

ПРИМЕНЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИМИТАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗЛУЧАЮЩИХ СИСТЕМ

В.А. Усин¹, В.И. Марков², С.В. Помазанов³, А.В. Усина⁴, А.Б. Филоненко²

¹Харьковский Национальный университет радиозлектроники
61166, Харьков, пр. Ленина, 14, каф. ОПТ, тел. (057) 732-80-50,
E-mail: usin_va@rambler.ru

²Научно-исследовательский центр радиотехнических и оптико-электронных систем «Обрий», Черниговский р-н, с. Сновянка, ул. Лесная, 2-Б, 15532, Украина
тел.: 80972897174; E-mail: markov_vi@mail.ru

³Антрацитовский техникум радиозлектронного приборостроения, Луганская обл.,
г. Антрацит,

⁴Харьковский государственный университет питания и торговли
Харьков-51, ул Ключковская, 333

Special automated complexes which allow integrating the processes of modeling, designing and measurements of the phased-array antenna (PAA) parameters for aligning, conducting acceptance tests, field trials and field calibration are considered in this report. It is shown that for comprehensive evaluation of multifunction PAA parameters it is necessary to combine procedures of simulation, diagnostics, factory alignment and field calibration of multi channel PAA, taking into account its constructive peculiarities and restrictions. Such approach optimizes and improves engineering decisions for perspective antennas by multivariant choice of its construction, measurement and monitoring methods while reducing time and costs of their development and implementation.

Введение. Процесс создания антенных устройств (АУ) состоит из ряда этапов, включающих в себя выбор и анализ различных вариантов построения апертуры и диаграммообразующей схемы (ДОС) с оценкой получаемых параметров, стоимости, элементной базы, технологии изготовления, отладки и возможности поддержания параметров изделия в процессе эксплуатации. На этапе разработки АУ целесообразно использовать математическое моделирование для выбора амплитудно-фазового распределения (АФР) поля на апертуре, формы апертуры, ее структуры, типа излучающих элементов, их размещения, матрицы взаимных связей и системы управления положением луча (СУЛ) в пространстве. Необходимо оценить интегральные параметры изделия и выдвинуть требований к допускам на изготовление распределительной, излучающей и управляющей систем и их элементам (фазовращателям, усилителям, переключателям, элементам защиты и т.д.) [1].

После сборки АУ должно пройти комплексный контроль, при котором проверяют исправность элементов, узлов, блоков и цепей управления с целью выявления отказов элементов и ошибок сборки. На следующем этапе должна производиться настройка АУ по заданным критериям (например, по минимуму отклонения интегральных параметров ДН от расчетных значений). Для автоматизации процесса настройки АУ должны быть предусмотрены соответствующие технологические возможности, а алгоритмы настройки должны учитывать дискретность элементов реализующих желаемое АФР.

Выполнить требования по сокращению времени разработки и внедрения сложных многофункциональных АУ можно только при создании специальных автоматизированных имитационно-измерительных комплексов (АИИК), позволяющих объединить процессы проектирования, моделирования, настройки и проведения испытаний ФАР [2].

Не менее важной задачей моделирования является обоснование требований к техническим характеристикам и составу АИИК, параметрам входящей в него измерительной аппаратуры, алгоритмам обработки данных и выбора технологии проведения настройки и приемно-сдаточных испытаний (ПСИ) ФАР [3].

Вопросы практического применения АИИК при настройке и технической эксплуатации современных АУ постоянно находятся в центре внимания разработчиков. В течение

ние последних десятилетий используются различные программы анализа антенных систем, например, *Microwave Office*, *FEKO*, *XFDTD*, *HFSS*, *SuperNEC*, *Sonnet*, *Zeland IE3D*, *CST MICROWAVE STUDIO* и др. На многих предприятиях Украины и СНГ с начала 70-х годов разрабатывался и применялся ряд специальных программ, использовавшихся при разработке ФАР и АФАР [4]. Например, интегрированный программный комплекс *ЛЯМБДА+* (НПО «Алмаз») включает в себя системы моделирования антенных, волноводных и микрополосковых устройств, магнитных систем, а также *Интегрированную Среду Разработчика*, которая объединяет и осуществляет взаимодействие между всеми подсистемами комплекса и обеспечивает взаимодействие с пользователем с помощью многооконного графического интерфейса с вложенной системой меню и диалоговых окон. С развитием ПЭВМ относительно простые программы моделирования стали широко использоваться в учебных процессах, например, программа *Fazar* (О.Г. Вендик) и программно-методический комплекс *AntMaster* (Д.М. Сазонов).

Постановка задачи. В докладе рассмотрены основные вопросы создания автоматизированного имитационно-измерительного комплекса (АИИК), состоящего из имитационно-моделирующего стенда (ИМС) и автоматизированного измерительного комплекса (АИК).

Основная часть. В связи с жесткими техническими требованиями к уровням боковых лепестков (УБЛ) и высокой точности установки луча при разработке и настройке АУ с широкоугольным сканированием и низким УБЛ (от минус 35 до минус 50 дБ) требуется принимать во внимание ряд факторов, которым ранее не уделялось должного внимания. Например, конструктивные возможности увеличения развязки между излучающими элементами при очень плотной упаковке оказываются исчерпанными, поэтому с помощью ИМС приходится искать другие пути для решения возникающих при этом проблем. Одним из возможных путей учета влияния взаимной связи между излучающими элементами на АФР при различных положениях луча в пространстве является проведение настройки по пространственным секторам, а для определения количества таких секторов используется итерационный комбинированный подход, объединяющий процессы моделирования с помощью ИМС и проведения измерений АФР с помощью АИК.

ИМС используется на всех этапах разработки АУ от проектирования до проведения ПСИ и обеспечивает:

- синтез АФР на апертуре ФАР по требованиям к параметрам диаграммы направленности (ДН),
- расчет АФР на планарной, цилиндрической и сферической поверхностях по заданному АФР на апертуре ФАР и имитацию ошибок, вносимых измерительным оборудованием;
- определение ДН и интегральных параметров АУ в соответствии с выбранным методом измерения АФР и способом расчета;
- оценку погрешности определения характеристик АУ в зависимости от характеристик АИК и используемых методов измерения и расчета параметров;
- сравнительную оценку различных методов измерения и обработки полученных данных для настройки и проведение приемо-сдаточных испытаний конкретных АУ, выбор метода измерения и аппаратурной реализации АИК;
- выработку требований к стенду, измерительной аппаратуре, метрологическому обеспечению, методикам и программно-алгоритмическому обеспечению (ПАО) испытаний;
- имитацию всех режимов работы аппаратуры АИК и АУ, выдаваемых ими сигналов для проверки закладываемых технических решений и алгоритмов управления;
- имитацию работы АИК при отладке ПАО.

АИК предназначен для автоматизации процесса измерения параметров АУ в ближней зоне и обеспечивает:

- измерение АФР на заданной измерительной поверхности (планарной, цилиндрической, сферической, плоско-полярной и т.д.);

— расчет характеристик АУ и выявления отклонений от штатного АФР с целью проведения настройки изделия по заданным критериям, так как параметры изготовленного образца обычно не соответствуют расчетным из-за ряда факторов.

Настройка АУ выполняется в БЭК с использованием радиоголографического и амплитудного методов измерения.

С помощью ИМС проводится математическое моделирование для определения количества участков, на которые должен быть разбит полный сектор широкоугольного электронного сканирования с учетом ограничений по возможности управления и юстировки АФР.

Программное обеспечение АИК должно быть адаптировано под конкретную конструкцию апертуры АУ, интерфейсы и протоколы обмена информацией, а в АУ должны быть предусмотрены соответствующие технологические возможности и зарезервирован массив памяти для записи комплексных поправок для всех излучающих элементов с учетом количества секторов и рабочих частот. Процесс настройки является итерационным и начинается с записи нулей в массивы поправок для каждой рабочей частоты в память системы управления лучом (СУЛ). По данным измерения АФР поля на измерительной поверхности рассчитываются параметры диаграммы направленности (ДН) и проводится расчет АФР на апертуре и моделирование для определения комплексных поправок, которые минимизируют отклонение параметров ДН заданных. Полученные поправки суммируются с находящимися в памяти СУЛ. Этот процесс итерационно повторяется до достижения заданного критерия, например, заданного УБЛ. Настройка при нормальном положении луча проводится для всех рабочих частот и комплексные поправки записываются в память в качестве начального приближения для всех зарезервированных участков сектора широкоугольного сканирования. После этого начинается процесс измерения параметров ДН для каждого из участков сектора широкоугольного сканирования, при этом фиксируются участки, в которых параметры ДН не удовлетворяют требованиям ТУ. Для этих участков проводится индивидуальная подстройка, полученные поправочные коэффициенты записываются в память только для заданного участка сектора пространственного качания луча с целью свести к минимуму влияние коммутационных боковых лепестков и обеспечить точное позиционирование луча в заданную точку пространства. Поправочные коэффициенты для всех участков сектора качания луча хранятся в зарезервированной памяти в одном формате без учета сдвига (добавки на позиционирование луча в заданное положение).

Практика показывает, что при оптимизации характеристик АУ с низким УБЛ и независимым формированием многолучевой матрицы практически достаточно двух – трех итераций, чтобы с учетом конструктивных ограничений получить характеристики близкие к потенциально достижимым.

Одним из недостатков применения в АИК механического координатного устройства для перемещения измерительного зонда является большое время сканирования (до нескольких часов в зависимости от размеров апертуры и требований к точности определения ДН в заданном секторе углов). Уменьшение времени измерений ближнего поля антенн может быть достигнуто за счет применения в АИК многоэлементных зондов (МЗ).

Многоканальность может быть использована в различных типах МЗ по-разному:

— во-первых, использовать МЗ можно как аналоговый коллиматор ближнего поля антенн;

— осуществляя электронное переключение каналов МЗ, можно производить модуляционное выделение сигнала каждого канала, что позволяет измерить двумерное АФР на измерительной поверхности, а также существенно уменьшает время измерений;

— реализуя МЗ в виде разнесенной в пространстве системы излучателей (измерительных зондов), можно повысить эквивалентную плотность размещения излучателей, что позволяет уменьшить время измерений и ослабляет влияние МЗ на поле исследуемой ФАР [5].

Выводы. В докладе рассмотрены принципы построения, структура и технические характеристики АИИК, приведены варианты его аппаратурной и программной реализации для выбора АФР, обоснования допусков и оценки влияния ошибок изготовления, дискретности управления, взаимного влияния излучающих элементов и обтекателя на параметры ФАР.

По результатам моделирования был проведен выбор функционального построения и структурного состава АИК, входящей в него аппаратуры и методов компенсации аппаратурных погрешностей и применяемых методов измерения характеристик ФАР. Разработана и проверена методика, обеспечивающая быструю сходимость итерационного процесса настройки и получение параметров близких к технически достижимым для данной аппаратурной реализации ФАР.

Обработка на основе АИИК новых перспективных методов измерений и контроля АУ позволяет существенно сократить время и стоимость разработки и обеспечить проведение контроля технического состояния, калибровки комплексных коэффициентов передачи каналов и автоподстройки параметров ФАР в процессе эксплуатации.

Литература

1. Активные фазированные антенные решетки / Под ред. Д.И. Воскресенского, А.И. Канащенкова. – М.: Радиотехника, 2004. – 488 с.
2. Гузь В.И., Марков В.И., Зайцев А.А., Мартынов В.А., Филоненко А.Б. Автоматизированная система для контроля и настройки ФАР. // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. – Киев. Том 50, №1, январь 2007 г. с 46-51.
3. Usina A.V., Usin V.A., Anohina O.D., Markov V.I., Filonenko A.B. Computer simulation in design of built-in performance monitoring and alignment systems for phased array antennas // 15th International Conference on Microwaves, Radar and Wireless Communications, 2004. MIKON-2004. Volume 2, 17-19 May 2004 Page(s): 481 – 484.
4. Гостюхин В.Л., Гринева К.И., Трусов В.Н. Вопросы проектирования активных ФАР с использованием ЭВМ / Под ред. В.Л. Гостюхина. – М.: Радио и связь, 1983. – 248 с.
5. Усин В.А., Марков В.И., Рожнятовская Л.В., Усина А.В. Применение пространственно разнесенной многозондовой системы для измерения параметров ФАР. // СВЧ техника и телекоммуникационные технологии: Материалы 16-й Международной конференции (КрыМиКо'2006), Севастополь, Крым, Украина, 11-15 сент. 2006 г. – Вебер, 2006, т 2, с. 821-822.