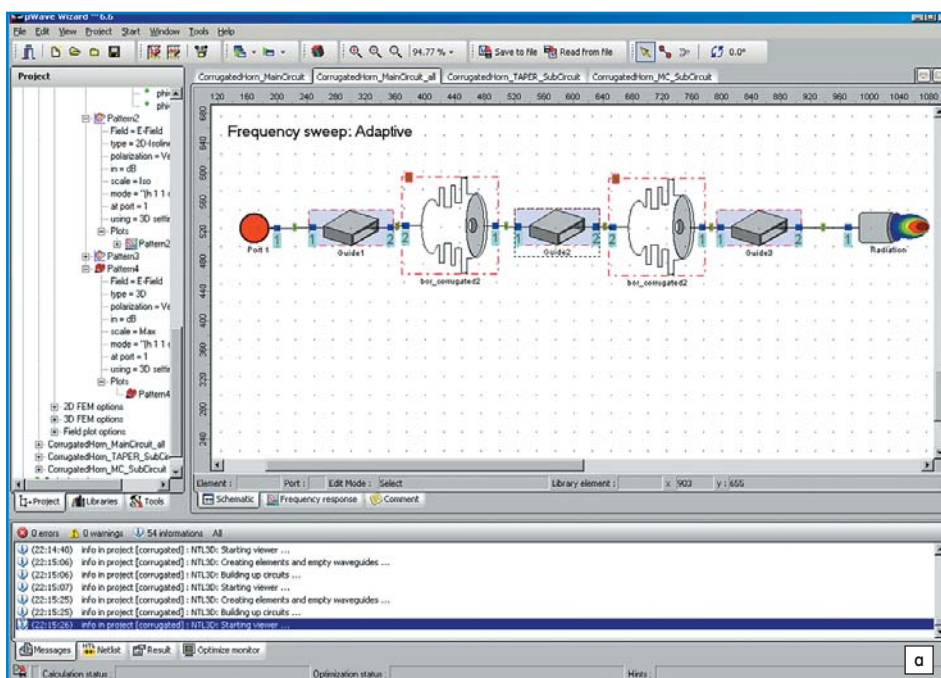


Рис. 3. Результат синтеза рупорной антенны: а) схема; б) набор переменных; в) трехмерный вид

поляризации) выбирается тип рупора. В большинстве случаев требуемые параметры можно обеспечить с помощью профилей типа рупор

Поттера или гофрированный рупор с поперечными гребнями. Так как для данного типа антенн, а также конических рупоров имеется ана-

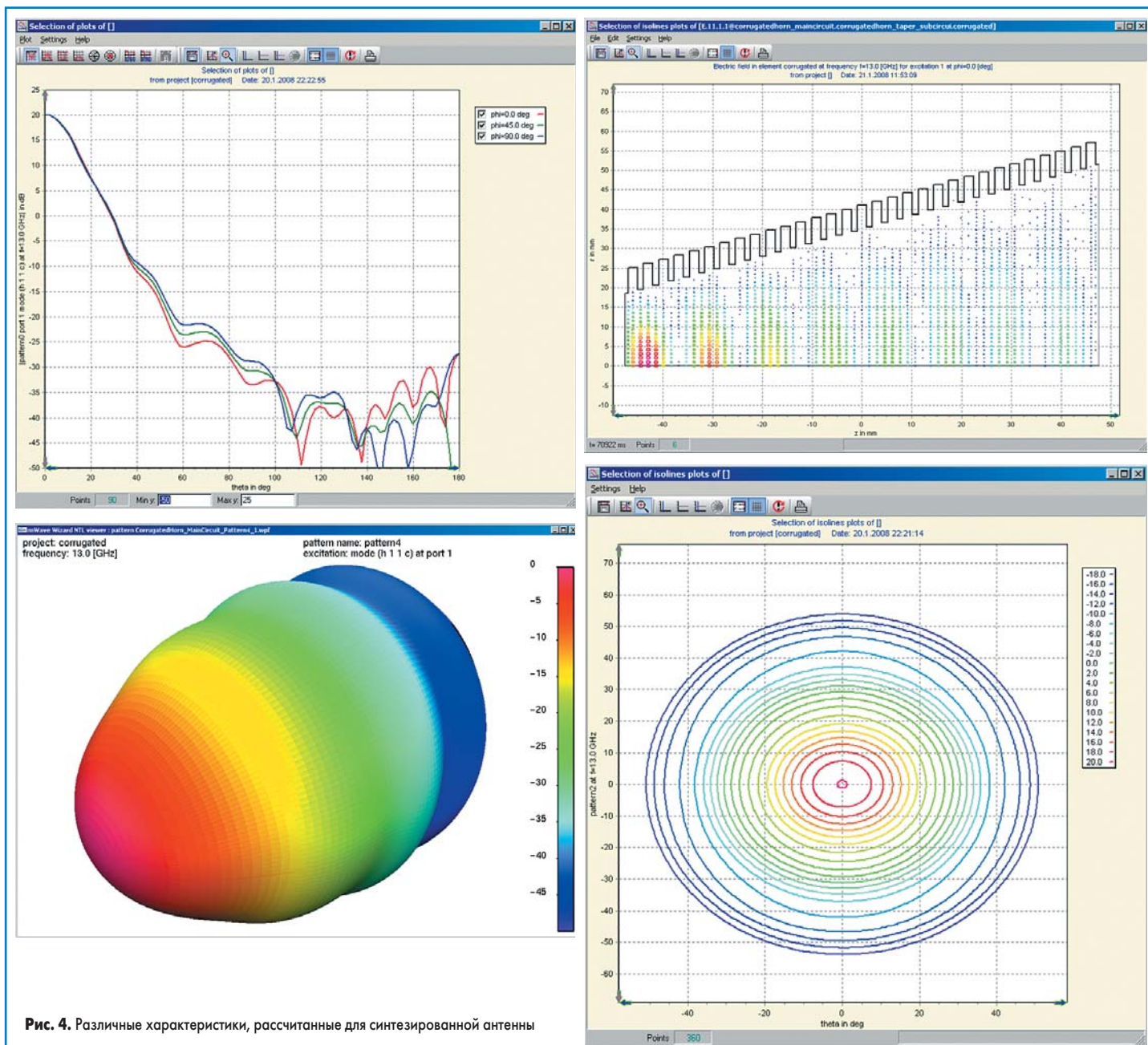


Рис. 4. Различные характеристики, рассчитанные для синтезированной антенны

литическое решение, то исходная геометрия формируется на основе ряда дополнительных параметров, например, максимальный коэффициент усиления и ширина лепестка диаграммы направленности антенны в плоскости основной поляризации. На рис. 2 показан случай задания коэффициента направленности для гофрированной антенны по уровню 20 дБ.

Таким образом, все эти данные (частотный диапазон, тип профиля рупора, другие спецификации) являются входными данными для аналитического решения задачи синтеза гофрированного рупора, описанного в литературе [1, 2]. Результаты аналитического решения позволяют полностью сформировать схему гофрированной антенны в среде μ Wave Wizard (рис. 3). Все параметры проекта, а также переменные проекта назначаются автоматически. Более того, все параметры BOR-элементов и излучающего модуля являются параметризованными и определяются с помощью переменных.

После этого пользователь может визуализировать синтезированную антенну и запустить расчет ее возвратных потерь и диаграмм на-

правленности. Диаграмма направленности может быть отображена на плоских графиках (2D и 2D isoline), а также в трехмерном виде. Среднее время расчета одной частотной точки на обычном персональном компьютере с процессором Pentium Centrino занимает около трех секунд. Помимо трехмерного отображения диаграммы направленности новая функция позволяет отображать распределение поля вдоль продольной оси рупорной антенны. На рис. 4 показаны результаты моделирования гофрированного рупора, синтезированного с помощью аналитического решения.

Более опытные пользователи имеют возможность изменить геометрию, полученную в ходе процедуры синтеза. Используемый в программе μ Wave Wizard способ представления антенны в виде схемы из последовательно соединенных элементов, а также параметризация описания этих элементов с помощью переменных проекта обеспечивают максимальную гибкость моделирования.

Следующим этапом проектирования антенны является оптимизация синтезированной

структуры. Настройка процедуры оптимизации состоит из двух основных частей: определение варьируемых переменных (степеней свободы) и пределов их изменения (ограничений), а также определение целевых функций, включая задание весовых коэффициентов для различных рабочих параметров. Переменные, используемые для параметризации геометрии антенны, полученной в ходе синтеза, автоматически указываются в качестве переменных оптимизации в заданном диапазоне значений (обычно $\pm 10\%$).

На данном этапе от пользователя требуется зафиксировать ряд переменных, изменение которых в ходе оптимизации нежелательно (например, радиус питающего волновода), переопределить ограничения (например, минимальное расстояние между гребнями) или задать для ряда переменных строгие равенства, чтобы ограничить число степеней свободы и тем самым ускорить оптимизацию. На рис. 5 показан пример задания целевой функции для оптимизации.

На следующем этапе выполняется задание целевой функции, выбор оптимизатора, зада-

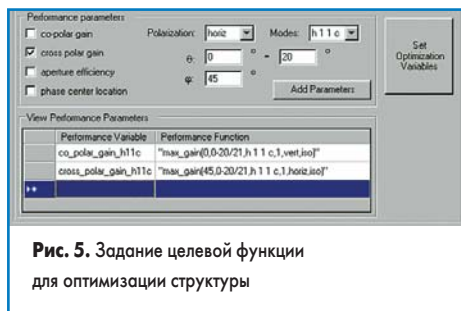


Рис. 5. Задание целевой функции для оптимизации структуры

ние максимально допустимого числа итераций и предельного времени выполнения. Целевая функция может включать несколько значений характеристик, заданных в некотором диапазоне частот, с различными весовыми коэффициентами. Обычно для телекоммуникационных приложений требуется оптимизировать следующие показатели: возвратные потери, максимум усиления для продольной и поперечной поляризации, изменение фазового центра, коэффициент эффективности апертуры и ширину лепестка диаграммы направленности по уровню 3 или 10 дБ. Это легко сделать с помощью предварительно заданных выходных переменных. Другие, более сложные характеристики могут быть заданы на оптимизацию с помощью выходных переменных для определенных пользователем уравнений.

После того как все необходимые настройки будут выполнены, можно запускать процедуру оптимизации. Пользователь может наблюдать за процессом поиска минимума целевой функции, включая составляющие ошибки для каждого оптимизируемого параметра и поведение переменных в заданном диапазоне значений. Лучший результат сохраняется автоматически. Наблюдая процесс оптимизации, пользователь может прервать его в любой момент времени, изменить ряд настроек, например, весовые коэффициенты или диапазоны изменения значений, и затем продолжить процесс оптимизации без потери полученных ранее оптимальных результатов. Если требуется, пользователь может добавить в цели оптимизации характеристики, получаемые в ходе анализа полей, и контролировать, например, мощностные параметры. Следует помнить, что такие виды расчета занимают больше время, и поэтому они не задаются на оптимизацию по умолчанию.

Оптимизация завершается, если система находит минимум целевой функции с заданной погрешностью, достигает максимального числа итераций или максимально возможного времени анализа. После этого требуется выполнить полный анализ проекта. Обычно

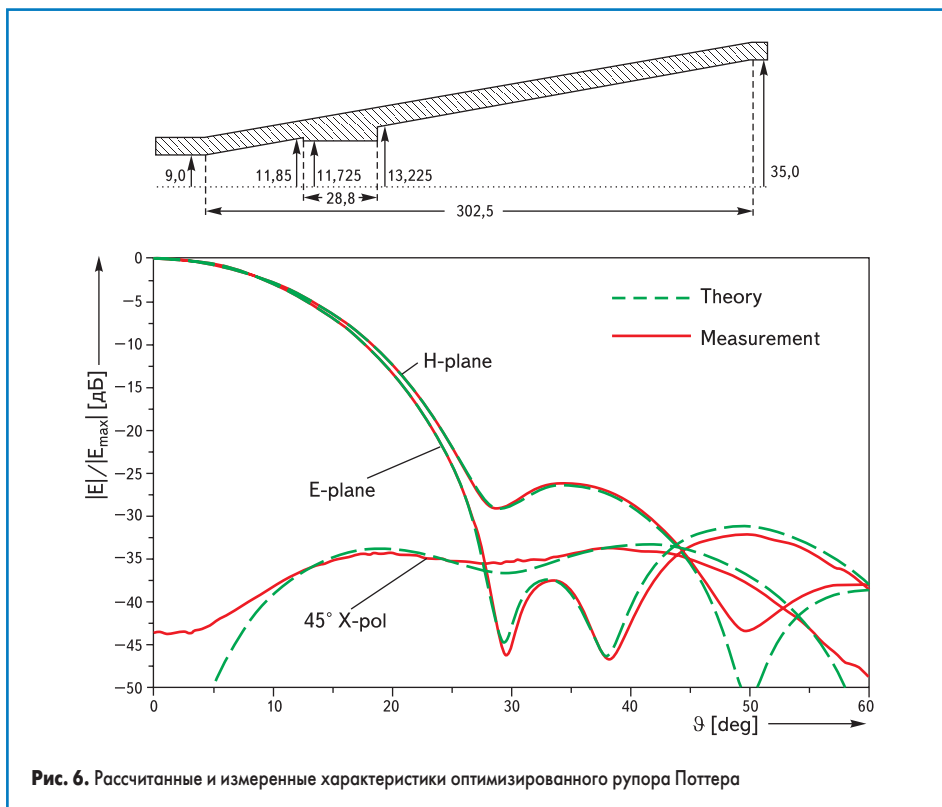


Рис. 6. Рассчитанные и измеренные характеристики оптимизированного рупора Поттера

пользователи немного изменяют настройки анализа (увеличивают число частотных точек, увеличивают точность, настраивают более наглядные выходные данные), чтобы сравнить полученные данные с более грубыми результатами, полученными в ходе оптимизации.

В ходе проведенных тестов рассчитанные характеристики излучения для сферической волны ряда антенн были сравнены с данными измерений, полученных для их прототипов [3, 4]. Помимо простых систем (например, излучающий круглый волновод), тестированию подверглась антенна Поттера, профиль которой показан на рис. 6. Здесь же показаны характеристики диаграмм направленности в продольной и поперечной плоскостях, которые очень хорошо согласуются с рассчитанными.

Заключение

В статье описан новый инструмент для синтеза рупорных антенн различных типов. Исходный профиль получается по результатам аналитического решения и может включать ряд новых элементов на основе фигур вращения. Встроенные возможности оптимизации используются для уточнения геометрии профиля и обеспечения более точных характеристик. Новый модуль полностью совместим с пакетом программ μ Wave Wizard, который обеспе-

чивает анализ и оптимизацию характеристик излучения антенны, а также ее цепей питания. Имеется возможность выполнять анализ и оптимизацию выхода годных изделий с учетом механических допусков. Выходные данные формируемой сферической волны (SWE) могут быть записаны во внешний файл для последующего использования в системах анализа рефлекторных антенн.

Литература

1. Granet C., James G., Bolton R., Moorey G. A Smooth-walled Spline-profile Horn as an Alternative to the Corrugated Horn for Wideband Millimeter-wave Optimization // IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 52, No. 3. 2004. March.
2. Granet C., James G. Design of Corrugated Horns: A Primer // IEEE Antennas and Propagation Magazine. Vol. 47, No. 2. 2005. April.
3. Reiter C. Dielektrisch Ausgekleidete Rundhornstrahler // PhD Thesis, University of Braunschweig, VDI. Series 21, No. 165. 1994.
4. Reiter J. Analytische Felddarstellung auf Nicht-separablen Oberflächen // PhD Thesis, University of Bremen, VDI. Series 21, No. 180. 1995.
5. Horn Antenna Synthesis CAD Tool // Microwave Journal. 2008. March.
6. www.mician.com