

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СВЯЗИ, ИНФОРМАТИЗАЦИИ И
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

САМАРКАНДСКИЙ ФИЛИАЛ ТАШКЕНТСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

ФАКУЛЬТЕТ “ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И
ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ”

КАФЕДРА “ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЙ ИНЖИНИРИНГ”

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему

**Разработка пакета программ для расчета фазированной
антенной решетки**

ВЫПОЛНИЛ: студент 4-го курса по
направлению 5522200 -“Телекоммуникация”
Бакаев А. _____

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:
Ведущий специалист Самаркандского
филиала АК«Узбектелеком»
Абдухамидов М. _____

Выпускная квалификационная работа прошла предварительную защиту.
Протокол № _____ от « ____ » _____ 2014 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И РАСЧЕТЫ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК	7
1.1. Фазированная антенная решётка	7
1.2. Методы анализа характеристики излучения ФАР	12
1.3. Расчет полевых и импедансных характеристик ФАР	15
2. ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ФАР	27
2.1. Общие сведения	27
2.2. Программа для расчета полевых и импедансных характеристик ФАР	29
2.3. Программа для характеристик ФАР в полосе частот	38
2.4. Программа для расчета входного сопротивления изолированного излучателя	42
3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ.....	47
3.1. Взаимное сопротивление.....	47
3.2. Диаграмма направленности ФАР.....	49
3.3. Частотные характеристики ФАР	51
4. БЕЗОПАСНОСТЬ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ.....	56
4.1. Электробезопасность рабочего места	56
4.2. Пожаробезопасность рабочего места	59
4.3. Заземление	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	64
ЛИТЕРАТУРА	66
Приложение 1. Тексты файлов данных программы.....	68
Приложение 2. Характеристики ФАР ЕХАР-G19	72

Введение

Актуальность работы. Фазированные антенные решетки (ФАР) благодаря возможности быстрого и гибкого изменения амплитудно-фазового распределения в излучающей структуре нашли широкое применение в радиотехнических системах связи, локации и навигации.

Элементная база современных ФАР весьма разнообразна: это и традиционные вибраторы, и щелевые излучатели, рупоры, спирали, зеркальные антенны и т.д. Особое место в этом перечне занимают полосковые излучатели. Применение интегральной технологии при их изготовлении позволяет удовлетворить весьма жестким требованиям к электродинамическим, аэродинамическим, габаритным, весовым, экономическим, конструктивным и другим параметрам.

Развитие и усложнение ФАР привело к разработке новых и усложнению известных методов расчета основных характеристик. Конструирование и расчет антенн значительно усложнились из-за увеличения числа параметров, определяющих характеристики антенн, а также из-за стремления оптимизировать характеристики или более точно их рассчитать.

В антенных решетках имеет место сложное явление взаимодействия излучателей, проявляющееся в изменении направленности и входного сопротивления излучателя при его включении в ФАР. Взаимная связь вызывает изменение входного сопротивления каждого элемента, что приводит к рассогласованию и отражению энергии в фидерной линии обратно к источнику. Резкое рассогласование может вызвать эффект ослепления, когда практически прекращаются излучение и прием электромагнитных волн. Взаимное влияние приводит также к изменению фазового и амплитудного распределения по антенным элементам. Это в свою очередь приводит к изменению диаграммы направленности, КНД, искажению поляризационных характеристик.

В настоящее время интенсивно разрабатывается теория учета взаимных связей в антенных решетках. Инженерные методы расчета взаимодействия излучателей в составе ФАР известны только для некоторых типов антенн. Учет этого взаимодействия, изменяющегося при управлении фазовым распределением, в значительной мере затрудняет расчет ФАР.

Одним из методов, позволяющих учитывать взаимные связи в антенных решетках, является метод бесконечных периодических структур, рассмотренный в [3,4]. В этом методе сначала рассчитывают входные сопротивления излучателей путем решения интегрального уравнения Фредгольма, ядром которого является тензорная функция Грина областей, частично заполненных диэлектриком. Затем методом Галеркина находят взаимные сопротивления между излучателями и далее все остальные импедансные и полевые характеристики ФАР. Однако использование этого метода было ограничено из-за сложности расчетов. В настоящее время при широком распространении ПЭВМ эта задача упростилась.

Постановлением главы государства [1] утверждена Программа дальнейшего внедрения и развития информационно-коммуникационных технологий в Республике Узбекистан на 2012-2014 годы, в которой подробно и адресной по годам прописаны организационные меры, развитие инфраструктуры ИКТ, подготовка, переподготовка и повышение квалификации кадров, совершенствование правительственного портала, веб-сайтов государственных органов и интерактивных услуг, обеспечение информационной безопасности, применение современных средств ИКТ в деятельности коммерческих структур, популяризация ИКТ среди населения, в том числе в сельской местности.

Цель работы. Целью данной выпускной квалификационной работы является разработка программы для ПЭВМ, позволяющей использовать вышеописанный метод специалистам, работающим в данной области радиотехники.

Основные задачи исследования:

- обзор литературных источников;
- исследования методы учета взаимного влияния между излучателями в антенных решетках;
- ввести расчета полевых и импедансных характеристик ФАР;
- разработка программы для расчета полевых и импедансных характеристики ФАР;
- анализ результаты расчетов характеристики ФАР.

Структура и объем выпускной квалификационной работы.

Выпускная квалификационная работа состоит из введения, четырёх раздел и заключения. Содержит список использованной литературы из 13 наименований. В приложение даны тексты файлов исходных данных программы и характеристики ФАР ЕХАР-G19.

1.МЕТОДЫ АНАЛИЗА И РАСЧЕТЫ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЁТОК

1.1. Фазированная антенная решётка

Фазированная антенная решётка – тип антенн, в виде группы антенных излучателей, в которых относительные фазы сигналов изменяются комплексно, так, что эффективное излучение антенны усиливается в каком-то одном, желаемом направлении и подавляется во всех остальных направлениях [3].

Управление фазами (фазирование) позволяет радару с применяемой ФАР:

- формировать (при весьма разнообразных расположениях излучателей) необходимую диаграмму направленности (ДН) антенны (например, остронаправленную ДН типа луч);
- изменять направление луча неподвижной антенны, таким образом осуществляя быстрое (в ряде случаев практически без инерционное) сканирование – качание луча;
- управлять в определённых пределах формой ДН – изменять ширину луча, интенсивность (уровни) боковых лепестков и т.п. (для этого в ФАР иногда осуществляют также управление и амплитудами волн отдельных излучателей).

Эти (и некоторые другие) свойства ФАР, а также возможность применять для управления ФАР современные средства автоматики и вычислительной электроники обусловили их перспективность и широкое использование в радиосвязи, радиолокации, радионавигации, радиоастрономии и т. д. ФАР, содержащие большое число управляемых элементов, входят в состав различных наземных (стационарных и подвижных), корабельных, авиационных и космических радиоустройств. Ведутся интенсивные разработки в направлении дальнейшего развития теории и техники ФАР и расширения области их применения.



Рис. 1.1. ФАР EXAP-G19 – оптимальная клиентская станция широкополосного доступа 2.4 GHz, T.раб. $\pm 60^{\circ} C$

Описание ФАР EXAP-G19 приведена в приложении 2.

Применение подобных антенных решёток даёт следующие преимущества:

1. Решётка из N элементов позволяет увеличить приблизительно в N раз Коэффициент направленного действия (КНД) (и, соответственно, усиление) антенны по сравнению с одиночным излучателем, а также сузить луч для повышения точности определения угловых координат источника излучения в навигации и радиолокации.
2. С помощью решётки удаётся поднять электрическую прочность антенны и увеличить уровень излучаемой (принимаемой) мощности путём размещения в каналах решётки независимых усилителей высокочастотной энергии.
3. Важным преимуществом решётки является возможность быстрого (без инерционного) обзора пространства за счёт качания луча антенны электрическими методами (электрического сканирования).
4. Имеется ряд конструктивно-технологических преимуществ, по сравнению с другими классами антенн. Так например, улучшение

массогабаритных характеристик бортовой аппаратуры происходит за счёт использования печатных антенных решёток. Снижение стоимости больших радиоастрономических телескопов достигается благодаря применению зеркальных антенных решёток.

Структура ФАР. Формы, размеры и конструкции современных ФАР весьма разнообразны; их разнообразие определяется как типом используемых излучателей, так и характером их расположения. Сектор сканирования ФАР определяется ДН её излучателей. В ФАР с быстрым широкоугольным качением луча обычно используются слабонаправленные излучатели: симметричные и несимметричные вибраторы, часто с одним или несколькими рефлекторами (например, в виде общего для всей ФАР зеркала); открытые концы радиоволноводов, щелевые, рупорные, спиральные, диэлектрические стержневые, логопериодические и др. антенны. Иногда большие по размерам ФАР составляют из отдельных малых ФАР (модулей); ДН последних ориентируется в направлении основного луча всей ФАР. В ряде случаев, например когда допустимо медленное отклонение луча, в качестве излучателей используют остронаправленные антенны с механическим поворотом (например, т. н. полноповоротные зеркальные); в таких ФАР отклонение луча на большой угол выполняют посредством поворота всех антенн и фазирования излучаемых ими волн; фазирование этих антенн позволяет также осуществлять в пределах их ДН быстрое качение луча ФАР [6].

В зависимости от требуемой формы ДН и необходимого пространственного сектора сканирования в ФАР применяют различное взаимное расположение элементов:

- вдоль линии (прямой или дуги);
- по поверхности (например, плоской – в т. н. плоских ФАР; цилиндрической; сферической)
- в заданном объёме (объёмные ФАР).

Иногда форма излучающей поверхности ФАР – раскрывая, определяется конфигурацией объекта, на котором устанавливается ФАР. ФАР с формой раскрыва, подобной форме объекта, иногда называются конформными. Широко распространены плоские ФАР; в них луч может сканировать от направления нормали к раскрыву (как в синфазной антенне) до направления вдоль раскрыва (как в антенне бегущей волны). Коэффициент направленного действия (КНД) плоской ФАР при отклонении луча от нормали к раскрыву уменьшается. Для обеспечения широкоугольного сканирования (в больших пространственных углах – вплоть до 4 стерадиан без заметного снижения КНД используют ФАР с неплоским (например, сферическим) раскрывом или системы плоских ФАР, ориентированных в различных направлениях. Сканирование в этих системах осуществляется посредством возбуждения соответственно ориентированных излучателей и их фазирования.

По характеру распределения излучателей в раскрыве различают эквидистантные и неэквидистантные ФАР. В эквидистантных ФАР расстояния между соседними элементами одинаковы по всему раскрыву. В плоских эквидистантных ФАР излучатели чаще всего располагают в узлах прямоугольной решётки (прямоугольное расположение) или в узлах треугольной сетки (гексагональное расположение). Расстояния между излучателями в эквидистантных ФАР обычно выбирают достаточно малыми (часто меньше рабочей длины волны), что позволяет формировать в секторе сканирования ДН с одним главным лепестком (без побочных дифракционных максимумов – т. н. паразитных лучей) и низким уровнем боковых лепестков; однако для формирования узкого луча (т. е. в ФАР с большим раскрывом) необходимо использовать большое число элементов. В неэквидистантных ФАР элементы располагают на неодинаковых расстояниях друг от друга (расстояние может быть, например, случайной величиной). В таких ФАР даже при больших расстояниях между соседними излучателями можно избежать образования паразитных лучей и получать ДН с одним главным

лепестком. Это позволяет в случае больших раскрывов сформировать очень узкий луч при сравнительно небольшом числе элементов; однако такие неэквидистантные ФАР с большим раскрывом при малом числе излучателей имеют более высокий уровень боковых лепестков и, соответственно, более низкий КНД, чем ФАР с большим числом элементов [6,8]. В неэквидистантных ФАР с малыми расстояниями между излучателями при равных мощностях волн, излучаемых отдельными элементами, можно получать (в результате неравномерного распределения плотности излучения в раскрыве антенны) ДН с более низким уровнем боковых лепестков, чем в эквидистантных ФАР с таким же раскрывом и таким же числом элементов.

Перспективы развития. К наиболее важным направлениям дальнейшего развития теории и техники ФАР относятся:

- Широкое внедрение в радиотехнические устройства ФАР с большим числом элементов, разработка элементов новых типов, в частности для активных ФАР;
- Развитие методов построения ФАР с большими размерами раскрывов, в том числе неэквидистантных ФАР с остронаправленными антеннами, расположенными в пределах целого полушария Земли (глобальный радиотелескоп);
- Дальнейшая разработка методов и технических средств ослабления вредных влияний взаимной связи между элементами ФАР;
- Развитие теории синтеза и методов машинного проектирования ФАР;
- Разработка теории и внедрение в практику новых методов обработки информации, принятой элементами ФАР, и использования этой информации для управления ФАР, в частности для автоматического фазирования элементов (самофазирующиеся ФАР) и изменения формы ДН, например понижения уровня боковых лепестков в направлениях на источники помех (адаптивные ФАР);

- Разработка методов управления независимым движением отдельных лучей в многолучевых ФАР.

1.2. Методы анализа характеристики излучения ФАР

Прогресс техники антенных решеток стимулировал рост числа теоретических работ, посвященных исследованию электродинамических характеристик ФАР. Элементарная теория антенных решеток рассматривается в [5, **Error! Reference source not found.**]. Здесь полагается, что решетка представляет совокупность независимых индивидуальных излучателей, а характеристики излучения ФАР зависят лишь от пространственного расположения отдельных излучателей, а также от распределения амплитуд и фаз токов, заданных на излучателях.

Наряду с этим, в работах [7, **Error! Reference source not found.**, 9] приводятся различные методы учета взаимного влияния между излучателями в антенных решетках. Кратко охарактеризуем эти методы.

Возможны два способа оценки взаимной связи между элементами антенной решетки. Первый способ состоит в оценке изменения входного сопротивления элемента за счет взаимного влияния. Второй способ состоит в оценке изменения диаграммы направленности элемента, изолированного от влияния соседних элементов. Для нахождения взаимных сопротивлений существует множество методов как точных, так и приближенных. Кроме этого, все методы можно рассматривать с точки зрения поэлементного подхода, который полезен при анализе решеток малых размеров и подхода на основе бесконечных периодических структур, применяемого в случае больших решеток.

Метод наводимых ЭДС

Одним из методов поэлементного подхода является метод наводимых электродвижущей силы ЭДС, подробно рассмотренный в [7]. Систему излучателей представляют эквивалентным четырехполюсником. Например, в простейшем случае, когда рассматривается два связанных вибратора, схема

их замещения выглядит как на рис.

1.2.

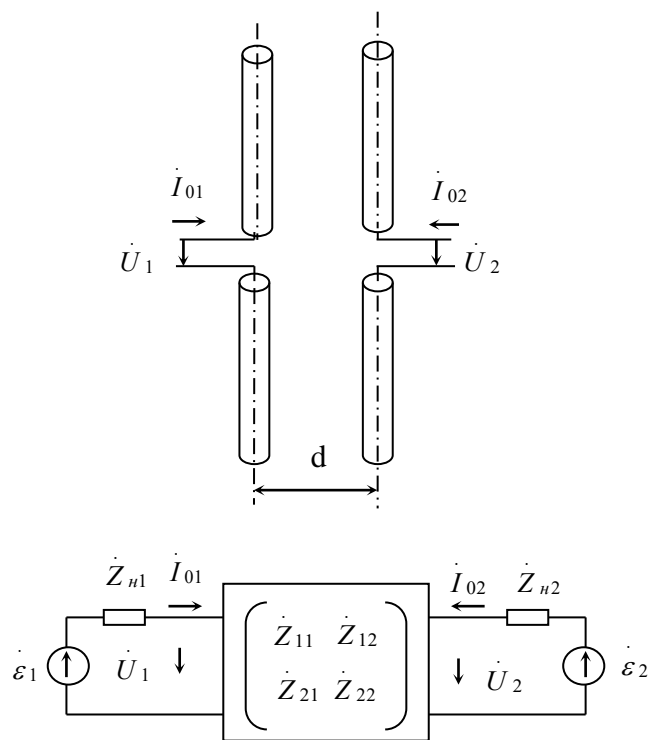


Рис.

1.2 Связанные вибраторы и их схема замещения

Диагональные элементы в матрице сопротивлений \dot{Z}_{11} и \dot{Z}_{22} представляют собственные сопротивления вибраторов. Недиagonальные элементы \dot{Z}_{12} и \dot{Z}_{21} являются взаимными сопротивлениями, учитывающими электромагнитную связь между вибраторами. Взаимные сопротивления равны, если среда между излучателями изотропна. Для схемы замещения может быть записано следующая система уравнений Кирхгофа:

$$\begin{aligned} \dot{U}_1 &= \dot{I}_{01} \dot{Z}_{11} + \dot{I}_{02} \dot{Z}_{12} = \dot{\varepsilon}_1 - \dot{I}_{01} \dot{Z}_{n1}, \\ \dot{U}_2 &= \dot{I}_{01} \dot{Z}_{21} + \dot{I}_{02} \dot{Z}_{22} = \dot{\varepsilon}_2 - \dot{I}_{02} \dot{Z}_{n2}. \end{aligned}$$

Известно, что если проинтегрировать поток вектора Пойтинга по бесконечно удаленной поверхности, охватывающей все элементы антенной решетки, то это даст возможность вычислить величину активной мощности, излучаемой всеми антеннами, а вместе с тем и активные составляющие собственных сопротивлений каждой антенны и активные составляющие взаимных сопротивлений между ними. Реактивная составляющая сопротивлений определяется по известной частотной зависимости активной составляющей.

Метод парциальной диаграммы направленности

Другим методом исследования взаимной связи, который подробно излагается в [9], является метод парциальной диаграммы направленности. Этот метод предполагает исследование диаграмм направленности и коэффициентов усиления излучателей в решетке.

Когда какой-либо излучатель антенной решетки находится в окружении остальных элементов, нагруженных на пассивные сопротивления, невозбужденные элементы также проявляют свое участие в излучении решетки. Измеренная при этом парциальная диаграмма направленности излучателя позволяет:

а) в случае возбуждения всех излучателей антенной решетки больших, но конечных размеров суперпозицией таких диаграмм получить истинную ДН решетки,

б) измеренную парциальную диаграмму можно использовать для вычисления действующего входного сопротивления или соответствующего ему коэффициента отражения, что особенно эффективно при применении к решеткам со сложными излучателями, когда теоретический анализ оказывается затруднительным.

Это метод может оказаться весьма полезным при практическом исследовании взаимного влияния в АР или при проверке теоретически полученных результатов.

Методы на основе теории бесконечных периодических структур

Для анализа больших эквидистантных АР разработан целый ряд методов, суть которых заключается в том, что АР заменяют бесконечной открытой периодической структурах и анализ поля проводят в единичной периодической ячейке такой структуры. Важным преимуществом такого подхода является то, что решение необходимо искать только для одной периодической ячейки АР, что позволяет найти достаточно точное решение при невысоком порядке решаемых уравнений.

Метод спектрального анализа, рассмотренный подробно в [8], применим в основном для эквидистантных АР, составленных из одинаковых излучателей. Мощным средством теоретического исследования таких периодических структур является аппарат рядов Фурье и дискретного преобразования Фурье (ДПФ).

Основным недостатком следует считать невозможность учета конечных размеров АР и краевых эффектов.

Метод единичной ячейки, рассмотренный в [9], применяется для анализа больших АР, состоящих из идентичных излучателей, возбуждаемых с одинаковой амплитудой и одинаковой разностью фаз между соседними элементами. Суть метода заключается в том, что все пространство АР

делится две части: нижнюю, где помещается система питания, и верхнюю, в которую решетка излучает. В верхней части вокруг одного из излучателей образуют единичную ячейку, состоящую из двух электрических и двух магнитных стенок, простирающихся до бесконечности. Стенки располагают таким образом, чтобы выполнялись граничные условия и тем самым не нарушалась структура поля, сформированного под воздействием взаимного влияния элементов. После введения стенок можно пренебречь полем вне единичной ячейки, а саму ячейку можно рассматривать как своего рода волновод. Все взаимные связи между щелями учитываются автоматически. Такой подход позволяет использовать хорошо развитую теорию волноводов.

1.3. Расчет полевых и импедансных характеристик ФАР

Результаты, полученные на основе модели бесконечных периодических структур, позволяют оценить свойства центральных излучателей больших АР. Часто требуется выполнить расчеты для АР малых размеров, либо исследовать краевые эффекты в больших АР. Расчет взаимных сопротивлений можно выполнять и методами поэлементного подхода, но как правило это сложная электродинамическая задача. Решить данную задачу позволяет процедура, построенная на основе эквивалентности метода поэлементного расчета входных сопротивлений излучателя в бесконечной АР и метода, основанного на теории бесконечных периодических структур [4].

Входное сопротивление элемента бесконечной периодической линейной решетки. Для линейной решетки полосковых вибраторов, расположенных на многослойной диэлектрической подложке (рис.1.3) и имеющих распределение тока

$$J(x, y) = \frac{1}{a} \cos\left(\frac{\pi}{b} y\right) \cdot \vec{a}_y, \quad (1.1)$$

где \vec{a}_y -единичный вектор, входное сопротивление можно записать в виде [1]

$$Z_{\text{ex}} = \iint_{SS'} J(y) \Gamma_{11;yy}(p, p') J(y') dS dS', \quad (1.2)$$

где $J(y)$ – распределение тока по (1.1);

$\Gamma_{11;yy}(p, p')$ - скалярная компонента функции Грина при разложении полей по волнам E и H.

$$\Gamma_{11;yy}(p, p') = j\omega\alpha_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \left[\frac{1}{k_0^2 k_n^2} \frac{\partial \chi(p)}{\partial y} \cdot \frac{\partial \chi^*(p')}{\partial y'} \cdot \frac{\partial^2 g(z, z')}{\partial z \partial z'} + \frac{1}{k_n^2} \frac{\partial \psi(p)}{\partial x} \cdot \frac{\partial \psi^*(p')}{\partial x'} f(z, z') \right] dk_x, \quad (1.3)$$

где $\chi(p), \psi(p)$ - собственные функции [1]; $g(z, z'), f(z, z')$ - характеристические части функции Грина.

Записав выражения для характеристических частей и собственных функций и подставив их в (1.2) и (1.3), получим выражение для расчета входного сопротивления вибратора, имеющего структуру как на рис. 1.3 и находящегося в составе бесконечной решетки с периодом В [3]

$$Z_{\text{ex}}^{(nA)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{S_n^2}{\pi B} \left[\frac{k_{\xi}^2}{k_n^2} \frac{1}{\vec{Y}^H(z_2)} + \frac{k_{\eta}^2}{k_n^2} \frac{1}{\vec{Y}^E(z_2)} \right] dk_x, \quad (1.4)$$

где $B=nA$ – период решетки;

$$S_n = \frac{\sin(\frac{k_{\eta} a}{2})}{\frac{k_{\eta} a}{2}} \cdot \frac{2b}{\pi} \cdot \frac{\cos(\frac{k_{\xi} b}{2})}{1 - (\frac{k_{\xi} b}{\pi})^2} - \quad \text{множитель, учитывающий}$$

распределение тока по вибратору;

$$k_y = \frac{2\pi n}{B} - k_0 \sin \theta; \quad k_n^2 = k_x^2 + k_y^2; \quad k_{\xi} = k_x \sin \alpha + k_y \cos \alpha;$$

$$k_{\eta} = k_x \cos \alpha - k_y \sin \alpha;$$

α – угол наклона излучателей в решетке ($\alpha=0^\circ$ – параллельные излучатели, $\alpha=90^\circ$ – коллинеарные излучатели).

Для слоистой структуры, представленной на рис. 1.3, проводимость в сечении z_2 определяется по следующим рекуррентным формулам:

$$\vec{Y}^{E,H}(z_2) = \vec{Y}^{E,H}(z_2) + \vec{Y}^{E,H}(z_2);$$

$$\vec{Y}^{E,H}(z_2) = Y_2^{E,H} \frac{\vec{Y}^{E,H}(z_1) \cdot \text{ctg}(\gamma_2 d_2) + jY_2^{E,H}}{Y_2^{E,H} \cdot \text{ctg}(\gamma_2 d_2) + j\vec{Y}^{E,H}(z_1)};$$

$$\vec{Y}^{E,H}(z_1) = -jY_1^{E,H} \text{ctg}(\gamma_1 d_1);$$

$$\vec{Y}^{E,H}(z_2) = Y_3^{E,H};$$

$$Y_i^E = \frac{\omega \varepsilon_i}{\gamma_i}; \quad Y_i^H = \frac{\gamma_i}{\omega \mu_i};$$

$$\gamma_i = \sqrt{k_i^2 - k_n^2}; \quad k_i = k_0 \sqrt{\varepsilon_i}; \quad d_i = z_i - z_{i-1}.$$

Выражение для расчета входного сопротивления вибратора, имеющего структуру как на рис. 1.4 и находящегося в составе бесконечной решетки с периодом В имеет следующий вид [3]

$$Z_{\omega}^{(nA)} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \int_0^{\infty} \frac{S_n^2}{\pi B} \left[\frac{k_{\xi}^2}{k_n^2} \frac{1}{\vec{Y}^H(z_1)} + \frac{k_{\eta}^2}{k_n^2} \frac{1}{\vec{Y}^E(z_1)} \right] dk_x, \quad (1.5)$$

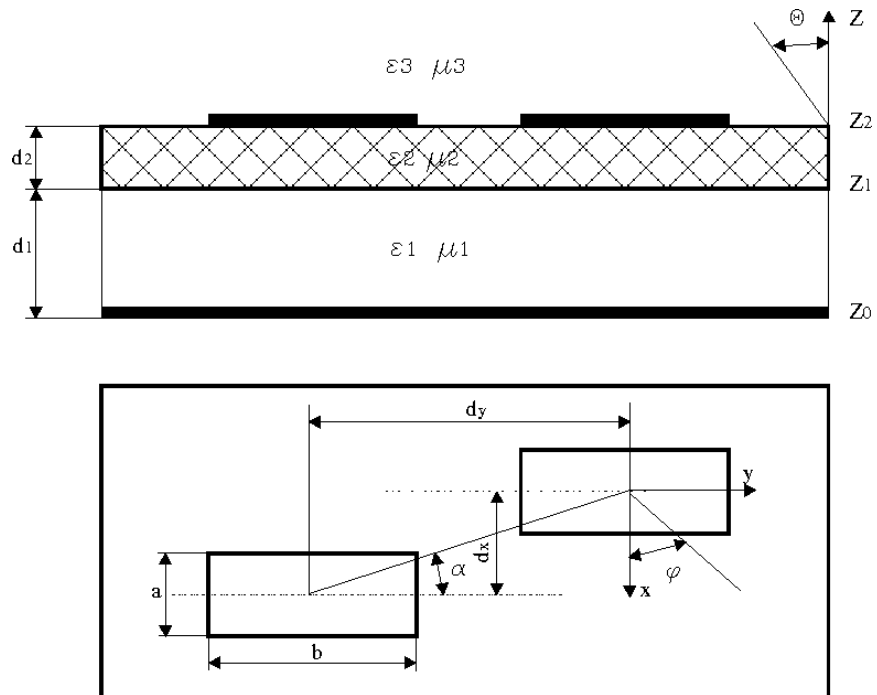


Рис.1.3 Геометрия полосковых излучателей на многослойной диэлектрической подложке

Для слоистой структуры, представленной на рис. 1.4, проводимость в сечении z_1 определяется по следующим рекуррентным формулам:

$$\vec{Y}^{E,H}(z_1) = \vec{Y}^{E,H}(z_1) + \vec{Y}^{E,H}(z_1) ;$$

$$\vec{Y}^{E,H}(z_1) = -jY_1^{E,H} \operatorname{ctg}(\gamma_1 d_1) ;$$

$$\vec{Y}^{E,H}(z_1) = Y_2^{E,H} \frac{\vec{Y}^{E,H}(z_2) \cdot \operatorname{ctg}(\gamma_2 d_2) + jY_2^{E,H}}{Y_2^{E,H} \cdot \operatorname{ctg}(\gamma_2 d_2) + j\vec{Y}^{E,H}(z_2)} ;$$

$$\vec{Y}^{E,H}(z_2) = Y_3^{E,H} ;$$

$$Y_i^E = \frac{\omega \varepsilon_i}{\gamma_i} ; Y_i^H = \frac{\gamma_i}{\omega \mu_i} ;$$

$$\gamma_i = \sqrt{k_i^2 - k_n^2} ; k_i = k_0 \sqrt{\varepsilon_i} ; d_i = z_i - z_{i-1} .$$

Разложение функции Грина по волнам Е и Н, используемые в данном случае, позволяет получить компактную и достаточно простую запись выражений для расчета входного сопротивления элемента, находящегося в составе бесконечной периодической линейной решетки.

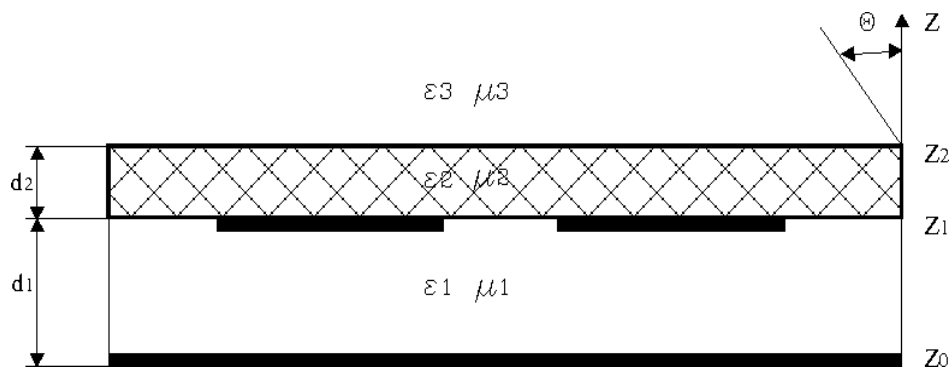


Рис.1.4 Полосковые излучатели на перевернутой диэлектрической подложке

Расчет взаимного сопротивления полосковых излучателей в составе бесконечной линейной решетки. При анализе антенных решеток конечных размеров необходимо знать взаимное сопротивление между излучателями. Одним из классических методов расчета взаимных сопротивлений является метод наводимых ЭДС. Для простых типов излучателей, размещенных на воздушной подложке, удастся получить либо

аналитические, либо легко реализуемые алгоритмы расчета для ЭВМ. Однако, в тех случаях, когда в излучающей структуре располагается слоистый диэлектрик, расчет взаимных сопротивлений между излучателями существенно усложняется, так как кроме пространственных волн на взаимную связь между излучателями оказывают влияние поверхностные волны, направляемые диэлектрическими слоями. Одним из решением проблемы является способ определения взаимных сопротивлений между излучателями, в котором используются результаты численных расчетов входного сопротивления излучателя в составе бесконечной линейной решетки [1,

4].

Рассмотрим бесконечную линейную решетку излучателей, период которой может принимать дискретные значения nA , где $n=1,2,3\dots$. Входное сопротивление решетки с периодом nA при синфазном и равно амплитудном возбуждении определяется как взаимное сопротивление между центральным и p – элементом решетки с периодом nA ,

$$Z_{ex}^{(nA)} = \sum_{p=-\infty}^{\infty} Z_p^{(nA)} = \sum_{p=-\infty}^{\infty} Z_{pn}^{(1A)}, \quad (1.6)$$

где $Z_p^{(nA)}$ - взаимные сопротивления между центральным и p -м элементом ($p \neq 0$) решетки с периодом nA , зависящее только от расстояния между излучателями;

$Z_0^{(nA)}$ - собственное сопротивление центрального излучателя.

В силу симметрии задачи (1.6.) входное сопротивление можно записать в виде

$$Z_{ex}^{(nA)} = Z_0^{(1A)} + 2 \sum_{p=1}^{\infty} Z_{pn}^{(1A)} \quad (1.7)$$

Для того, чтобы определить взаимное сопротивление между центральным излучателем и соседним, находящимся на расстоянии $1A$, нужно из входного сопротивления AP с периодом $1A$ вычитать входное

сопротивление AP с другими периодами, кратными $1A$ так, чтобы при этом компенсировались все взаимные сопротивления кроме одного, интересующего нас. Рассмотрим это более подробно на примерах.

Разность входных сопротивлений центральных элементов решеток с периодом $1A$ и $2A$ определяется как $\Delta Z_1 = Z_{ex}^{(1A)} - Z_{ex}^{(2A)}$.

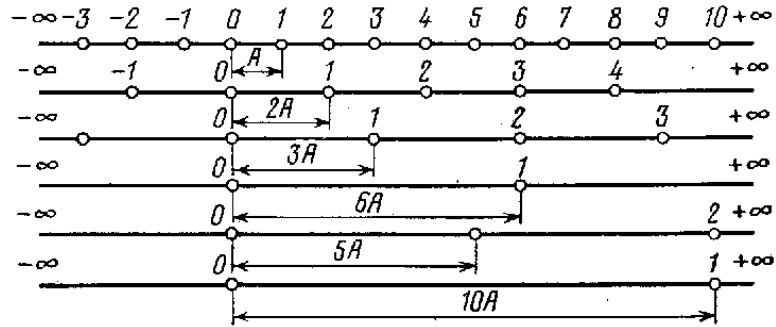


Рис. 1.4 Бесконечные линейные решетки с разными периодами

Так как $Z_{2p}^{(1A)} = Z_p^{(2A)}$ (рис. 1.4), то эта разность входных сопротивлений равна сумме взаимных сопротивлений центрального элемента решетки с периодом $1A$ со всеми нечетными элементами этой решетки. Далее рассмотрим бесконечные AP с периодом $3A$ и $6A$. Если учесть, что $Z_{2p}^{(3A)} = Z_p^{(6A)}$ и $Z_p^{(3A)} = Z_{3p}^{(1A)}$, то разница между входными сопротивлениями центральных элементов данных решеток $\Delta Z_3 = Z_{ex}^{(3A)} - Z_{ex}^{(6A)}$ будет равна удвоенной сумме взаимных сопротивлений центрального элемента решетки с периодом $1A$ с элементами этой же решетки, имеющими номера $3(2p-1)$.

Если продолжить аналогичные рассуждения далее, то можно составить процедуру.

В первой сумме $n=3,5,7,\dots$ -простые, во второй сумме n_1, n_2 -простые,

$$Q_N = \frac{1}{2} (\Delta Z_1 - \sum_{n=3, n-\text{простые}}^N \Delta Z_n + \sum_{\substack{n=n_1 \cdot n_2, \\ n_1, n_2-\text{простые}, \\ n_1 \geq 3}}^N \Delta Z_n) \quad (1.8)$$

Из предыдущих рассуждений ясно, что при вычислении ΔZ_1 из входного сопротивления решетки с периодом $1A$ исключаются собственное

сопротивление центрального элемента и взаимные сопротивления между этим элементом и элементами данной решетки с четными номерами. При вычитании из ΔZ_1 величины ΔZ_3 из рассмотрения исключаются взаимные сопротивления между центральным элементом решетки с периодом $1A$ и элементами данной решетки с номерами $3(2p-1)$ ($p=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3$.) и т.д.

Следовательно, при $N \rightarrow \infty$ величина Q_N соответствует значению взаимного сопротивления двух излучателей, разнесенных на расстояние $1A$. При расчетах взаимного сопротивления между двумя излучателями с заданной точностью требуется конечное число итераций N в (1.8), которое определяется скоростью сходимости значений входного сопротивления $Z_{ax}^{(nA)}$ ($n \rightarrow \infty$) к значению собственного сопротивления излучателя. При использовании в (1.8) N итераций величина ошибки вычисления взаимного сопротивления будет определяться следующим выражением:

$$\delta_N = \sum_{p=N'}^{\infty} \alpha_p Z_p^{(1A)}, \quad (1.9)$$

где $\alpha_p = \begin{cases} -1, & p = n_1 \cdot n_2; n_1, n_2 - \text{простые}; n_1 > n_2; n_1 \geq N'; \\ 1, & p - \text{простые}; \end{cases}$

p – числовая последовательность, по которой осуществляется суммирование в процедуре (1.8); N' – следующее за N число этой числовой последовательности.

Для возбуждения пространственных волн выражение (1.9) можно записать в следующем виде:

$$\delta_N = B \sum_{p=N'}^{\infty} \alpha_p \frac{e^{-jkpA}}{pA}, \quad (1.10)$$

где k – волновое число;

B – коэффициент пропорциональности.

В случае возбуждения поверхностных волн выражение (1.9) можно записать в следующем виде:

$$\delta_N = B_{ПВ} \sum_{p=N'}^{\infty} \alpha_p \frac{e^{-j\chi_{ПВ} pA}}{\sqrt{pA}}, \quad (1.11)$$

ГДЕ $\chi_{ПВ}$ - волновое число;

$B_{ПВ}$ - коэффициент пропорциональности.

Ряд (1.10) является абсолютно сходящимся, ряд (1.11) сходится для всех A за исключением значений, кратных длине поверхностной волны.

Следует остановиться на оценке быстродействия данного алгоритма. Время счета одного значения взаимного сопротивления между излучателями складывается из времени счета $2 \cdot m$ значений входного сопротивления излучателя в составе бесконечной АР, где m – число слагаемых в процедуре (1.8).

Расчет взаимного сопротивления в двумерной плоской ФАР.

Изложенный в предыдущем разделе метод определения взаимного сопротивления между излучателями в составе линейной антенной решетки может быть применен и для расчета двумерных плоских ФАР.

Рассмотрим ФАР, изображенную на рис.1.5. Ее можно представить в виде нескольких линейных антенных решеток. Например, излучатели с номерами 0; 0 1; 0 2; 0 3; 0 представляют линейную решетку из параллельных вибраторов ($\beta=90^\circ$), а излучатели с номерами 0; 0 0; 1 0; 2 0; 3 – линейную решетку из коллинеарных вибраторов ($\beta=0^\circ$), см. рис. 1.6. Для расчета взаимного сопротивления между 0; 0 и 1; 0 излучателем необходимо сначала по (1.4) при фиксированном значении $\beta=90^\circ$ вычислить несколько значений (N) входного сопротивления излучателя в составе бесконечной решетки, имеющей периоды, которые равны и кратны расстоянию между рассматриваемыми элементами ФАР. Затем согласно процедуре (1.8) следует определить взаимное сопротивление, исходя из полученных N значений входного сопротивления [4].

Поскольку антенная решетка является эквидистантной, то удобно проводить расчет входного сопротивления по (1.4) не между конкретными

парами излучателей, а при фиксированном угловом направлении (например, α_1 -см. рис. 1.6), в котором располагается выбранная линейная решетка из нескольких излучателей.

В этом случае создается массив расстояний, в котором исключаются повторяющиеся периоды, что сокращает число вычислений. Например, рассмотрим линейную решетку 0; 0 1; 0 2; 0 3; 0, расстояние между соседними излучателями составляет d_x .

Если рассматривать взаимное сопротивление отдельно между каждой парой излучателей (0; 0 и 0; 1; 0; 0 и 0; 2 и т.д.), то потребовалось бы составить следующие массивы расстояний для каждой пары:

$(d_x, 2d_x, 3d_x, 6d_x \dots)$ – массив расстояний для пары 0; 0 и 0; 1,

$(2d_x, 4d_x, 6d_x, 12d_x \dots)$ – массив расстояний для пары 0; 0 и 0; 2,

$(3d_x, 6d_x, 9d_x, 18d_x \dots)$ – массив расстояний для пары 0; 0 и 0; 3.

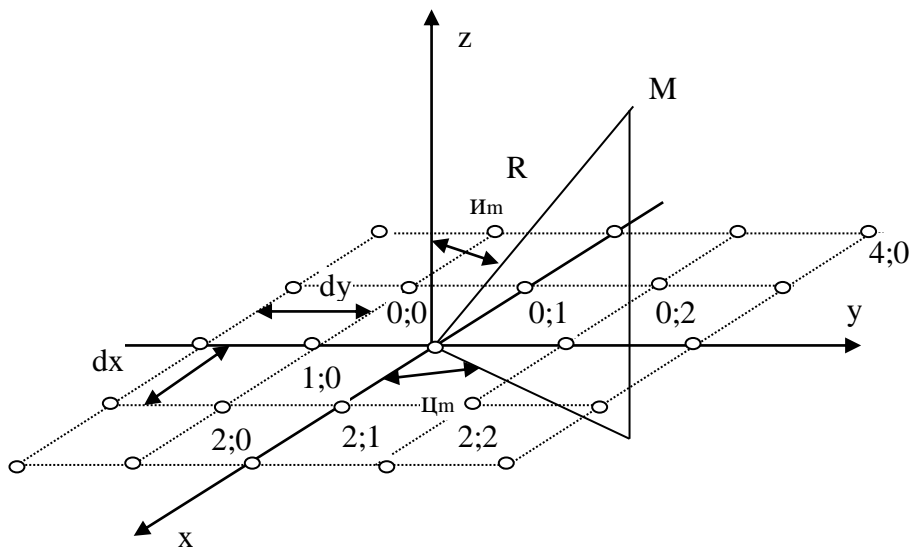


Рис. 1.5 Плоская ФАР

Если же рассматривать излучатели совместно, то потребуется один массив расстояний, в котором будут исключены повторяющиеся периоды:

$(d_x, 2d_x, 3d_x, 4d_x, 6d_x, 9d_x, 18d_x \dots)$ – массив расстояний при фиксированном угловом направлении.

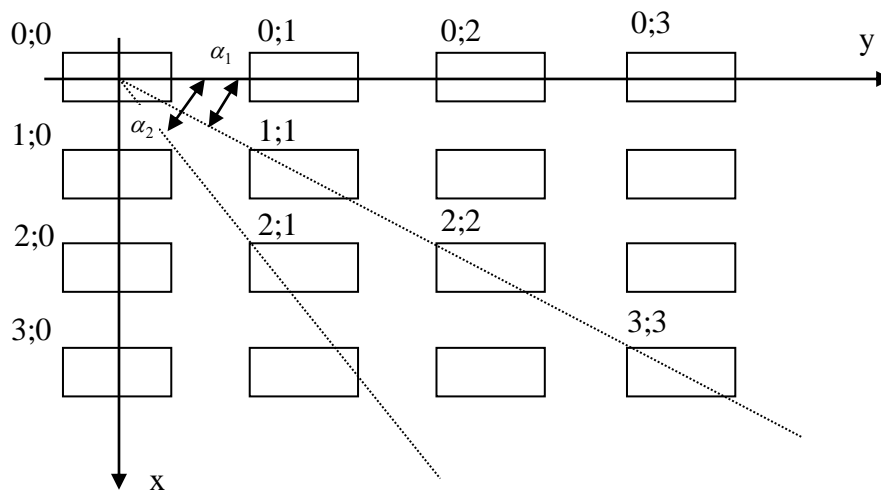


Рис. 1.6 Представление двумерной решетки в виде нескольких линейных решеток

Так как излучатели одинаковые, то взаимное сопротивление между 0; 0 и 0; 1 будет равно взаимному сопротивлению между 0; 1 и 0; 2. Взаимное сопротивление между 0; 0 и 0; 2 будет равно взаимному сопротивлению между 0; 1 и 0; 3. Таким образом, при расчете взаимного сопротивления между излучателями ФАР достаточно рассчитать взаимное сопротивление между 0; 0 излучателем и всеми остальными. Взаимное сопротивление между другими парами будет выбираться из ранее рассчитанных значений из условия совпадения угла и расстояния между излучателями.

Сделанные выше замечания позволяют создать алгоритм расчета взаимных сопротивлений между излучателями в составе плоской ФАР достаточно универсальным и значительно снижающим вычислительные затраты машинного времени по сравнению с решением задачи напрямую.

Расчет входного сопротивления излучателя с учетом взаимных связей. Входное сопротивление излучателя в составе антенной решетки и находящегося изолированно от других не равнозначны. Это объясняется наличием взаимной связи между излучателями в составе решетки. При сближении элементов взаимная связь возрастает и уменьшается ток каждого отдельного элемента синфазной антенной решетки при неизменной подводимой к излучателю мощности.

Систему входов АР размера $N = m \times n$ описывает следующая матрица сопротивлений

$$Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mn} \end{bmatrix}, \quad (1.12)$$

где Z_{ii} - собственные сопротивления излучателей; $Z_{ij}, (i \neq j)$ - взаимное сопротивление между i и j излучателями.

Амплитудное распределение можно представить в виде матрицы-столбца комплексных напряжений

$$\dot{U} = \begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dots \\ \dot{U}_N \end{pmatrix} \quad (1.13)$$

Токи на излучателях можно представить в виде матрицы-столбца комплексных токов

$$\dot{I} = \begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dots \\ \dot{I}_N \end{pmatrix} \quad (1.14)$$

Тогда матрица сопротивлений $[Z]$ однозначно связывает матрицу напряжений $[U]$ и матрицу токов $[I]$, согласно [5]

$$\begin{pmatrix} \dot{U}_1 \\ \dot{U}_2 \\ \dots \\ \dot{U}_N \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} & \dots & Z_{1n} \\ Z_{21} & Z_{22} & \dots & Z_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ Z_{m1} & Z_{m2} & \dots & Z_{mn} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dots \\ \dot{I}_N \end{pmatrix} \quad (1.15)$$

Амплитудное распределение в АР задается заранее, матрицу взаимных сопротивлений $[Z]$ можно вычислить, используя методику, описанную в предыдущих разделах работы, тогда матрицу токов $[I]$ на элементах с учетом

взаимных связей можно определить через следующее выражение, записанное в матричной форме

$$[\dot{I}] = [\dot{Z}]^{-1} [\dot{U}], \quad (1.16)$$

где матрица $[\dot{Z}]^{-1}$ имеет смысл матрицы проводимости. В этом случае, входное сопротивление для каждого элемента антенной решетки с учетом взаимных связей можно записать в виде [5]

$$Z_{\text{вх}n} = \sum_{m=1}^N \dot{Z}_{nm} \frac{\dot{I}_m}{\dot{I}_n}, \quad (1.17)$$

где $n=1 \dots N$; N – общее число излучателей в ФАР.

Например, для ФАР из четырех элементов входное сопротивление первого элемента будет иметь вид

$$Z_{\text{вх}1} = \dot{Z}_{11} + \dot{Z}_{12} \frac{\dot{I}_2}{\dot{I}_1} + \dot{Z}_{13} \frac{\dot{I}_3}{\dot{I}_1} + \dot{Z}_{14} \frac{\dot{I}_4}{\dot{I}_1}.$$

2. ПРОГРАММЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК ФАР

2.1. Общие сведения

В результате выпускной квалификационной работы был создан пакет программ, предназначенный для расчета полевых и импедансных характеристик плоской ФАР, излучатели в составе которой представляют собой полосковые вибраторы или резонаторные излучатели, выполненные на многослойном диэлектрике (см. рис.1.2 и рис.1.3). Для каждого типа диэлектрика разработан собственный пакет. Эти пакеты идентичны, имеют одинаковые алгоритмы расчета и интерфейс, поэтому в дальнейшем будем рассматривать только один из пакетов [10].

Программный пакет выполнен в рамках математического пакета для инженерных расчетов Mathcad 2001, который благодаря наглядной форме отображения расчетных соотношений и результатов доступен для понимания пользователями [13]. Кроме того, формулы, выходные данные, графики, построенные в данном пакете, могут быть легко импортированы в современные текстовые редакторы, такие как Word, что удобно при создании научных статей, отчетов и других работ.

Пакет, структурная схема пакета приведена на рис. 2.1., включает четыре программы, каждая из которых выполняет определенные функции:

- *ФАР_вз_связь.mcd* – центральная программа пакета и выполняет расчет определение полевых и импедансных характеристик ФАР с учетом и без учета взаимной связи между излучателями;
- *вз_сопрот.mcd* – вспомогательная программа пакета и предназначена для исследования зависимости взаимного сопротивления излучателей от расстояния между ними;
- *рез_размер.mcd* – программа, вычисляющая входное сопротивление излучателя при различной его длине и ширине. Эта программа может быть полезна при определении резонансного размера излучателя без;

- *ФАР_полоса.mcd* – программа выполняющая расчет полевых и импедансных характеристик ФАР в полосе частот по результатам, полученным в программе *ФАР_вз_связь.mcd*. Эти результаты записаны в файлах данных.

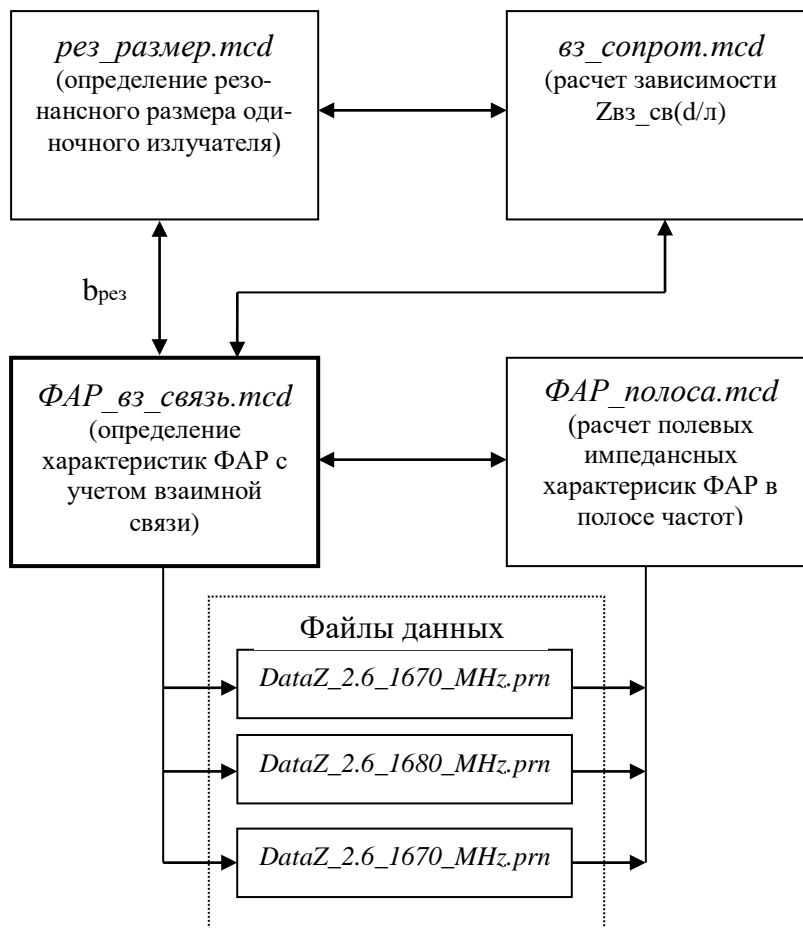


Рис. 2.1 Структурная схема пакета программ

Программы связаны между собой с помощью гиперссылок, изображенные на рис.2.1 в виде стрелок, что позволяет удобно переходить от одной программы к другой не выходя из среды общей Mathcad. Это создает цельность структуры и общность восприятия пакета.

2.2. Программа для расчета полевых и импедансных характеристик ФАР

Описание применения. Программа, имеющая название *ФАР_вз_связь.tcd* является центральной программой разработанного пакета и выполняет расчет характеристик плоской ФАР, выполненной из полосковых вибраторов или резонансных излучателей на многослойном диэлектрической подложке, с учетом и без учета взаимной связи между излучателями. Выходными данными программы являются:

- входное сопротивление одиночного излучателя;
- входное сопротивление каждого излучателя ФАР с учетом взаимной связи, рассчитанное по (1.17);
- входное сопротивление ФАР и КСВ при последовательной схеме питания;
- входное сопротивление ФАР и КСВ при двоично-этажной схеме питания;
- матрица взаимных сопротивлений (1.12);

Входные данные задаются пользователем вручную в тексте программы, состав входных данных представлен ниже в описание программы.

Методика испытаний. Объектом испытаний является файл с именем *ФАР_вз_связь.tcd*, который является программой для расчета полевых и импедансных характеристик ФАР с учетом и без учета взаимной связи между излучателями. Целью испытаний является проверка точности работы программы на конкретной вычислительной установке. Во время испытаний следует проверить прохождение контрольного примера при решении задачи с различными входными параметрами. Испытания следует проводить на той же вычислительной установке, на которой планируется эксплуатация программы.

Для проведения испытаний нужно иметь:

- установленный математический пакет Mathcad 2001 или его более поздние версии;

- файл с именем *ФАР_вз_связь.mcd*;
- значения входных данных, приводимых ниже;
- таблицу тестовых результатов;

В качестве тестовой задачи выступает расчет АР с равноамплитудным возбуждением размером 2x2 на трех частотах: 1600МГц, 1680МГц, 1740МГц. Полученные в ходе тестирования данные будут являться исходными для тестирования программы *ФАР_полоса.mcd*. Общие исходные данные следующие:

- $f_0=1680$ МГц;
- f – одна из трех частот (1600 МГц, 1680 МГц, 1740 МГц);
- $N_x=2, N_y=2$;
- $d_x=0,5; d_y=0,5$;
- $a=b=0,424$;
- $d_1=3$ мм, $d_2=1$ мм;
- $\epsilon_1=1; \epsilon_2=2,6; \epsilon_3=1; m_1= m_2= m_3=1$;
- $D_x=D_y=1$;
- $I_{max}=I_{cmax}=0$;
- $c_l=50$.

В результате трехкратного выполнения программы (последовательно изменяется только значение частоты f) в той же директории, где расположен файл *ФАР_вз_связь.mcd*, должны быть созданы три файла данных с именами: *DataZ_2.6_1600_MHz.prn*, *DataZ_2.6_1680_MHz.prn*, *DataZ_2.6_1740_MHz.prn*. Тексты этих файлов приведены в приложении 1.

Руководство пользователя. Программа *ФАР_вз_связь.mcd* является центральной программой пакета и выполняет расчет полевых и импедансных характеристик ФАР с учетом и без учета взаимной связи между излучателями на одной фиксированной частоте.

Программа разработана в рамках математического пакета для инженерных расчетов Mathcad 2001 Professional. Требования к ресурсам

вычислительной техники определяются, в первую очередь, требованиями, предъявляемыми разработчиками данного математического пакета.

Для выполнения программы предъявляются следующие минимальные требования к вычислительной установке и системе:

- вычислительная установка типа IBM PC с процессором Pentium 133 MHz;
- наличие CD-ROM (для установки мат. пакета);
- операционная система Windows 95 или Windows NT 4.0 или более поздние версии;
- объем оперативной памяти не менее 32MB (64 MB рекомендуется);
- объем свободного пространства на диске 1,4 MB (пакет программ) +120 MB (Mathcad);

Для выполнения программы необходимо:

1. Загрузить математический пакет Mathcad;
2. Открыть файл с именем *ФАР_вз_связь*, имеющий расширение *mcd*;
3. В разделе *Исходные данные для расчета* ввести числовые значения указанных там параметров, указывая размерность для абсолютных величин;
4. После ввода исходных данных для начала вычисления нужно нажать клавишу F9, если в установках не указано автоматическое вычисление. Ошибки, которые могут возникнуть на этом этапе – это пустое поле одной из входных величин или же неверно указанная (или вовсе не указанная) размерность величины. Признаком начала вычислений служит мигающая лампочка курсора. Время вычисления зависит от типа процессора и составляет для ФАР размера 4x4 около 10 минут при использовании процессора Pentium II 650 MHz.
5. По окончании расчетов (признаком окончания является возвращение обычной стрелки курсора) должны быть построены графики, выведены числовые значения, которые могут быть скопированы и через буфер обмена экспортированы в другие пакеты (например Word).

Описание программы. Программа *ФАР_вз_связь.mcd* является центральной программой пакета и выполняет расчет определения полевых и импедансных характеристик ФАР с учетом и без учета взаимной связи между излучателями. Результаты расчета в виде файлов данных являются исходными для программы *полоса*.

Алгоритм расчета взаимного сопротивления, используемый для расчетов, основан на методе бесконечных периодических структур, описанный подробно в [3,4] и в разделе 1.3 данной выпускной квалификационной работы.

Блок-схема программы представлена на рис.2.2. В программе можно выделить три части, обозначенные в тексте программы в виде заголовков:

1. Исходные данные для расчета

В этой части производится ввод следующих параметров ФАР:

- f_0, f – центральная частота и частота для расчетов;
- N_x, N_y – количество излучателей вдоль оси ОХ, ОУ;
- d_x, d_y – шаг решетки вдоль оси ОХ, ОУ;
- a, b – ширина и длина одиночного излучателя;
- d_1, d_2 – толщина слоев диэлектрической подложки;
- $\epsilon_1, \epsilon_2, \mu_1, \mu_2$ – диэлектрическая и магнитная проницаемость слоев;
- D_x, D_y – величина пьедестала амплитудного возбуждения;
- $\theta_{\max}, \varphi_{\max}$ – углы фазирования АР;
- $s_{\text{л}}$ – волновое сопротивление линии питания.

2. Основные расчетные соотношения

В этой части находятся все расчетные функции и формулы (для удобства использования программы эта громоздкая часть свернута в закрытую область, которую можно просмотреть раскрыть двойным щелчком по стрелке-указателю области), вычисляющие:

- входное сопротивление одиночного излучателя в составе бесконечной периодической решетки $Z_{\text{вх}}(Dr)$ (1.4);

- взаимное сопротивление Z_z (1.8);
- матрицу взаимных сопротивлений Z (1.12);
- матрицу токов $[I]$ согласно (1.16);
- входное сопротивление излучателя с учетом взаимной связи $Z_{вхсв}$ (1.17);
- входное сопротивление ФАР при двоично-этажной схеме питания $Z_{вхАРпаралл}$;
- входное сопротивление ФАР при последовательной схеме питания $Z_{вхАРпосл}$;
- КСВ, Г.

Вывод результатов. В этой части строится график диаграммы направленности ФАР с учетом и без учета взаимной связи, выводится массив взаимных сопротивлений Z другие результаты расчета функций, представленный в предыдущем пункте.

Остановимся подробнее на второй части программы. Основу алгоритма расчета взаимного сопротивления составляет функция вычисления входного сопротивления излучателя в составе бесконечной периодической решетки. Расчет массива входных сопротивлений Z_a , выполняемый данной функцией, занимает основную часть машинного времени, поэтому оптимизации функции было уделено особое внимание. Блок-схема функции приведена на рис. 2.3. Массив входных данных представляет собой значения расстояний от крайнего излучателя $(0; 0)$ до излучателей, расположенных на одном угловом направлении от него (рис. 1.6), и значения кратные этим расстояниям, сформированные в соответствии с рядом простых чисел, которые используются в процедуре (1.8). Из этого массива последовательно извлекается числовые значения, начиная с наименьшего, и проводится расчет входного сопротивления.

Согласно (1.4), расчет входного сопротивления необходимо производить путем интегрирования и суммирования в бесконечных пределах,

что невозможно реализовать численными методами. Требуется ограничивать эти пределы, что неизбежно приводит к ошибке вычисления. Максимальное количество гармоник определяется величиной N_{\max} . Сложность заключается и в том, что эта величина зависит от расстояния D_r : чем больше расстояние между излучателями, тем больше требуется гармоник. Это приводит к тому, что время расчет входного сопротивления с ростом расстояния значительно увеличивается. С другой стороны, с ростом расстояния входное сопротивление излучателя в составе бесконечной периодической решетки изменяется слабо и в пределе стремится к собственному входному сопротивлению излучателя. Это обстоятельство и заложено в основу функции расчета сопротивления одиночного излучателя. Тем самым, требуется установить какой-либо критерий, по которому входное сопротивление уже бы не рассчитывалось, если оно с ростом D_r изменяется незначительно. Для этого вводится величина $Z_{\delta} = |Z_{\text{next}} - Z_{\text{prev}} / Z_{\text{prev}}|$, представляющая собой относительную разность между вновь рассчитанным значением сопротивления Z_{next} и предыдущим значением Z_{prev} . Если величина Z_{δ} при очередном вычислении становится меньше устанавливаемой константы Z_{tol} , то дальнейший расчет сопротивлений прекращается, а для последующих элементов из массива расстояний D_r , если они еще имеются, присваивается значение входного сопротивления, равное последнему рассчитанному.

Взаимное сопротивление вычисляется функцией Z_z в соответствии с (1.8). Как уже отмечалось выше, взаимное сопротивление между разными парами будет совпадать, если излучатели в этих парах расположены под одним углом и на одинаковом расстоянии. Поэтому расчет проводится только между крайним излучателем $(0; 0)$ и всеми остальными излучателями ФАР. Остальные элементы в матрице взаимных сопротивлений (1.12) заполняются из соответствия углов и расстояний.

Как уже отмечалось ранее, собственное входное сопротивление излучателя можно вычислить используя функцию расчета входного

сопротивления излучателя в составе бесконечной периодической решетки. Для этого выбирается период решетки равный 5λ , при таком расстоянии взаимное сопротивление пренебрежимо мало по сравнению с собственным сопротивлением.

Входное сопротивление ФАР при двоично-этажной схеме питания ($Z_{вхАР\text{паралл}}$) и при последовательной схеме питания ($Z_{вхАР\text{посл}}$) вычисляется на основе пересчитанных на край кромки входных сопротивлений излучателей. Эти сопротивления, определяемые через формулу для длинных линий

$$Z(l) = \rho_{\lambda} \frac{Z_n + j\rho_{\lambda} \operatorname{tg}(\beta \cdot l)}{\rho_{\lambda} + jZ_n \operatorname{tg}(\beta \cdot l)}, \quad (2.1)$$

пересчитываются ко входу $\lambda/4$ трансформаторов. Трансформаторы располагаются на входе ФАР и предназначены для согласования сопротивления излучателей и волнового сопротивления линии питания s_{λ} на центральной частоте f_0 . Поскольку согласование не является идеальным в полосе частот, в программе предусмотрен расчет КСВ и Γ , характеризующие степень согласованности ФАР с линией питания.

Массив рассчитанных значений входного сопротивления излучателя в составе бесконечной периодической решетки и массив, составленный из исходных данных, сохраняется в файле данных в той же директории, что и программа. Файл имеет название `DataZ_***_MHz.prn`, где первое число $*$ – относительная диэлектрическая проницаемость второго слоя подложки, второе число $***$ – значение частоты, на которой проводился расчет (например, `DataZ_2.6_1680_MHz.prn`).

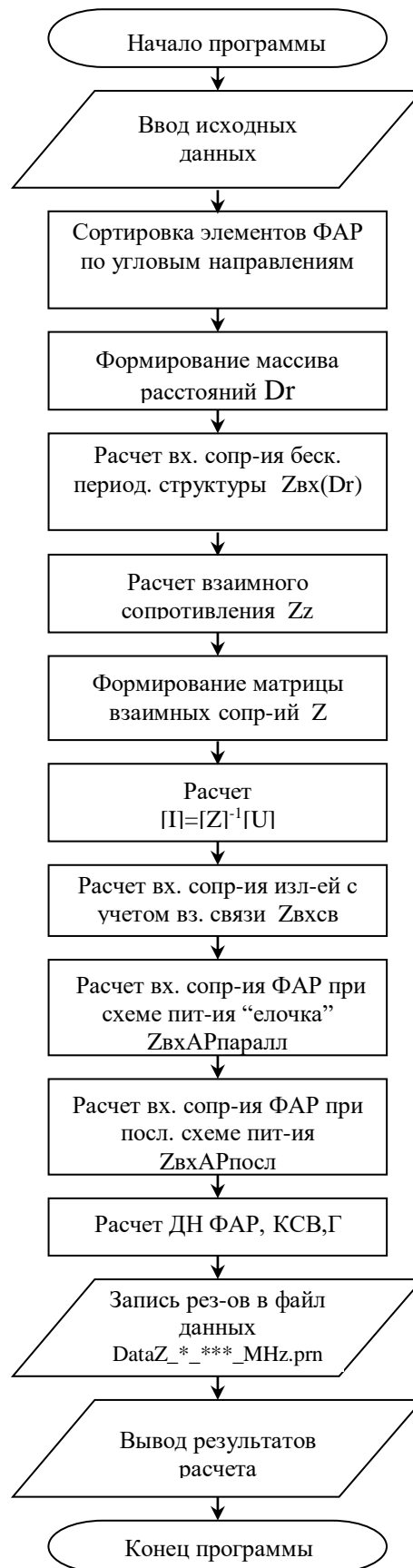


Рис. 2.2 Блок – схема программы ФАР_вз_связь

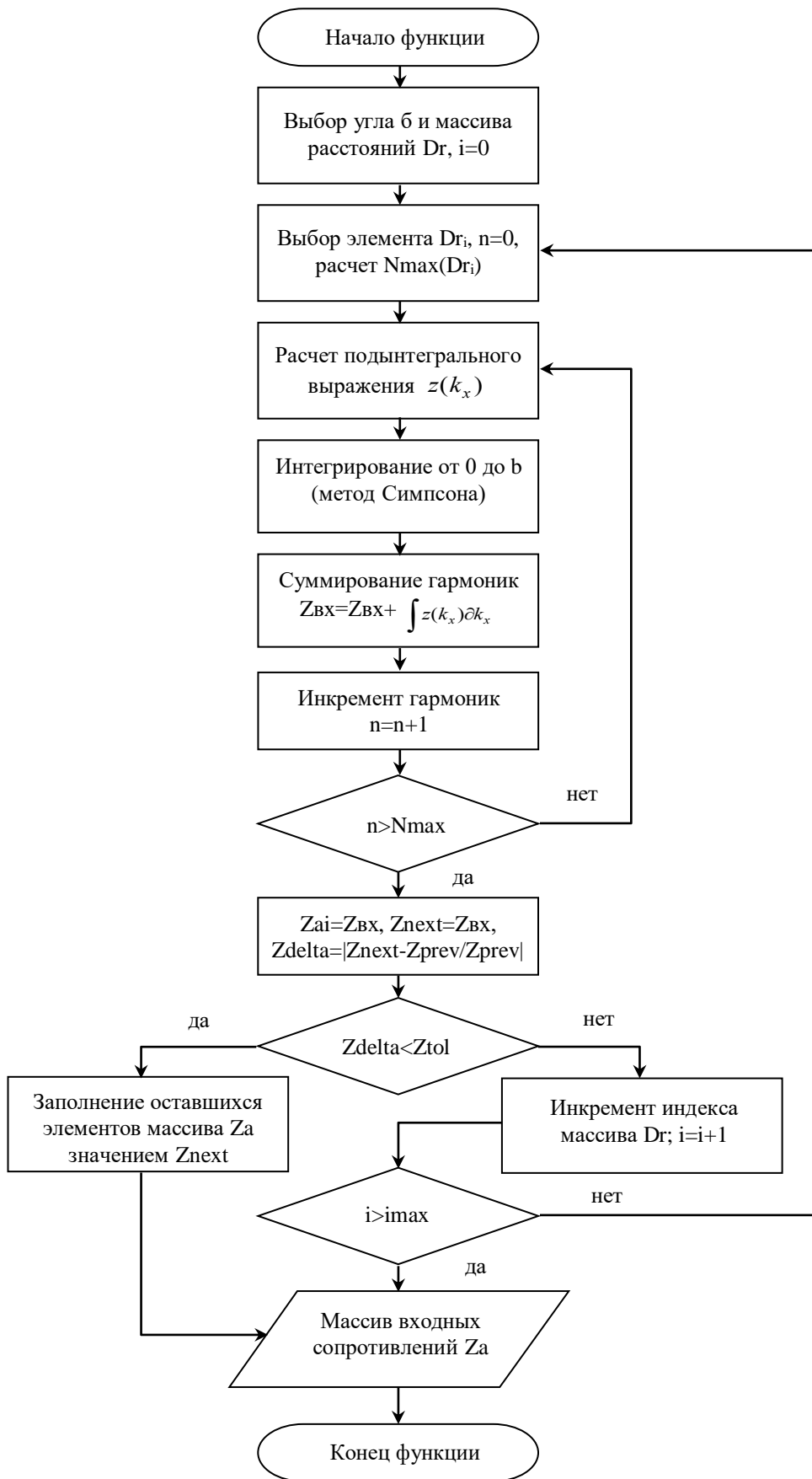


Рис. 2.3 Блок – схема функции расчета входного сопротивления излучателя в составе бесконечной периодической структуры

2.3. Программа для характеристик ФАР в полосе частот

Описание применения. Программа, имеющая название *ФАР_полоса.mcd*, выполняет расчет характеристик плоской ФАР, выполненной из полосковых вибраторов или резонансных излучателей на многослойном диэлектрической подложке, с учетом и без учета взаимной связи между излучателями в полосе частот. В программе рассматривается два варианта схемы питания ФАР: последовательная и двоично-этажная («елочка»). Кроме того, в программе предусмотрена возможность расчета согласующих $\lambda/4$ трансформаторов и выбор типа согласования (задается переменной *Type*) либо по входному сопротивлению, полученному без учета (*Type=0*), либо по сопротивлению, полученному с учетом взаимной связи (*Type=1*).

Программа применяется после того, как был проведен расчет на фиксированных частот с помощью программы *ФАР_вз_связь.mcd*. Выходными данными программы являются:

- график КСВ, входного сопротивления при последовательной схеме питания в полосе частот;
- график КСВ, входного сопротивления при двоично-этажной схеме питания в полосе частот;
- диаграмма направленности ФАР с учетом и без учета взаимной связи, построенная при двух выбранных частотах;
- входное сопротивление одиночного излучателя в полосе частот;

Входными данными являются файлы (*DataZ_*_***_MHz.prn*), формируемые программой *ФАР_вз_связь.mcd*. Количество подключаемых файлов должно быть не менее трех.

Методика испытаний. Объектом испытаний является файл с именем *ФАР_полоса.mcd*, который является программой для расчета полевых и импедансных характеристик ФАР в полосе частот. Целью испытаний является проверка точности работы программы на конкретной вычислительной установке. Во время испытаний следует проверить

прохождение контрольного примера при решении задачи с различными входными параметрами. Испытания следует проводить на той же вычислительной установке, на которой планируется эксплуатация программы.

Для проведения испытаний нужно иметь:

- установленный математический пакет Mathcad 2001 или его более поздние версии;
- файл с именем *ФАР_полоса.mcd*;
- не менее трех файлов данных с общим именем *DataZ_*_*_*_MHz.prn*;
- таблицу тестовых результатов.

В качестве тестовой задачи выступает определение характеристик ФАР с параметрами, представленными в разделе **Error! Reference source not found..** Исходными данными являются файлы данных с именами *DataZ_2.6_1600_MHz.prn*, *DataZ_2.6_1680_MHz.prn*, *DataZ_2.6_1740_MHz.prn*, которые должны находиться в той же директории, где расположен файл *ФАР_полоса.mcd*, тексты этих файлов приведены в приложении 1. В самой программе в таблице Frequency необходимо ввести числовые значения 1600,1680,1740 в произвольном порядке, если в таблице есть другие значения, то их надо удалить. Кроме того, надо указать $\epsilon_{\text{diel}}=2.6$, Type=1.

В результате должна быть построена ДН, КСВ (рис. 2.4, 2.5) и получены следующие числовые значения:

$$\begin{aligned}
 R_{\text{транс_посл_один}} &= 51.275 \Omega & R_{\text{транс_посл_дв1}} &= 66.072 \Omega \\
 & & R_{\text{транс_посл_дв2}} &= 70.711 \Omega \\
 \Delta f(\text{КСВ}_{\text{гр_посл}}) &= 2.086 & \Delta f(\text{КСВ}_{\text{гр_посл_двтр}}) &= 1.7 \\
 \Delta f(\text{КСВ}_{\text{гр_посл_св}}) &= 3.697 & \Delta f(\text{КСВ}_{\text{гр_посл_двтр_св}}) &= 4.013 \\
 R_{\text{транс_парал_один}} &= 93.44 \Omega & R_{\text{транс_парал_дв1}} &= 18.127 \Omega \\
 & & R_{\text{транс_парал_дв2}} &= 70.711 \Omega
 \end{aligned}$$

$$\Delta f(\text{КСВ}_{\text{гр_паралл}}) = 2.5 \quad \Delta f(\text{КСВ}_{\text{гр_паралл_двтр}}) = 2.873$$

$$\Delta f(\text{КСВ}_{\text{гр_паралл_св}}) = 2.035 \quad \Delta f(\text{КСВ}_{\text{гр_паралл_двтр_св}}) = 2.369$$

Руководство пользователя. Программа *ФАР_полоса.mcd* является дополнением к центральной программе пакета *ФАР_вз_связь.mcd* и выполняет расчет полевых и импедансных характеристик ФАР с учетом и без учета взаимной связи между излучателями в полосе частот.

Программа разработана в рамках математического пакета для инженерных расчетов Mathcad 2001 Professional [13]. Требования к ресурсам вычислительной техники представлены в разделе 2.2 (руководство пользователя) данной выпускной квалификационной работы.

Для выполнения программы необходимо:

1. Загрузить математический пакет Mathcad 2001;
2. Открыть файл с именем *ФАР_полоса*, имеющий расширение *mcd*;
3. В разделе *Исходные данные для расчета* в таблице Frequency необходимо ввести числовые значения не менее трех частот. В директории, где расположена программа *ФАР_полоса*, должны находиться файлы данных с именами, соответствующими введенным значениям частот (например, если в таблице были введены числа 1670,1680,1690, то должны быть файлы

DataZ_2.6_1670_MHz.prn,

DataZ_2.6_1680_MHz.prn,

DataZ_2.6_1690_MHz.prn).

Если таких файлов данных не существует, то необходимо перейти в программу *ФАР_вз_связь* и провести последовательно расчет на каждой из интересующих частот. Кроме того, следует ввести значение относительной диэлектрической проницаемости второго слоя подложки в поле ϵ_{diel} . Это сделано для того, чтобы можно было проводить анализ характеристик ФАР при различных материалах подложки.

4. Для начала вычислений нужно нажать клавишу F9, если в установках не указано автоматическое вычисление. Ошибки, которые могут возникнуть на этом этапе – это отсутствие одного или нескольких

подключаемых файлов данных. Проверьте в директории, где расположена программа *ФАР_полоса*, наличие всех файлов данных. Признаком начала вычислений служит мигающая лампочка курсора. Время вычислений незначительно (до 1 мин.)

5. По окончании расчетов (признаком окончания является возвращение обычной стрелки курсора) должны быть построены графики, выведены числовые значения, которые могут быть скопированы и через буфер обмена экспортированы в другие пакеты (например Word). Поскольку для построения графиков используется интерполяция расчетных точек, может возникнуть ситуация, когда интерполированный график выходит за границы физической реализуемости параметров (например, $KCB < 1$, $\text{Re}(Z_{вх}) < 0$). Для устранения этого явления рекомендуется дополнить количество расчетных точек, выполнив вычисления в программе *ФАР_вз_связь* на частоте, где происходит искажение величины.

Описание программы. Программа *ФАР_полоса.mcd* является дополнением к центральной программе пакета *ФАР_вз_связь* и создана для удобства обработки результатов. Расчет в полосе частот можно было бы производить и в рамках одной программы *ФАР_вз_связь*, но это потребовало бы значительных одновременных затрат ресурсов вычислительной техники (до 1 часа). При расчете характеристик ФАР последовательно на каждой из частот существует возможность прервать вычисления на одной из них при получении некорректного результата или при выходе результата за границы интересующего диапазона.

Алгоритм расчета, используемый в данной программы, совпадает с алгоритмом программы *ФАР_вз_связь* (рис.2.2). Отличие заключается в том, что в программе не проводится расчет массива входных сопротивлений излучателя в составе бесконечной периодической решетки Z_a . Этот массив считывается с файлов данных. Кроме того, пользователем не вводятся исходные данные для расчета, они также считывается с файлов данных.

Главной особенностью программы является построение характеристик ФАР (K_{CB} , $Z_{вх}$) в полосе частот. Количество расчетных точек должно быть не менее трех, верхний предел не ограничен, но исходя из значительных затрат машинного времени не может быть несколько десятков, которое требуется для построения гладких графиков. Для решения этой проблемы в программе предусмотрена интерполяция расчетных точек полиномом второй степени, которая осуществляется с помощью встроенной функции математического пакета.

2.4. Программа для расчета входного сопротивления изолированного излучателя

Описание применения. Программа, имеющая название *рез_размер.mcd*, проводит расчет входного сопротивления изолированного одиночного излучателя, выполненного на многослойном диэлектрической подложке, при различной геометрии излучателя (размера a и b). Программа применяется для того, чтобы выбрать резонансный размер излучателя, при котором $X_{вх}=0$. Выбранный размер используется в дальнейшем в программе *ФАР_вз_связь.mcd*. Выходными данными программы являются:

- график активной части входного сопротивления излучателя в зависимости от его длины b ;
- график реактивной части входного сопротивления излучателя в зависимости от его длины b ;

Входные данные задаются пользователем вручную в тексте программы, состав входных данных представлен в пункте *руководство пользователя*.

Методика испытаний. Объектом испытаний является файл с именем *рез_размер.mcd*, который является программой, позволяющей определить резонансный размер излучателя. Во время испытаний следует проверить прохождение контрольного примера при решении задачи с различными входными параметрами. Испытания следует проводить на той же

вычислительной установке, на которой планируется эксплуатация программы.

Для проведения испытаний нужно иметь:

- установленный математический пакет Mathcad 2001 или его более поздние версии;
- файл с именем *рез_размер.mcd*;
- значения входных данных, приводимых ниже;
- таблицу тестовых результатов.

В качестве тестовой задачи выступает определение резонансного размера квадратного излучателями при разных материалах подложки. Общие исходные данные следующие:

- $f_0=1680$ МГц;
- $d_1=3$ мм, $d_2=1$ мм;
- $\epsilon_1=1$, $\epsilon_3=1$, $m_1=1$, $m_2=1$, $m_3=1$;
- $b_{0\text{лmin}}=0,4$;
- $b_{0\text{лmax}}=0,6$;
- $N_{b_0}=3$.

Для открытой структуры в зависимости от материала подложки должны быть получены следующие резонансные размеры:

- 1) $\epsilon_2=1$, $a_{0\text{л}}=b_{0\text{л}}=0,463$;
- 2) $\epsilon_2=2,6$, $a_{0\text{л}}=b_{0\text{л}}=0,424$;
- 3) $\epsilon_2=5$, $a_{0\text{л}}=b_{0\text{л}}=0,405$.

Руководство пользователя. Программа *рез_размер.mcd* является дополнением к центральной программе пакета и позволяет определить резонансный размер одиночного излучателя, который используется в исходных данных для расчета программы *ФАР_вз_связь*.

Программа разработана в рамках математического пакета для инженерных расчетов Mathcad 2001 Professional. Требования к ресурсам

вычислительной техники представлены в разделе 2.2 данной выпускной квалификационной работы.

Для выполнения программы необходимо:

1. Загрузить математический пакет Mathcad 2001;
2. Открыть файл с именем *рез_размер*, имеющий расширение *mcd*;
3. В разделе *Исходные данные для расчета* ввести числовые значения нижеуказанных параметров, указывая размерность для абсолютных величин.

- f_0 – частота для расчетов;
- a, b – ширина и длина одиночного излучателя;
- d_1, d_2 – толщина слоев диэлектрической подложки;
- $\epsilon_1, \epsilon_2, \mu_1, \mu_2$ – диэлектрическая и магнитная проницаемость слоев;

В программе предусмотрены два варианта изменения размера излучателя:

a) $b=varia, a=const$. В этом случае ширина излучателя a остается постоянной, а его длина b изменяется в задаваемых пределах с фиксированным шагом;

b) $b=varia, a=kb$. В этом случае изменяется и длина b излучателя в задаваемых пределах с фиксированным шагом, и пропорционально длине ширина a (k – коэффициент пропорциональности);

4. Для начала вычислений нужно нажать клавишу F9, если в установках не указано автоматическое вычисление. Ошибки, которые могут возникнуть на этом этапе – это пустое поле одной из входных величин или же неверно указанная (или вовсе не указанная) размерность величины. Признаком начала вычислений служит мигающая лампочка курсора. Время вычислений незначительно (до 2–3 мин.);

5. По окончании расчетов (признаком окончания является возвращение обычной стрелки курсора) должны быть построены графики, выведены числовые значения, которые могут быть скопированы и через буфер обмена экспортированы в другие пакеты (например Word). Поскольку

для построения графиков используется интерполяция расчетных точек, может возникнуть ситуация, когда интерполированный график выходит за границы физической реализуемости параметров (например, $\text{Re}(Z_{\text{вх}}) < 0$). Для устранения этого явления рекомендуется увеличить количество расчетных точек в заданном интервале. Резонансный размер излучателя определяется по графику $X(b)$, из условия $X(b_{\text{рез}}) = 0$.

Описание программы. Программа *рез_размер.mcd* является дополнением к центральной программе пакета *ФАР_вз_связь* и выполняет расчет входного сопротивления изолированного одиночного излучателя.

Алгоритм расчета входного сопротивления, используемый в данной программе, основан на алгоритме входного сопротивления излучателя в составе бесконечной периодической решетки. Для этого выбирается период решетки равный 5λ , при таком расстоянии взаимное сопротивление пренебрежимо мало по сравнению с собственным сопротивлением. Подобный алгоритм используется в программе *ФАР_вз_связь.mcd*, рассмотренный в описании программы в разделе 2.2.

Особенность заключается в том, что массив входных сопротивлений вычисляется при варьируемой геометрии излучателя. Блок – схема функции расчета входного сопротивления одиночного излучателя представлена на рис. 2.4.

Для увеличения быстродействия в программе проводится интерполяция расчетных точек полиномом второй степени, которая осуществляется с помощью встроенной функции математического пакета.

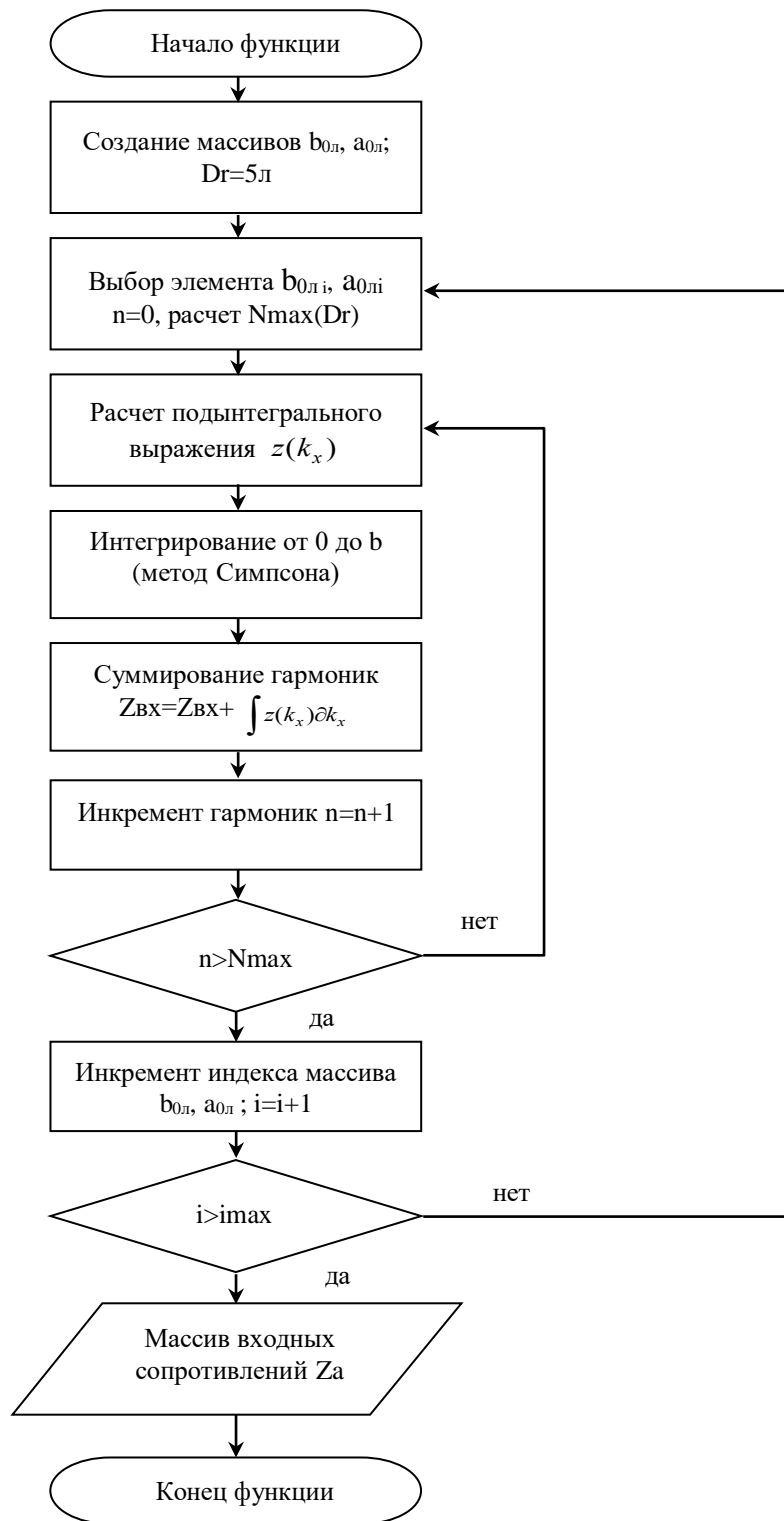


Рис. 2.4 Блок – схема функции расчета входного сопротивления одиночного излучателя

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ФАЗИРОВАННОЙ АНТЕННОЙ РЕШЕТКИ

3.1. Взаимное сопротивление

Разработанный пакет программ позволяет исследовать различные зависимости характеристик ФАР от параметров решетки и излучателя. Рассмотрим некоторые из них.

С помощью программы *vz_soprot.mcd*, был проведен расчет взаимного сопротивления между двумя излучателями, имеющими структуру как на рис. 1.3 и 1.4, при различных материалах подложки ($\epsilon=1$; $\epsilon=2,6$; $\epsilon=5$). Результаты расчета модуля взаимного сопротивления для открытой структуры (рис. 1.3) представлены в табл.3.1 и на рис.3.1.

Таблица 3.1

d/л	$Z_{вз}$, Ом ($\epsilon_2=1$)	$Z_{вз}$, Ом ($\epsilon_2=2,6$)	$Z_{вз}$, Ом ($\epsilon_2=5$)
0,2	0,771-j3,212	0,794-j0,841	0,816+j0,11
0,4	0,387-j0,107	0,42+j0,071	0,444+j0,065
0,6	0,12-j0,104	0,139-j0,092	0,148-j0,092
0,8	-0,025-j0,077	-0,018-j0,078	-0,016-j0,08
1,0	-0,046-j2,563 $\cdot 10^{-3}$	-0,048+j2,884 $\cdot 10^{-4}$	-0,049+j4,628 $\cdot 10^{-4}$
1,2	-7,419 $\cdot 10^{-3}$ +j0,028	-0,014+j0,033	-0,015+j0,036

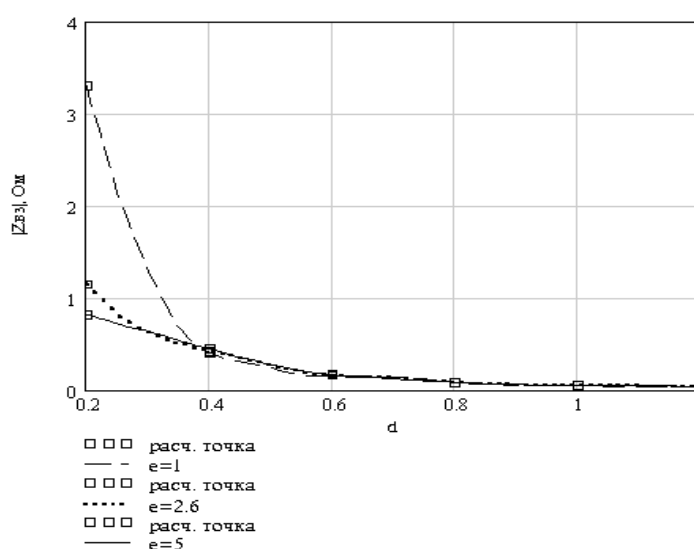


Рис. 3.1 Зависимость модуля взаимного сопротивления от относительного расстояния между параллельными излучателями (открытая структура)

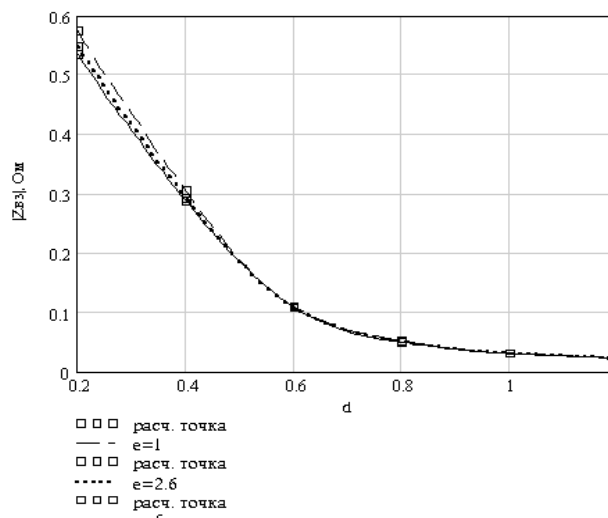


Рис. 3.2 Зависимость модуля взаимного сопротивления от относительного расстояния между параллельными излучателями (закрытая структура)

Как видно из графиков, взаимное сопротивление с увеличением расстояния убывает и в пределе стремится к нулю, это полностью подтверждает все теоретические положения. Анализируя влияние диэлектрика, для открытой структуры можно сделать вывод, что с ростом величины ϵ взаимная связь проявляется меньше на малых расстояниях при $d/l < 0,4$. При $d/l > 0,4$ различие в величинах диэлектрической проницаемости подложки проявляется меньше. Для закрытой структуры различие в величинах диэлектрической проницаемости подложки практически не проявляется даже при малых расстояниях.

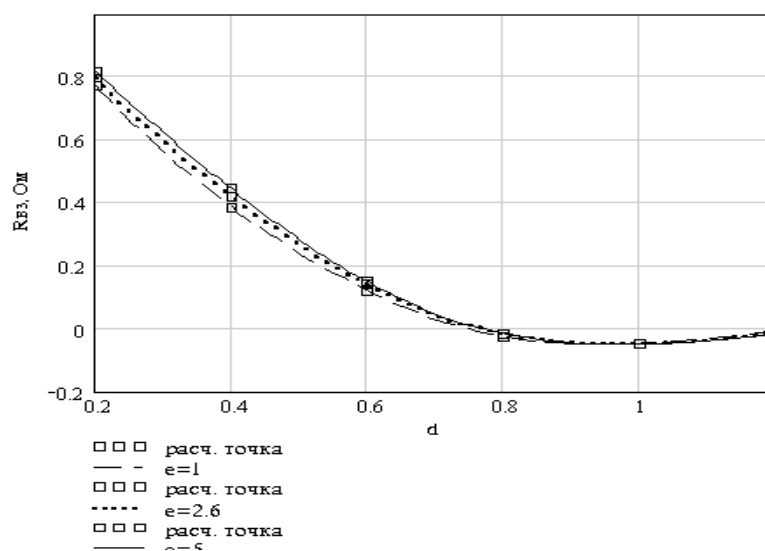


Рис. 3.3 Зависимость активной части взаимного сопротивления от расстояния

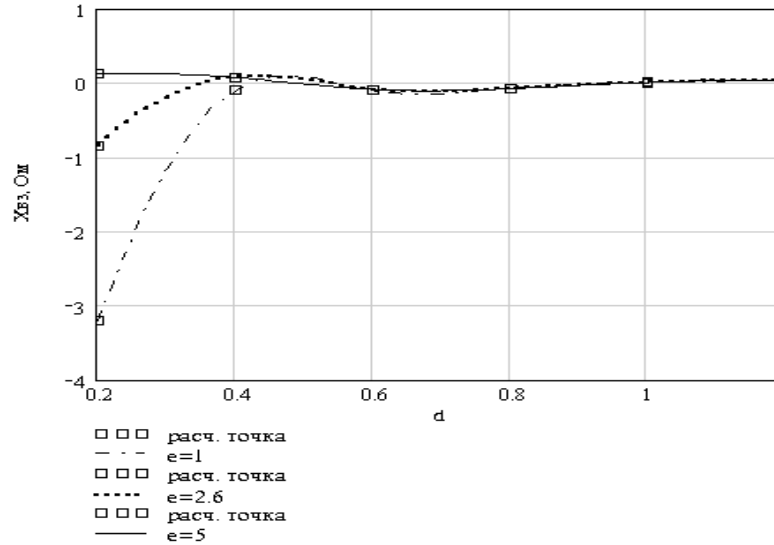


Рис. 3.4 Зависимость реактивной части взаимного сопротивления от расстояния

3.2. Диаграмма направленности ФАР

Интересным является исследование взаимной связи на такую характеристику антенны как диаграмма направленности. С помощью программы *ФАР_вз_связь.tscd* можно исследовать зависимость ДН ФАР от шага излучателей, диэлектрической проницаемости подложки ϵ и других параметров. В данной выпускной квалификационной работе была исследована зависимость степени влияния взаимной связи на ДН от размера решетки. С этой целью были рассмотрены три антенные решетки: 2x2, 4x4 и 8x4. При этом все решетки имели следующие общие параметры:

1. $f_0=1680$ МГц;
2. $\epsilon_2=5$;
3. $a=b=0,405$;
4. $d_x=d_y=0,5$.

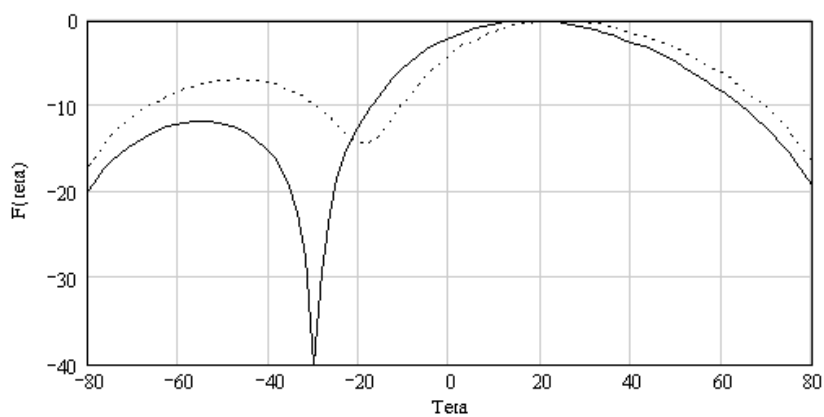


Рис. 3.4 ДН ФАР, 2x2 (открытая структура)

Для наглядности анализа ДН ФАР с учетом и без учета взаимной связи строились на одном графике. На всех нижеприведенных рисунках сплошная линия обозначает ДН без учета взаимной связи, штриховая линия – ДН с учетом взаимной связи.

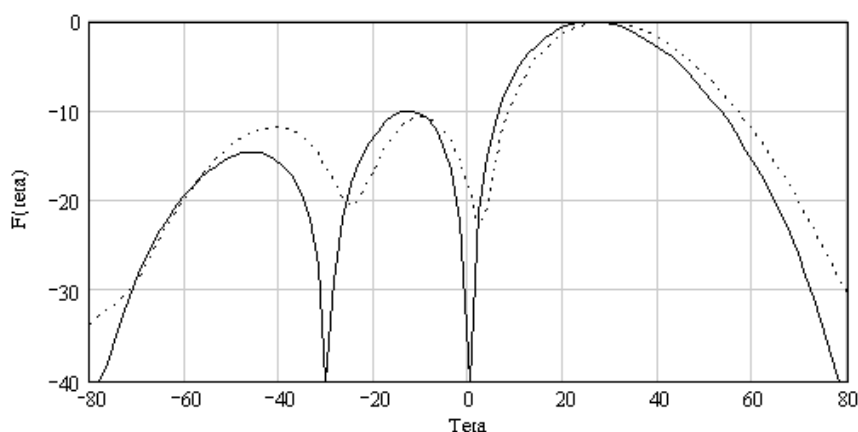


Рис. 3.5 ДН ФАР, 4x4 (открытая структура)

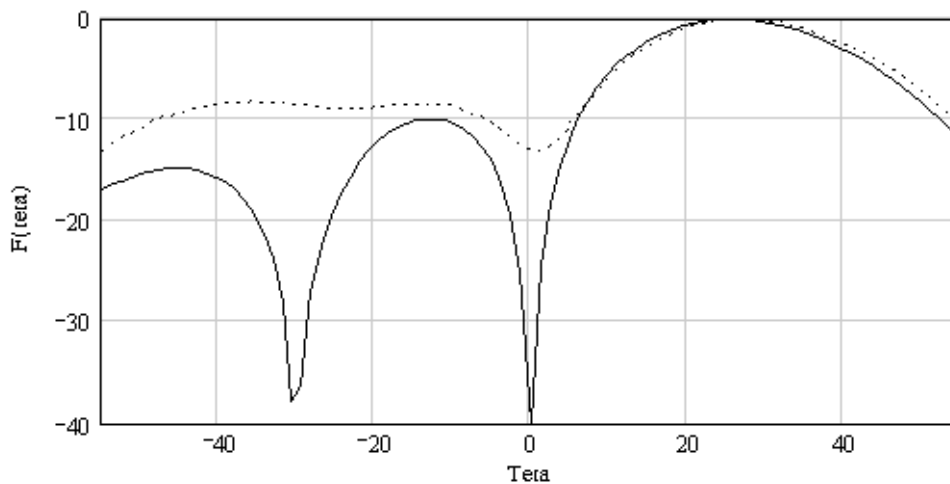


Рис. 3.6 ДН ФАР, 4x4 (закрытая структура)

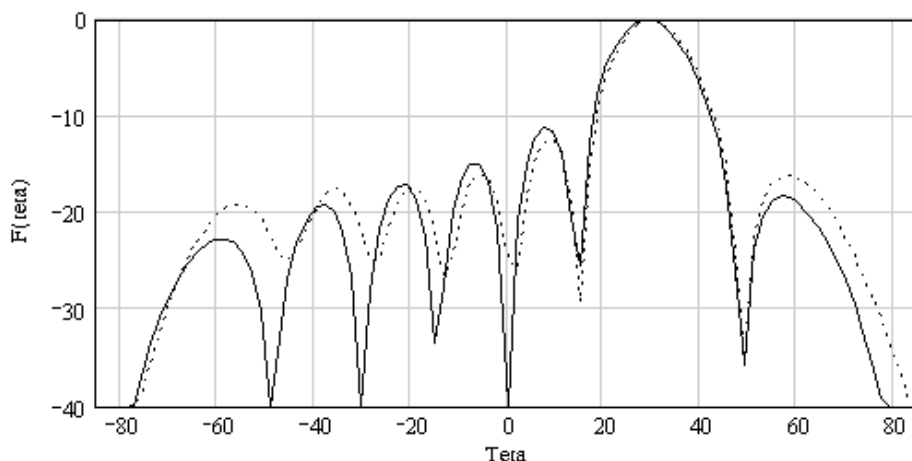


Рис. 3.7 ДН ФАР, 8×4 (открытая структура)

Из рис. 3.4-3.7 можно сделать вывод, что ДН ФАР, построенная с учетом взаимной связи отличается от ДН, построенной без учета взаимной связи, а именно:

1. Наблюдается смещение максимума в направлении, совпадающим с направлением отклонения луча.
2. Уровень боковых лепестков при взаимной связи увеличивается.
3. Происходит так называемое «заплывание нулей» при учете взаимной связи.
4. С ростом количества элементов в АР влияние взаимной связи сказывается в меньшей степени на ДН, чем при малом количестве излучателей, сравните рис. 3.4-3.7.

Последнее замечание объясняется тем, что при большом размере антенной решетки центральные ее элементы находятся примерно в одинаковых условиях, тогда как для решеток с малым размером (4×4 , 4×2) наблюдается «краевой эффект». Надо отметить, что для решетки 2×2 и 2×1 при фазировании по нормали взаимная связь не влияет на ДН, т. к. все элементы находятся в одинаковых краевых условиях.

3.3. Частотные характеристики ФАР

Поскольку в результате взаимного влияния входное сопротивление излучателя, находящегося в составе АР отличается от сопротивления

изолированного излучателя, то и сопротивление всей АР будет отличаться от сопротивления, рассчитанного в предположении отсутствия взаимного влияния излучателей друг на друга. Это может привести к рассогласованию входа АР с фидерной линией. Поэтому очень полезным является рассмотрение входного сопротивления АР в полосе частот и определение такого параметра согласования как КСВ.

Данную возможность предоставляет программа *ФАР_полоса.mcd*. Ниже приводятся частотные графики КСВ для последовательной и двоично-этажной схем питания с указанием относительной ширины полосы пропускания (%), определяемой по уровню КСВ=2. Расчет проводился для решетки 2x2, $f_0=1680$ МГц, $\epsilon_2=2,6$.

Как видно из рис. 3.8, если проводить согласование без учета взаимной связи, то относительной ширины полосы пропускания окажется на 0,5% меньше, к тому же наблюдается смещение центральной частоты (1680 МГц). На рис. 3.9 приведено согласование уже с учетом взаимной связи, при этом относительная ширина полосы пропускания увеличилась примерно на 1,7%, но при этом ни на одной из частот не достигается идеального согласования (КСВ=1).

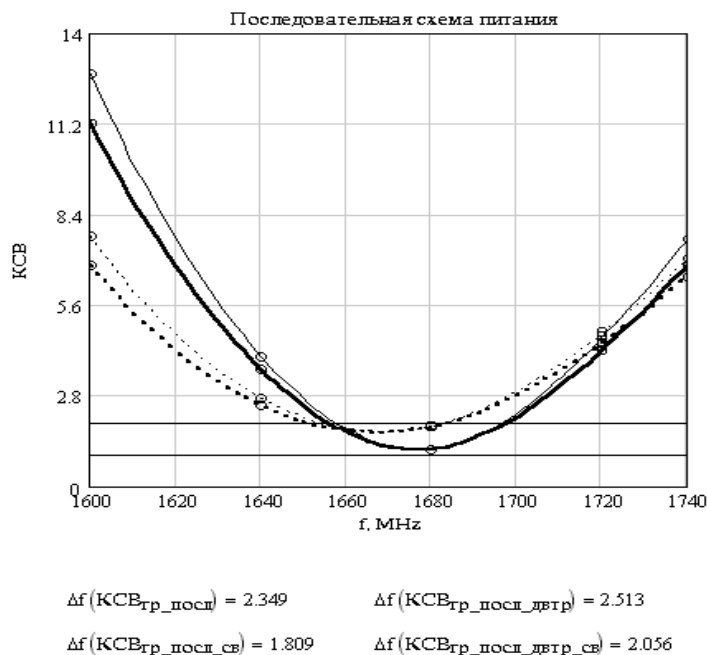


Рис. 3.8 Согласование без учета взаимной связи

Схема согласования, выполненная на двойном л/4 трансформаторе увеличивает полосу пропускания от 0,2 до 0,5%. Двоично-этажная схема питания при согласовании с учетом взаимной связи дает большую полосу пропускания, чем последовательная.

Смещение центральной частоты хорошо иллюстрируют частотные графики входного сопротивления ФАР. Как видно из рис. 3.11 и 3.12 резонансная частота ($X_{вх}=0$) смещена в область меньших частот.

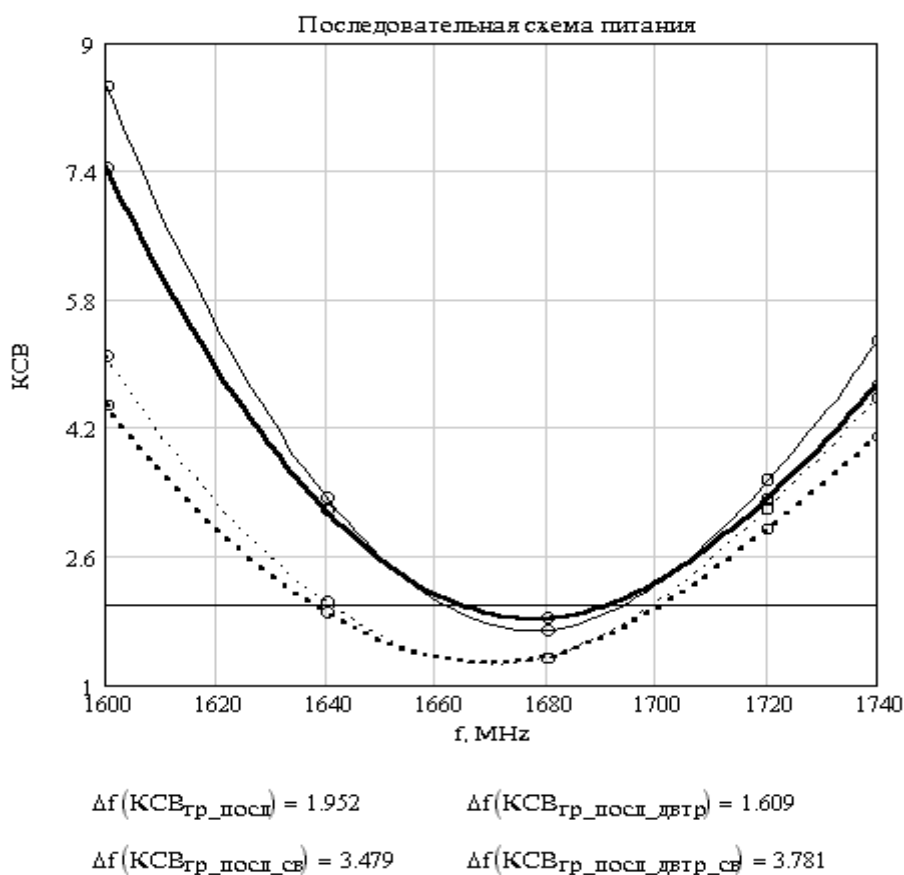


Рис. 3.9 Согласование с учетом взаимной связи

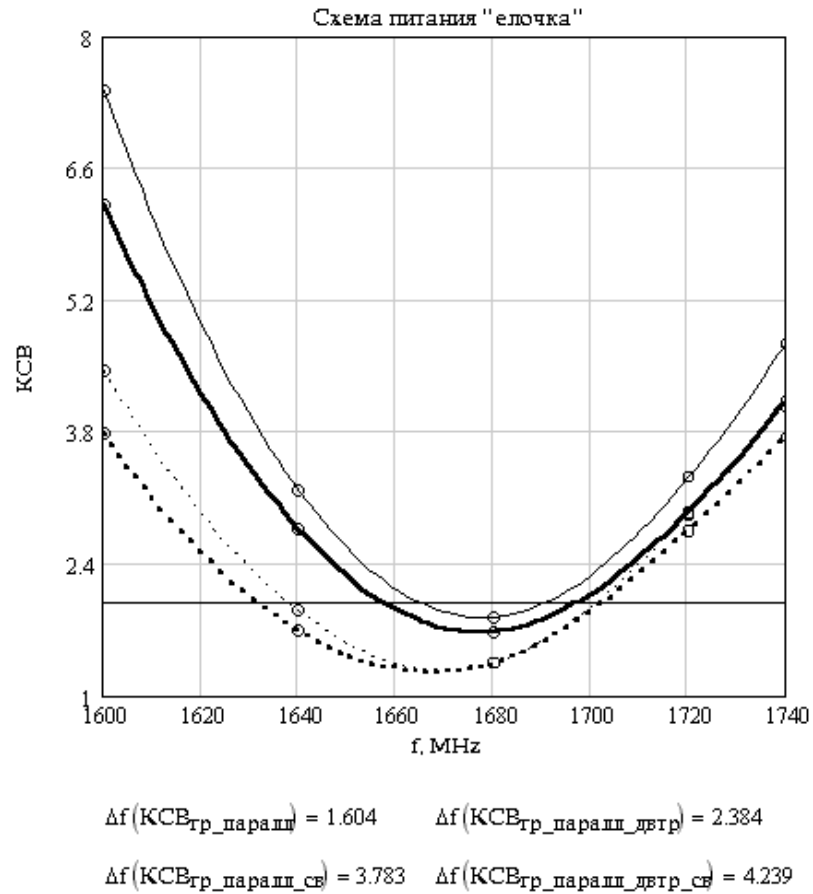


Рис. 3.10 *Согласование с учетом взаимной связи*

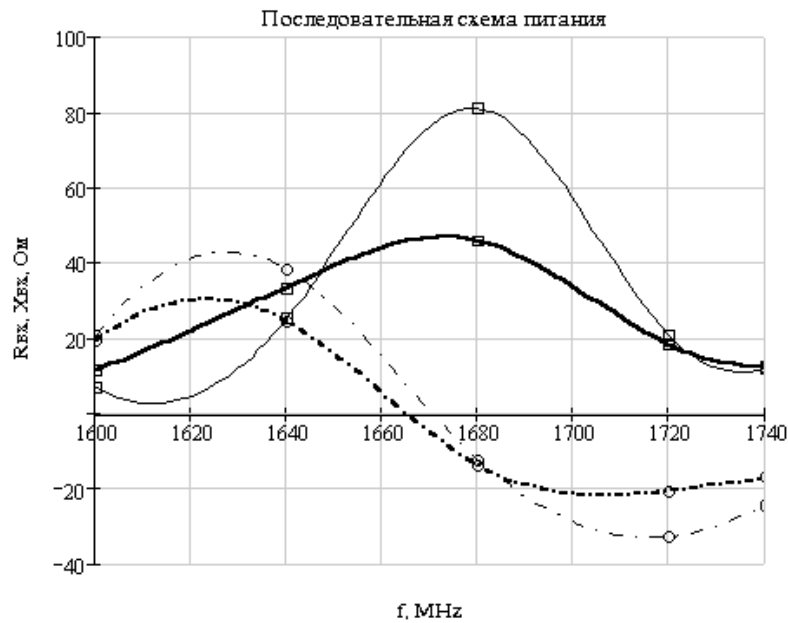


Рис. 3.11 *Частотная зависимость входного сопротивления (тонкие линии – без учета взаимной связи)*

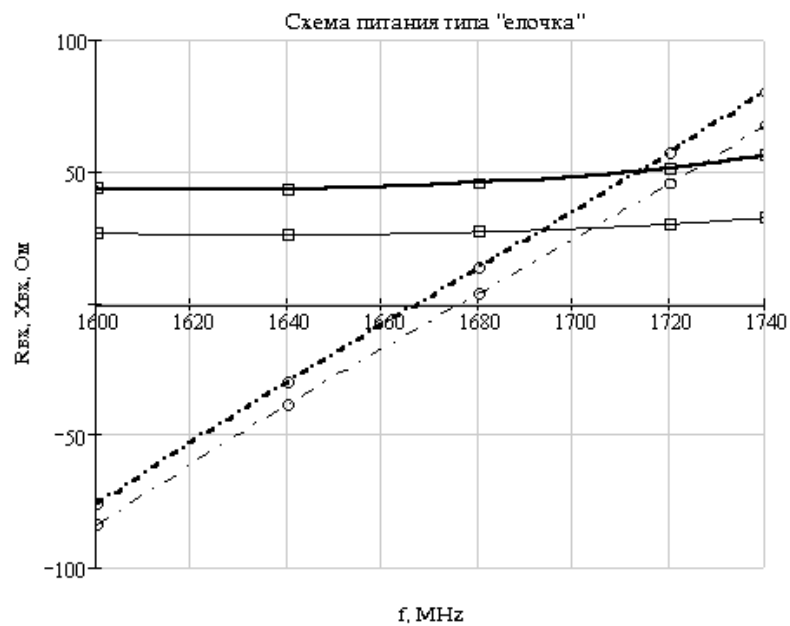


Рис. 3.12 Частотная зависимость входного сопротивления (тонкие линии – без учета взаимной связи)

4. БЕЗОПАСНОСТЬ ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЫ

4.1. Электробезопасность рабочего места

Рабочим местом в данной выпускной квалификационной работе является место пользователя ПЭВМ. В ЭВМ источником опасности является электрическая часть, а именно входные цепи блока питания, который может быть подключен к сети промышленного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц, с изолированной нейтралью. Данный уровень напряжения представляет опасность для человеческой жизни. Выходные цепи блока питания составляют 15, 5 В. Следовательно, устройство относится к установкам с рабочим напряжением до 1000 В.

Использовавшееся помещение с ЭВМ относится к классу помещений без повышенной опасности с точки зрения поражения электрическим током. Температура окружающей среды +20 °С, относительная влажность воздуха 60±20%. В помещении должны быть непроводящие полы, отсутствовать токопроводящая пыль, отсутствовать электрически активная среда, отсутствовать возможность одновременного прикосновения к металлическим частям прибора и заземляющему устройству, отсутствовать высокая температура и сырость.

Эксплуатация устройства должна производиться персоналом, имеющим квалификацию по ТБ III. Работа по устранению неисправностей и наладка должна производиться персоналом с квалификационной группой по ТБ не ниже III и только после снятия напряжения питания с устройства.

Согласно [11], предельно допустимые значения напряжения прикосновения и тока составляют, соответственно 20 В и 6 мА при продолжительности воздействия тока более 1 сек. Поэтому, необходимо предусмотреть защитное заземление, которое обеспечило бы защиту людей от прикосновения к нетоковедущим частям (корпуса измерительных

приборов), которые могут оказаться под напряжением в результате повреждения изоляции.

Стекание тока в землю происходит только через проводник, находящийся с нею в непосредственном контакте. Такой контакт обеспечивается проводником или группой соединенных между собой проводников. Одиночный проводник, находящийся в контакте с землей называется одиночным заземлителем или заземляющим электродом, а заземлитель, состоящий из нескольких параллельно соединенных электродов, называется групповым или сложным заземлителем.

По условиям безопасности заземление должно обладать сравнительно малым сопротивлением, обеспечить которое можно путем увеличения геометрических размеров одиночного заземлителя или применения группового заземлителя. В нашем случае, будем использовать групповой заземлитель.

Коэффициент использования проводимости заземления или просто коэффициент использования, есть отношение действительной проводимости группового заземлителя $\frac{1}{R_{gp}}$ к наибольшей возможной его проводимости

$\frac{1}{R_{\infty}}$, т.е. при бесконечно больших расстояниях между электродами:

$$\eta = \frac{R_{\infty}}{R_{gp}} \quad (4.1)$$

При использовании группового заземлителя определить коэффициент использования расчетным путем сложно. Поэтому, при расчете заземляющих устройств, значения η берутся из таблицы 4.1, составленной на основании опытов [10].

Табл. 4.1

z	Отношение расстояний между вертикальными электродами к их длине	Число вертикальных электродов				
		2	4	6	10	20
36	1	0.85	0.73	0.65	0.59	0.48
	2	0.91	0.83	0.77	0.74	0.67

	3	0.94	0.89	0.85	0.81	0.76
3z	1	0.85	0.77	0.72	0.62	0.42
	2	0.94	0.80	0.85	0.75	0.56
	3	0.96	0.92	0.88	0.82	0.68

Здесь: $z\beta$ – коэффициент использования вертикальных электродов группового заземлителя (труб, уголков и т.п.) без учета влияния полосы связи (электроды размещены в ряд);

$z\alpha$ – коэффициент использования горизонтального полосового электрода, соединяющего вертикальные электроды.

Выполним заземляющее устройство в виде группового заземлителя, состоящего из трех стержневых электродов, расположенных на расстоянии $r = 4$ м.

Для электроустановок напряжением до 1000 В в сети с изолированной нейтралью, сопротивление заземляющего устройства должно быть не более 4 Ом.

Сопротивление группового заземлителя значительно меньше допустимого, а это означает, что рассчитанное заземляющее устройство обеспечит защиту людей от поражения электрическим током в случае повреждения изоляции.

Питание к рабочему столу подводится электропроводами сечением 3 мм². Протяженность провода на пути распределительный щиток – электророзетка не превышает 20 м. Провода подводящие напряжение к щитку имеют сечение (2x6 мм²). Суммарное сопротивление проводов не превышает 1,5 Ом, что обеспечивает ток короткого замыкания на уровне 146 А. Защита сети от перегрузок должна осуществляться автоматом типа ОП-6, рассчитанным на ток 25 А, который значительно меньше тока короткого замыкания.

4.2. Пожаробезопасность рабочего места

Пожарная безопасность помещений, имеющих электрические сети, регламентируется [11]. Рабочее место оператора ПЭВМ оборудовано в помещении, которое соответствует категории «Д» пожарной безопасности (негорючие вещества и материалы в холодном состоянии) по [12].

Материалы, применяемые для ограждающих конструкций и отделки рабочего помещения должны быть огнестойкими. Для предотвращения возгорания в зоне расположения ЭВМ обычных горючих материалов (бумага) и электрооборудования, необходимо принять следующие меры:

- в помещении должны быть размещены углекислотные огнетушители типов ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8. в качестве вспомогательного средства тушения пожара могут использоваться гидрант или устройства с гибкими шлангами. Рабочее помещение имеет площадь 12м². Согласно [12] на каждые 50м² должен приходиться один огнетушитель. Таким образом, для обеспечения помещения средствами пожаротушения необходим один огнетушитель.

- для непрерывного контроля за помещением необходимо установить систему обнаружения пожаров, для этого можно использовать комбинированные извещатели типа КИ-1 из расчета один извещатель на 100 м² помещения.

- к работе на ПЭВМ допускаются только пользователи, прошедшие инструктаж по безопасности труда и пожарной безопасности

- в помещении должна быть инструкция с правилами пожарной безопасности и план противопожарных мероприятий;

- для помещения быть разработан план эвакуации персонала в случае возникновения пожара;

- должен быть назначен ответственный за противопожарную безопасность;

- монитор и системный блок ПЭВМ должны быть установлены вдали от источников тепла (например, батареи центрального отопления), прямые солнечные лучи не должны попадать на экран дисплея;
- необходимо использовать модели ПЭВМ, у которых в корпусе имеются вентиляционные отверстия и охлаждающий вентилятор.

4.3. Заземление

Система заземления – это электрическая цепь, обладающая свойством сохранять минимальный потенциал, являющийся уровнем отсчета в конкретной аппаратуре.

Антенно-фидерные системы всегда заземляются отдельной цепью заземления. Т. к. антенны используются на высоте обычно превышающей высоту окружающих предметов, то необходимо предусмотреть наличие молниеотвода и заземления.

Согласно [12], молниеотвод защищает от прямых ударов, электростатической и электромагнитной индукции и заноса высоких потенциалов. Зона защиты молниеотвода должна быть типа А, которая обеспечивает степень надежности 99.5% и выше.

Для приема электростатического заряда молнии и отвода ее токов в землю служат специальные части молниезащиты-молниеотводы, которые состоят из несущей части (опоры), молниеприемника, токоотвода и заземлителя. В качестве конструкции выберем одиночный стержневой молниеотвод. Опора молниеотвода выполняется из стали любой марки, железобетона или дерева. Высоту опоры молниеотвода примем равной 2 м, тогда зона защиты для стержневого молниеотвода будет иметь вид, представленный на рис. 4.2.

Стержневой молниеприемник изготавливают из стали сечением не менее 100 мм² и длиной не менее 200 мм. От каждого стержневого молниеприемника устраивают не менее двух токоотводов. Токоотводы, соединяющие сетку или кровлю с заземлителями прокладываются не реже,

чем через 25 м по периметру здания. Токоотводы выполняются в виде стальных тросов, полос, труб, сечением (24–48 мм²) и прокладываются к заземлителям кратчайшим путем. Они должны быть оцинкованы, пролужены или окрашены. При прокладке во избежание разрыва от электродинамических усилий при больших токах молнии, необходимо избегать острых углов и петель. В качестве заземлителя можно использовать следующие конструкции:

а) углубленные из полосовой или круглой стали, укладываемые на дно котлована.

б) вертикальные из стальных ввинчиваемых стержней (2–5 м) или на уголковой стали; верхний конец заземлителя углубляется на 0,6–0,7 м.

в) горизонтальные – из круглой или полосовой стали (160 мм²), уложенные на глубине 0,6–0,8 м в виде одного или нескольких симметричных лучей.

г) комбинированные – вертикальные и горизонтальные.

Соединение молниеприемников токоотводов и заземлителей проводится с помощью сварки. Сопротивление заземлителя должно быть не более 10 Ом. Заземлитель защиты от прямых ударов молнии объединяют с заземлителем электроустановок.

Антенна имеет прямоугольную форму, подсчитаем ожидаемое количество поражений молнией в год (N) по следующей формуле, взятой из [12]:

$$N = ((S + 6h)(L + 6h) - 7,7 \cdot h^2) \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (4.2)$$

где h – наибольшая высота сооружения, м;

S, L – соответственно ширина и длина сооружения, м;

n – среднегодовое число ударов молнии в 1 км² земной поверхности (удельная плотность ударов молнии в землю) в месте нахождения здания.

Для расчета используем следующие данные $h=15$ м (антенна установлена на крыше 5-этажного дома), $S=1$ м, $L=1$ м, $n=4$ (соответствует среднегодовой продолжительности гроз 40–60 ч), тогда

$$N = ((1 + 6 \cdot 15)(1 + 6 \cdot 15) - 7,7 \cdot 15^2) \cdot 4 \cdot 10^{-6} = 0,026$$

Для защиты зданий от вторичных проявлений молнии предусматривают следующие мероприятия:

- металлические корпуса всего оборудования и аппаратов, установленных в защищаемом объекте, присоединяют к заземляющему устройству электроустановок или к железобетонному фундаменту здания;

- внутри здания между трубопроводами и другими протяженными металлическими конструкциями в местах их сближения на расстояние менее 10 см через каждые 30 м выполняют перемычки;

- во фланцевых соединениях трубопроводов внутри здания обеспечивают нормальную затяжку не менее четырех болтов на каждый фланец.

Для защиты от вторичных проявлений молнии металлические корпуса объекта присоединяют к заземляющему устройству электрооборудования или к заземлителю защиты от прямых ударов молнии. Защиту от заноса высокого потенциала по подземным коммуникациям осуществляют присоединением их на вводе в сооружение к заземлителю электроустановок или защиты от прямых ударов молнии.

Защиту от заноса высокого потенциала по внешним наземным (надземным) коммуникациям выполняют путем их присоединения на вводе в сооружение к заземлителю электроустановок или защиты от прямых ударов молнии, а на ближайшей к вводу опоре коммуникации – к ее железобетонному фундаменту.

Рабочее место разработчика данного программного продукта, находящееся в домашних условиях не удовлетворяет требованиям электробезопасности по следующим пунктам:

- 1) питание к ПЭВМ подводится от розетки не с помощью специальной вилки с заземляющим контактом,

- 2) не подключены к заземлению металлические части оборудования, доступные для оператора.
- 3) не предусмотрена защита сети от перегрузок

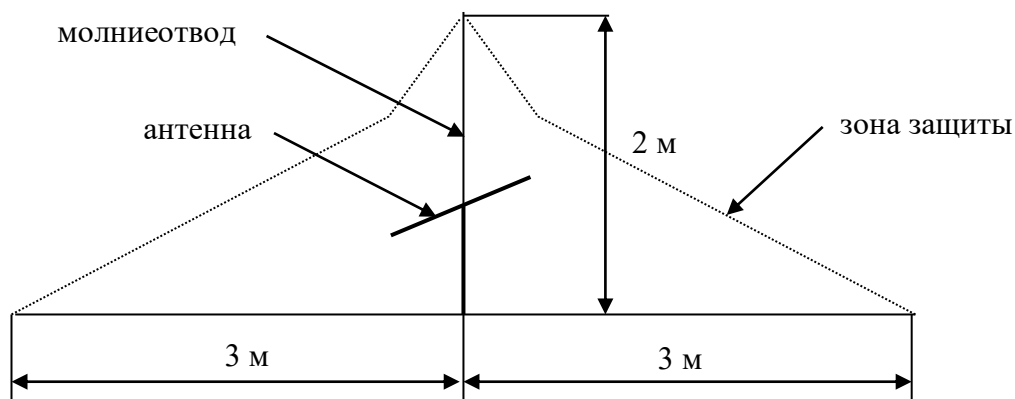


Рис. 4.2 Молниезащита антенны

С точки зрения пожаробезопасности рабочее место не удовлетворяет следующим требованиям:

- 1) для оперативного оповещения не применяются средства автоматического обнаружения пожара и дымоулавливающие датчики;
- 2) для тушения пожара не установлены углекислотные огнетушители.

Микроклимат рабочего места соответствует всем требованиям. Для выполнения требований по освещенности требуется установить в помещении светильники, количество и тип которых был определен в ходе расчетов в разделе 4.1.

Оборудование удовлетворяет требованиям по шуму и вибрации. Современный дизайн системного блока и монитора ПЭВМ соответствует всем требованиям эргономики рабочего места.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В выпускной квалификационной работе на основе метода бесконечных периодических структур был разработан пакет программ, позволяющий рассчитать полевые и импедансные характеристики плоской двумерной фазированной антенной решетки (ФАР), выполненной из полосковых вибраторов или резонансных излучателей на многослойной диэлектрической подложке, с учетом и без учета взаимной связи между излучателями как на фиксированной частоте, так и в полосе частот. Кроме того, пакет включает в себя программу для расчета взаимного сопротивления между излучателями и программу для расчета входного сопротивления изолированного излучателя.

Были произведены расчеты зависимости взаимного сопротивления от расстояния между излучателями при различных диэлектриках, характеристик ФАР в полосе частот при различных диэлектриках и количества излучателей в решетке.

В выпускной квалификационной работе были достигнуты следующие результаты:

1. Реализован алгоритм расчета взаимного сопротивления между полосковыми излучателями, выполненными на многослойной диэлектрической подложке, который основан на методе бесконечных периодических структур.

2. На основе разработанного алгоритма в современном математическом пакете для инженерных расчетов Mathcad был создан пакет программ, позволяющий вычислить полевые и импедансные характеристики ФАР как с учетом, так и без учета взаимной связи между излучателями.

3. С помощью пакета программ были получены зависимости взаимного сопротивления между излучателями от расстояния при различных материалах диэлектрической подложки.

4. Рассчитаны диаграммы направленности при разных размерах антенной решетки.

5. Построены частотные зависимости характеристики ФАР и представлены возможности учета взаимной связи при согласовании ФАР с линией питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ислам Каримов. О мерах по дальнейшему совершенствованию процедур, связанных с осуществлением предпринимательской деятельности и предоставлением государственных услуг. Ташкент, 15 апреля 2014 года. <http://www.press-service.uz/ru/news/4943/>
2. Постановления Президента Республики Узбекистан принятие ПП №1730 от 21 марта 2012 года «О мерах по дальнейшему внедрению и развитию современных информационно-коммуникационных технологий». <http://lex.uz/ru/online>
3. Князев С.Т. Расчет электродинамических характеристик антенных решеток при наличии слоистого диэлектрика, Свердловск, 1984.
4. Метод расчета взаимных сопротивлений, основанный на теории бесконечных периодических структур. Князев С.Т., Наймушин М.П., Панченко Б.А.-Радиотехника и электроника, вып. 6, 1046–1049 с., 1985.
5. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ: Учеб. для радиотехнич. спец. вузов.-М. Высш. шк., 1988. – 432 с.
6. Антенны и устройства СВЧ. Проектирование фазированных антенных решеток: Учеб. пособие для вузов/ В.С. Филиппов, Л.И. Пономарев, А.Ю. Гринев и др.; Под ред. Д.И. Воскресенского. 2-е изд. – М.: Радио и связь, 1994 – 592 с.
7. Вендик О.Г. Антенны с немеханическим движением луча (введение в теорию). – М.: Советское радио, 1965.
8. Анализ и синтез антенных решеток/ Чаплин А.Ф. – Львов: Вища шк. Изд-во при Львов. ун-те. 1987. – 180 с.
9. Сканирующие антенные системы СВЧ. т. II, перевод с англ. под ред. Г.Т. Маркова и А.Ф. Чаплина, изд-во Советское радио, 496 с.
10. Оформление учебных программных продуктов: методические указания / С.Ю. Дайлис, Р.А. Петров. Екатеринбург: УГТУ, 1996.
11. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств: Учебное пособие для вузов/ П.П. Кукин, В.Л. Лапин, Е.А. Подгорных. – М. Высш. шк., 1999.
12. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Энергоатомиздат, 1984.
13. Электронный курс по MathCAD. <http://detc.ls.urfu.ru/assets/amath0021/soder.htm>

14. www.ciit.uz

15. <http://lib.tuit.uz>

Приложение 1. Тексты файлов данных программы

Тексты файлов данных, генерируемых программой *ФАР_вз_связь.mcd*.

DataZ_2.6_1600_MHz.prn

/ Datafile written by Mathcad 8.0

// 06/03/01 02:22:29

MATRIX 0 0 2 1

{1,0,3,1} {2,1,24,1}

MATRIX 1 0 3 1

{3,1,26,1} {4,1,26,1} {5,1,26,1}

MATRIX 2 1 24 1

0.1786, 0 1600, 0 0.424, 0 0.424, 0

3, 0 1, 0 1, 0 2.6, 0

1, 0 1, 0 1, 0 1, 0

0, 0 0, 0 2, 0 2, 0

0.5, 0 0.5, 0 1, 0 1, 0

1, 0 1, 0 50, 0 0.9285, -2.086

MATRIX 3 1 26 1

1.456, -1.515 0.8771, -2.077 0.9393, -2.066 0.9322, -2.069

0.9266, -2.057 0.9319, -2.074 0.9283, -2.061 0.9266, -2.071

0.925, -2.071 0.925, -2.071 0.925, -2.071 0.925, -2.071

0.925, -2.071 0.925, -2.071 0.925, -2.071 0.925, -2.071

0.925, -2.071 0.925, -2.071 0.925, -2.071 0.925, -2.071

0.925, -2.071 0.925, -2.071 0.925, -2.071 0.925, -2.071

0.925, -2.071 0.925, -2.071

MATRIX 4 1 26 1

1.348, -2.099 0.7965, -2.097 0.962, -2.094 0.9431, -2.095

0.9167, -2.097 0.9337, -2.096 0.9257, -2.094 0.9277, -2.095

0.9277, -2.095 0.9277, -2.095 0.9277, -2.095 0.9277, -2.095

0.9277, -2.095 0.9277, -2.095 0.9277, -2.095 0.9277, -2.095

0.9277, -2.095 0.9277, -2.095 0.9277, -2.095 0.9277, -2.095

0.9277, -2.095 0.9277, -2.095 0.9277, -2.095 0.9277, -2.095

0.9277, -2.095 0.9277, -2.095

MATRIX 5 1 26 1

1.06, -2.179 0.9546, -2.071 0.9197, -2.073 0.9318, -2.089

0.9291, -2.083 0.9238, -2.083 0.9298, -2.084 0.9298, -2.084
0.9298, -2.084 0.9298, -2.084 0.9298, -2.084 0.9298, -2.084
0.9298, -2.084 0.9298, -2.084 0.9298, -2.084 0.9298, -2.084
0.9298, -2.084 0.9298, -2.084 0.9298, -2.084 0.9298, -2.084
0.9298, -2.084 0.9298, -2.084 0.9298, -2.084 0.9298, -2.084
0.9298, -2.084 0.9298, -2.084

DataZ_2.6_1680_MHz.prn

// Datafile written by Mathcad 8.0

// 06/03/01 18:12:43

MATRIX 0 0 2 1

{1,0,3,1} {2,1,24,1}

MATRIX 1 0 3 1

{3,1,26,1} {4,1,26,1} {5,1,26,1}

MATRIX 2 1 24 1

0.1786, 0 1680, 0 0.424, 0 0.424, 0

3, 0 1, 0 1, 0 2.6, 0

1, 0 1, 0 1, 0 1, 0

0, 0 0, 0 2, 0 2, 0

0.5, 0 0.5, 0 1, 0 1, 0

1, 0 1, 0 50, 0 1.059, 0.1557

MATRIX 3 1 26 1

1.695, 0.9479 0.9997, 0.1609 1.071, 0.1726 1.063, 0.1697

1.057, 0.1837 1.063, 0.1637 1.059, 0.1785 1.057, 0.1665

1.055, 0.1668 1.055, 0.1668 1.055, 0.1668 1.055, 0.1668

1.055, 0.1668 1.055, 0.1668 1.055, 0.1668 1.055, 0.1668

1.055, 0.1668 1.055, 0.1668 1.055, 0.1668 1.055, 0.1668

1.055, 0.1668 1.055, 0.1668 1.055, 0.1668 1.055, 0.1668

1.055, 0.1668 1.055, 0.1668

MATRIX 4 1 26 1

1.575, 0.1778 0.9067, 0.1373 1.097, 0.1465 1.076, 0.1443

1.045, 0.1416 1.065, 0.1427 1.056, 0.1443 1.058, 0.1439

1.056, 0.146 1.056, 0.146 1.056, 0.146 1.056, 0.146

1.056, 0.146 1.056, 0.146 1.056, 0.146 1.056, 0.146

1.056, 0.146 1.056, 0.146 1.056, 0.146 1.056, 0.146
1.056, 0.146 1.056, 0.146 1.056, 0.146 1.056, 0.146
1.056, 0.146 1.056, 0.146
MATRIX 5 1 26 1
1.223, 0.06011 1.089, 0.1706 1.048, 0.1685 1.063, 0.1494
1.059, 0.1567 1.053, 0.1562 1.06, 0.155 1.06, 0.155
1.06, 0.155 1.06, 0.155 1.06, 0.155 1.06, 0.155
1.06, 0.155 1.06, 0.155 1.06, 0.155 1.06, 0.155
1.06, 0.155 1.06, 0.155 1.06, 0.155 1.06, 0.155
1.06, 0.155 1.06, 0.155 1.06, 0.155 1.06, 0.155
1.06, 0.155 1.06, 0.155

DataZ_2.6_1740_MHz.prn

// Datafile written by Mathcad 8.0

// 06/03/01 17:35:22

MATRIX 0 0 2 1

{1,0,3,1} {2,1,24,1}

MATRIX 1 0 3 1

{3,1,26,1} {4,1,26,1} {5,1,26,1}

MATRIX 2 1 24 1

0.1786, 0 1740, 0 0.424, 0 0.424, 0

3, 0 1, 0 1, 0 2.6, 0

1, 0 1, 0 1, 0 1, 0

0, 0 0, 0 2, 0 2, 0

0.5, 0 0.5, 0 1, 0 1, 0

1, 0 1, 0 50, 0 1.169, 1.777

MATRIX 3 1 26 1

1.896, 2.801 1.104, 1.778 1.182, 1.79 1.173, 1.786

1.166, 1.802 1.173, 1.78 1.169, 1.797 1.166, 1.783

1.164, 1.783 1.164, 1.783 1.164, 1.783 1.164, 1.783

1.164, 1.783 1.164, 1.783 1.164, 1.783 1.164, 1.783

1.164, 1.783 1.164, 1.783 1.164, 1.783 1.164, 1.783

1.164, 1.783 1.164, 1.783 1.164, 1.783 1.164, 1.783

1.164, 1.783 1.164, 1.783

MATRIX 4 1 26 1

1.768, 1.84 1.001, 1.751 1.211, 1.766 1.187, 1.763
1.154, 1.76 1.175, 1.761 1.165, 1.763 1.167, 1.763
1.165, 1.765 1.165, 1.765 1.165, 1.765 1.165, 1.765
1.165, 1.765 1.165, 1.765 1.165, 1.765 1.165, 1.765
1.165, 1.765 1.165, 1.765 1.165, 1.765 1.165, 1.765
1.165, 1.765 1.165, 1.765 1.165, 1.765 1.165, 1.765
1.165, 1.765 1.165, 1.765

MATRIX 5 1 26 1

1.362, 1.684 1.202, 1.792 1.157, 1.788 1.173, 1.767
1.169, 1.776 1.163, 1.775 1.17, 1.774 1.17, 1.774
1.17, 1.774 1.17, 1.774 1.17, 1.774 1.17, 1.774
1.17, 1.774 1.17, 1.774 1.17, 1.774 1.17, 1.774
1.17, 1.774 1.17, 1.774 1.17, 1.774 1.17, 1.774
1.17, 1.774 1.17, 1.774 1.17, 1.774 1.17, 1.774
1.17, 1.774 1.17, 1.774

Приложение 2. Характеристики ФАР EXAP-G19

EXAP-G19 Оптимальная клиентская станция широкополосного доступа 2.4 GHz, T раб. $\pm 60^\circ \text{C}$ (<http://www.exergia.info/ptp/exap-G19.html>)

- Сконструирован на базе унифицированной моноблочной ФАР антенны ARC - S2029-01.
- Частотный диапазон -2.312 - 2.732 Ghz. Стандарт 802.11b/g, Shaping, QoS.
- Шифрование WEP, встроенный Ping Watch Dog, ASK manual settings up to 60 km.
- Дистанционное питание через Ethernet кабель (PoE) 12-48 Вольт.

• Эффект, излучаемая мощность	до 45 dBm (19 dBi ФАР Антенна + 26 dBm Max. мощность)
• Мощность передатчика вых.	Up to 26 dBm (400 mW)
• Чувствительность приемника	-75dBm @ 54Mbps
• Режимы работы	Router, AP, Client, WDS (PtPand PtM), Repeater
• Защитное покрытие ФАР	Ударопрочный радиопрозрачный полистирол
• PC Interface	Ethernet 10/100
• Диапазон раб. частот	2.4 to 2.5GHz, * 2.312 - 2.732 Ghz (IkarusOS)
• Протокол обмена/доступа	CSMA/CA with ACK
• Агрегатная скорость *	802.11b/g режимы со скоростями от 1 до 54 Мбит
• Доступ к настройкам	GUI, Графический интерфейс, через браузер.
• Крепление	Мачтовое крепление "U"- Болт, диаметр трубы до 75 мм.
• Рабочая температура	$\pm 60^\circ\text{C}$ (температура окружающего воздуха)
• Корпус	Литой дюралевый корпус, толщина стенок ~ 5 мм.
• Грозозащита радиомодуля	Четвертьволновый изолятор
• Источник питания	Импульсный 48 VDC PoE, защита от короткого замыкания.
• Цена: \$245-\$450	• Зависит от установленного радио модуля

- Возможна поставка с платформой Avila 533 MHz OS Ikarus и картами SR2/XP2 для построения магистральных линков с полезными скоростями до 6 мегабайт в секунду

- Радиус действия не менее 12 Км на максимальной скорости, при использовании адаптеров EXAP-G19 на обеих сторонах линка

* Агрегатная скорость до 54 мегабит при полезной отдаче до 24 Мбит/сек

* Радиомодули Ubiquiti с мощностью до 400 mW.

* ФАР - фазированная антенная решетка

• Сертификат - ГОСТ - РОСС US.AИ29.В02324



- Радиус действия адаптеров EXAR-G19 в инфраструктуре беспроводного доступа, зависит от антенны и характеристик Базовой Станции (БС), применяемой в вашей сети, рассчитывается по общепринятой методике, с применением [онлайн калькулятора](#). Например, в простейшем случае, применяя базовую станцию на основе модуля Ubiquiti 400mW, работающего на всенаправленную антенну с усилением 8 dBi, см. пример [здесь](#), радиус действия будет для 54 мбит - 2-3 км, и далее со снижением скорости возрастать, на 11 мбит расстояние будет не менее 7 (реально до 10 км). При установке на базовой станции секторной антенны с усилением 14 dBi, расстояние соответственно увеличивается до 5-6 и 15 км, это достаточно для покрытия города с населением до 2 млн. Радиус действия двух одинаковых адаптеров в режиме точка-точка 7-10 км на скорости 54 мбит и не менее 30 км на скорости 11 мбит.
- Для предоставления провайдерских услуг беспроводного доступа в интернет в небольших населенных пунктах, рекомендуется применять базовую станцию с радиомодулем Ubiquiti, антенной на 8 dBi, и клиентские станции EXAR-G/19, что отвечает как экономическим так и техническим требованиям для сетей с количеством клиентов до 64. Увеличение количества клиентов производится переходом на секторные антенны, обслуживаемые отдельными базовыми станциями.
- Здесь и далее речь идет о гарантированном радиусе действия, с запасом ресурса не менее 15 dBm, реальный радиус действия, как правило на 20-25 процентов больше.
- Установка адаптера EXAR-G19 в компьютерную сеть с произвольным диапазоном IP-адресов, производится при помощи вспомогательной утилиты, которая работает как поисковый клиент на уровне MAC адресов. Утилита находит все адаптеры с диапазоном MAC, принадлежащим Ubiquiti радиомодулям, поэтому вы можете настраивать несколько адаптеров с помощью одного компьютера. Операционная система, встроенная в адаптеры, имеет доходчивый интерфейс, позволяет пользователю доступ к уникальным параметрам радиомодуля, таким как QoS, Routing, Shaping, MAC filter, ACK settings, и многим другим.
- После запуска утилиты, вы можете изменить IP адрес адаптера на любой свободный адрес, принадлежащий вашей сети, или зайти в WEB/GUI интерфейс адаптера и сделать

необходимые настройки и установки. Если IP адрес адаптера известен, то зайти в WEB/GUI можно просто набрав в командной строке браузера IP адрес адаптера.

- Монтаж адаптера EXAP-G19 на мачту производится при помощи штатного крепления, входящего в состав поставки. Гайки на крепежных болтах рекомендуется смазать невысыхающей смазкой для предотвращения коррозии. Адаптер необходимо настроить по азимуту и наклону. Характеристики антенны, входящей в конструкцию моноблока, приведены в таблице ниже.

Усиление	Подавление заднего излучения	Угол излучения	КСВ	Подавление сигнала противоположной поляризации	разъём (внутренний)	Грозозащита	Поляризация
19 dBi	>30 dB	Верт/ Гор -18 град.	< 1.5 : 1	> 30 dB	SMA - receptacle	1/4 Lambda	верт/ гориз.

- В случае, если вам требуется дополнительная техническая поддержка, вам необходимо и достаточно отправить по электронной почте вашу просьбу и номер телефона.
- В течении дня с вами свяжется наш инженер, который поможет вам решить ваши проблемы.
- Бесплатная техподдержка по телефону работает только для России, Белоруссии, Казахстана, Киргизстана и Узбекистана.

Цены на адаптеры EXAP-G19 зависят от радиомодуля, установленного в унифицированную антенну.



Все адаптеры поставляются с блоком питания PoE рассчитанным на 220 вольт переменного напряжения, и имеют герметичные разъёмы Ethernet.

Сертификат - [ГОСТ - РОСС US.AI29.B02324](#)