

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине «Антенно-фидерные устройства»
для студентов направления подготовки
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
Направленность (профиль)
«Интеллектуальная обработка данных в инфокоммуникационных системах и сетях»

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение

1. Лабораторная работа №1. Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн при поднятых антеннах
2. Лабораторная работа №2. Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн на тропосферной радиолинии
3. Лабораторная работа №3. Исследование лабораторной установкой по исследованию антенн
4. Лабораторная работа №4. Исследование симметричных и несимметричных вибраторных антенн
5. Лабораторная работа №5. Исследование синфазной антенной решетки
6. Лабораторная работа №6. Исследование антенны волновой канал
7. Лабораторная работа №7. Исследование спиральной антенны
8. Лабораторная работа №8. Исследование рупорной антенны
9. Лабораторная работа №9. Исследование зеркальной параболической антенны

ВВЕДЕНИЕ

1. Цели и задачи освоения дисциплины:

Выполнения лабораторных работ по дисциплине «Антенно-фидерные устройства» обеспечивают формирование у обучающихся набора профессиональных компетенций (ПК-1, ПК-3, ПК-5), которые обеспечивают их профессиональную деятельность в области эксплуатации антенно-фидерных устройств различных типов:

1. Способность иметь навыки самостоятельной работы на компьютере и в компьютерных сетях; осуществлять компьютерное моделирование устройств, систем и процессов с использованием универсальных пакетов прикладных компьютерных программ.

2. Способность использовать нормативную и правовую документацию, характерную для области инфокоммуникационных технологий и систем связи.

3. Способностью осуществлять монтаж, наладку, настройку, регулировку, опытную проверку работоспособности, испытания и сдачу в эксплуатацию сооружений, средств и оборудования сетей и организаций связи.

При выполнении лабораторных работ студенты закрепляют, полученные знания по следующим вопросам:

- принцип работы, устройство и характеристики антенно-фидерных устройств различных типов;
- методов расчета радиолиний;
- особенности применения антенно-фидерных устройств в системах радиосвязи.

2. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1. Способен к развитию коммутационных подсистем и сетевых платформ, сетей передачи данных, транспортных сетей и сетей радиодоступа, спутниковых систем связи	ИД-1ПК-1 понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей связи, в том числе их составляющих подсистем, и протоколов сигнализации, стандартах качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях связи, в Законодательстве Российской Федерации в области связи.	Ориентируется в принципах построения и работы радиосетей связи, в том числе антенно-фидерных устройств.
	ИД-3ПК-1. анализирует статистику основных показателей эффективности радиосистем и систем передачи данных, разрабатывает мероприятия по их поддержанию на требуемом уровне, выполняет расчет пропускной способности сетей телекоммуникаций.	Анализирует статистику основных показателей эффективности антенно-фидерных устройств радиосистем и систем передачи данных.

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-3. Способен проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ	ИД-3пк-3 проводит расчеты параметров и характеристик сети и средств инфокоммуникаций, анализирует их качественные показатели на основе данных статистики и радиоизмерений, использует специализированное программное обеспечение для проектирования.	Проводит расчеты параметров и характеристик антенно-фидерных устройств, анализирует их качественные показатели на основе данных статистики и радиоизмерений, использует специализированное программное обеспечение для проектирования.
	ИД-4пк-3 выявляет и анализирует преимущества и недостатки вариантов проектных решений, оценивает риски, связанные с реализацией проекта.	Выявляет и анализирует преимущества и недостатки вариантов проектных решений, оценивает риски, связанные с реализацией проекта.
	ИД-5пк-3 осуществляет сбор исходных данных для проектирования сети и средств инфокоммуникаций, определения оптимальной конфигурации и топологии транспортной сети; вырабатывает технические решения по реализации системы связи (телекоммуникационной системы) и ее компонентов.	Осуществляет сбор исходных данных для проектирования антенно-фидерных устройств; вырабатывает технические решения по реализации антенно-фидерной системы и ее компонентов.
ПК-5. Способность осуществлять монтаж, настройку, регулировку	ИД-1пк-5 понимает действующие отраслевые нормативы, определяющие требования к	Понимает действующие отраслевые нормативы, определяющие

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
тестирование оборудования, отработку режимов работы, контроль проектных параметров работы и испытания оборудования связи, обеспечение соответствия технических параметров инфокоммуникационных систем и /или их составляющих, установленным эксплуатационно-техническим нормам	параметрам работы оборудования, каналов и трактов; методики проведения проверки технического состояния оборудования, трактов и каналов передачи.	требования к параметрам работы антенно-фидерных устройств; методики проведения проверки технического состояния антенно-фидерных устройств.
	ИД-2ПК-5 соблюдает технологии выполнения работ по настройке, регулировке и испытаниям оборудования связи (телекоммуникаций), правила эксплуатации и методики применения измерительного и тестового оборудования.	Соблюдает правила эксплуатации и методики применения измерительного и тестового оборудования.
	ИД-3ПК-5 выполняет настройки, регулировки и испытания оборудования связи (телекоммуникаций) с помощью технической и технологической документации; ведет техническую и технологическую документацию по установленным формам; осуществляет проверку качества работы оборудования и средств связи.	Осуществляет проверку качества работы антенно-фидерных устройств.
	ИД-4ПК-5 проводит входной контроль оборудования, подготовку испытательного оборудования, измерительной аппаратуры, приспособлений; тестирование оборудования и отработку режимов работы оборудования.	Проводит входной контроль антенно-фидерных устройств, подготовку измерительной аппаратуры; тестирование антенно-фидерных устройств.
	ИД-5ПК-5 выбирает и использует соответствующее тестовое и измерительное оборудование, использует программное обеспечение оборудования при его настройке.	Выбирает и использует соответствующее тестовое и измерительное оборудование, использует программное обеспечение оборудования при его настройке.

Лабораторная работа 1.

Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн при поднятых антеннах

Цель лабораторной работы: Исследовать зависимость множителя ослабления и напряженности поля в точке приема при распространении радиоволн при поднятых антеннах.

Учебные вопросы:

1. Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн при поднятых антеннах для плоской земли.
2. Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн при поднятых антеннах для сферической земли.

Задание

Исходные данные:

Мощность подводимая к антенне: $P_A = 19 + N$ [Вт], где N - номер курсанта по журналу;

Коэффициент усиления передающей антенны: $G_A = 20$ раз;

Высота подвеса антенн: $h_1 = h_2 = 41 - N$ [м];

Рабочая частота: $f = 300$ МГц.

Задание:

Выполнить необходимые расчеты для заполнения приведенной ниже таблицы (заполняются только светлые участки):

	$0,2r_0$	$0,5r_0$	$0,8r_0$	r_0	$1,2r_0$	$2r_0$
r						
$E_{св}$						
$E_{пл}$						
$E_{интер}$						
$E_{п.тени}$						
$E_{тени}$						

Методические рекомендации:

Дальность прямой видимости определяется соотношением

$$r_0 [м] = 3570 \times (\sqrt{h_1 [м]} + \sqrt{h_2 [м]}),$$

где h_1 , h_2 -высоты подвеса антенн.

Напряженность поля в свободном пространстве определяется выражением

$$E_{св} = \frac{\sqrt{30 P_A G_A}}{r}.$$

Модуль коэффициента отражения поверхности земли при всех дальностях считать равным $R = 1$.

Общая формула для расчета напряженности поля

$$E = E_{\text{св}} \cdot F_{\text{осл}},$$

где $E_{\text{св}}$ – напряженность поля в свободном пространстве для заданной дальности;

$F_{\text{осл}}$ – множитель ослабления для заданной дальности.

Множитель ослабления для плоской поверхности рассчитывается по формуле

$$F_{\text{пл}} = \left| 2 \cdot \sin \frac{360^\circ \cdot \mathbf{h}_1 \cdot \mathbf{h}_2}{\lambda \cdot \mathbf{r}} \right|,$$

где λ – длина волны излучения;

$\mathbf{r}$ – расстояние до точки, в которой определяется множитель ослабления.

Множитель ослабления для сферической поверхности определяется

$$F_{\text{сф}} = \sqrt{1 + \mathbf{D}_p^2 - 2 \cdot \mathbf{D}_p \cdot \cos(\mathbf{k} \cdot \Delta \mathbf{r})},$$

где $\mathbf{D}_p$ – коэффициент расходимости, определяется отношением (3.1.17) стр.76 [1] или рисунок 3.1.3 стр. 77;

$\Delta \mathbf{r}$ – разность хода прямой и отраженной волны и определяется соотношением (3.1.4) стр.74, в котором $\mathbf{h}_{1,2}'$ определяется соотношением (3.1.10) стр.75;

$$\mathbf{k} = \frac{360^\circ}{\lambda} - \text{волновое число.}$$

Множитель ослабления для полутени (в дБ) $F_{\text{дб}}$ определяется соотношением (3.1.20) стр.78, в которой μ определяется соотношением (3.1.21) стр.79, а приведенные расстояния и масштабы высот $\mathbf{x}$, $\mathbf{x}_{\text{пр}}$, $\mathbf{y}_{1,2}$ определяется соотношением (2.4.8), (2.4.9) стр.58 [1], $a = 6380000$ м – радиус земли.

Множитель ослабления для полутени (в размах) равен $F_{\text{п.тени}} = 10^{\frac{F_{\text{дб}}}{20}}$.

Множитель ослабления для тени определяется по трехчленной формуле

$$F_{\text{тени}} [\text{дб}] = U_1(\mathbf{x}) + V_1(\mathbf{y}_1) + V_1(\mathbf{y}_2),$$

где U_1 , V_1 определяются по графикам рис. 3.1.5, 3.1.6 стр.78 [1];

$\mathbf{x}$, $\mathbf{x}_{\text{пр}}$, $\mathbf{y}_{1,2}$ определяется соотношением (2.4.8), (2.4.9) стр.58.

Множитель ослабления для тени (в размах) равен $F_{\text{тени}} = 10^{\frac{F_{\text{дб}}}{20}}$.

Лабораторная работа 2.

Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн на тропосферной радиолинии

Цель лабораторной работы: Исследовать зависимость множителя ослабления и напряженности поля в точке приема при распространении радиоволн на тропосферной радиолинии.

Учебные вопросы:

1. Исследование множителя ослабления от расстояния.
2. Исследование поглощения в тропосфере от расстояния.

Задание на лабораторное занятие

Исходные данные:

Мощность, подводимая к антенне: $P_a = 100 \cdot N_2$ Вт, где N_2 -номер студента по журналу;

Коэффициент усиления передающей антенны $G_1 = (30 + N_2)$ дБ;

Коэффициент усиления приемной антенны $G_2 = 30$ дБ;

Длина волны $\lambda = 5 \cdot N_2$ см;

Индекс преломления $N_0 = 295 + N_2$;

Количество разнесений $n = 2$;

Процент времени достоверного приема $p_1 = 99,5\%$

Надежность связи $p = 0,9$

Задание:

Выполнить необходимые расчеты для заполнения приведенной ниже таблицы:

г (км)	100	200	400	500	600	800
E_{CB}						
F_{CT} дБ						
ΔG дБ						
ΔF_{MET} дБ						
F_2 дБ						
F_3 дБ						
F дБ						

F раз						
E_2						

Методика расчета тропосферной радиолонии Напряженность поля в свободном пространстве определяется по стандартной формуле

$$E_{CB} = \frac{\sqrt{30 \cdot P_a \cdot G_1}}{r}$$

в котором $G = 10^{0.1G[\partial B]}$

Стандартное ослабление F_{CT} дБ определяется для заданной длины волны λ и протяженности радиолонии либо по графикам рис.7.2.1. стр 221, либо по формулам (7.2.28, 7.2.29) [1].

Поправка на потери усиления антенн ΔG дБ вносится, если $G_1 + G_2 > 60$ дБ.

$$\Delta G[\partial B] = 17 - 0.3 \cdot (G_1[\partial B] + G_2[\partial B]).$$

Метеорологическая поправка ΔF_{MET} дБ определяется индексом преломления N_0 и протяженностью радиолонии с помощью соотношений (7.3.1., 7.3.2.) стр. 222 [1].

F_2 дБ - множитель, учитывающий быстрые замирания, определяется количеством разнесений при приеме n и процентом времени достоверного приема p_1 по графикам на рис. 1.3.1. стр. 23 [1].

F_3 дБ - множитель, учитывающий медленные замирания. Он зависит от заданной надежности связи p и определяется с помощью соотношения (1.3.34) стр. 26 [1], где σ дБ определяется по графику рис. 7.4.1. стр. 224 [1], а t_p по графику рис. 1.3.2 стр 24 [1].

Общее ослабление F дБ определяется как сумма ранее рассчитанных:

$$F[\partial B] = F_{CT}[\partial B] + \Delta G[\partial B] + \Delta F_{MET}[\partial B] + F_2[\partial B] + F_3[\partial B]$$

$$F_{PA3} = 10^{0.05 \cdot F[\partial B]}$$

Напряженность поля в точке приема равна

$$E_2 = E_{CB} \cdot F_{PA3}$$

Лабораторная работа 3.

Исследование лабораторной установкой по исследованию антенн

Цель лабораторной работы: Исследовать функциональные возможности, состав и порядок использования стенда по исследованию антенн.

Учебные вопросы:

1. Функциональные возможности лабораторного стенда.
2. Оборудование и состав лабораторного стенда.
3. Порядок использования лабораторного стенда.

1. Функциональные возможности лабораторного стенда

Лабораторный стенд антенных устройств предназначен для проведения лабораторных работ по антенным измерениям. Стенд позволяет проводить измерения диаграмм направленности антенн методом вышки в дальней зоне.

В комплект поставки включены: опорно-поворотное устройство, штатив-тренога для вспомогательной антенны, набор антенн, набор кабелей и других комплектующих изделий, программное обеспечение, методическое пособие по эксплуатации лабораторного стенда.

Лабораторный стенд предназначен для использования в учебном процессе, для проведения лабораторного практикума и практических занятий по антенным измерениям.

Лабораторные работы построены следующим образом:

1. Исследования характеристик антенн для различных входных параметров при помощи расчетов вручную (расчетное задание номер 1).
2. Исследования характеристик антенн для различных входных параметров с использованием симуляции (расчетное задание номер 2).
3. Практическое исследование характеристик параметров антенн. В некоторых работах присутствует возможность сравнения теоретических расчетных и практических результатов
4. Требования по составлению отчёта по результатам выполнения лабораторной работы.

Стенд в целом обеспечивает:

1. Теоретическое исследование антенн посредством симуляции.
2. Практическое получение характеристик антенн.

Стенд позволяет измерять диаграммы направленности антенн методом вышки в дальней зоне с использованием квазимонохроматического сигнала.

Опорно-поворотное устройство стенда управляется контрольно-измерительным оборудованием N1 PXI. В состав опорно-поворотного устройства входит энкодер (датчик угловых координат), данные которого вводятся в компьютер и используются для формирования шкалы угловых координат, для запроса и регистрации уровня сигнала от приемного устройства.

Программа нормирует полученные результаты измерений и строит диаграмму направленности антенн в полярной и декартовой системах координат.

К работе со стендом допускаются лица, ознакомленные с программой проводимых работ и прошедшие общий инструктаж по технике безопасности.

Стенд необходимо эксплуатировать в помещении, не подверженном воздействию факторов, повышающих опасность поражения электрическим током (повышенная влажность, отсутствие шины заземления, и т. д.). По-возможности, помещение также должно быть защищено от воздействия внешних электромагнитных полей, например, мощных электрогенераторов, близко расположенных базовых станций сотовой связи, других источников радиовещания. Условием идеальной эксплуатации является наличие

безэховой камеры для измерений, т.е. помещения, где уровень отражений сигналов от окружающих измерительный стенд предметов - стен, потолка, пола практически сведен к нулю.

Стенд может быть использован только в закрытом помещении. Под открытым небом подключение установки к сети переменного тока запрещено. Запрещается включение установки в сеть в атмосфере, содержащей горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости.

Включение питания стенда и выполнение работ следует производить только с разрешения и в присутствии преподавателя.

Корпус лабораторной установки должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Необходимо соблюдать общие правила техники безопасности применимые к приборам, имеющим питание от сети переменного тока.

При возникновении непредвиденных лабораторной работой неисправностей, а также в случае появлении запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу, выключив стенд из сети и обратиться к преподавателю или обслуживающему персоналу.

Для исключения возможности СВЧ облучения запрещается стоять в непосредственной близости от раскрыва передающей антенны. Запрещается подключать к рабочему стенду другие блоки питания или производить какие-либо внешние подключения.

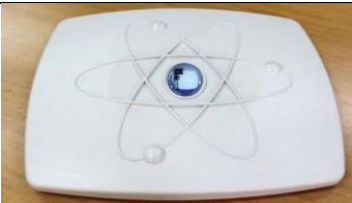
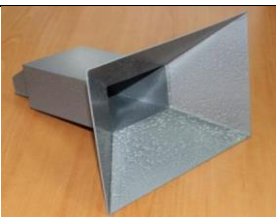
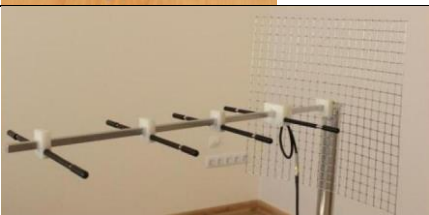
2. Оборудование и состав лабораторного стенда.

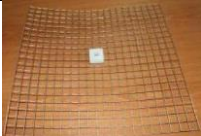
Узлы и детали, входящие в комплект поставки стенда перечислены в таблице 1. Лабораторный стенд представляет собой комплекс оборудования, предназначенный для измерения параметров антенн методом вышки в дальней зоне. Общий вид стенда в сборе представлен на рисунке 1. Структурная схема приведена на рисунке 2.

Таблица 1 – Состав стенда

№	Наименование	Кол-во	Изображение
1.	Штатив - тренога с опорно-поворотным устройством для тестируемых антенн	1 шт.	
2.	Стойка опорно-поворотного устройства	1 шт.	

3.	Штатив – тренога для вспомогательной антенны	1 шт.	
4.	Антенна с параболическим рефлектором	1 шт.	
5.	Облучатель	1 шт.	

6.	Синфазная антенна	1 шт.	
7.	Рупорная антенна	1 шт.	
8.	Директорная антенна	1 шт.	
9.	Пассивные вибраторные антенны телескопической конструкции (директоры) (Д1 – Д3)	3 шт.	

10.	Активный вибратор с согласующим устройством U - колено	1 шт.	
11.	Траверса 70 см	1 шт.	
12.	Сетка 40×40 см	1 шт.	
13.	Спиральная антенна	1 шт.	
14.	Штыревая антенна с перемычкой SMA female – SMA reverse male	1 шт.	
15.	Вспомогательная штыревая антенна с перемычкой SMA female – SMA reverse male	1 шт.	
16.	Вспомогательная вибраторная антенна с согласующим устройством U- колено	1 шт.	
17.	Вспомогательная вибраторная антенна телескопической конструкции с согласующим устройством U - колено	1 шт.	
18.	Кабель управления	1 шт.	
19.	Кабель SMA (male) – SMA(male), 2 м	1 шт.	
20.	Кабель SMA (male) – SMA, 4 м	1 шт.	
21.	Шестигранник	1 шт.	

22.	Винт М 5	1 шт.		
23.	Фиксирующая гайка	1 шт.		

Используется следующее программное обеспечение:

1. Операционная система MS Windows-7.
2. MS Excel 2003.
3. Adobe Acrobat Reader 9.0 или новее.
4. Лабораторное программное обеспечение АНТЕННЫ.
5. N1 Spectral Measurement Toolkit.



Рисунок 1. Общий вид стенда.

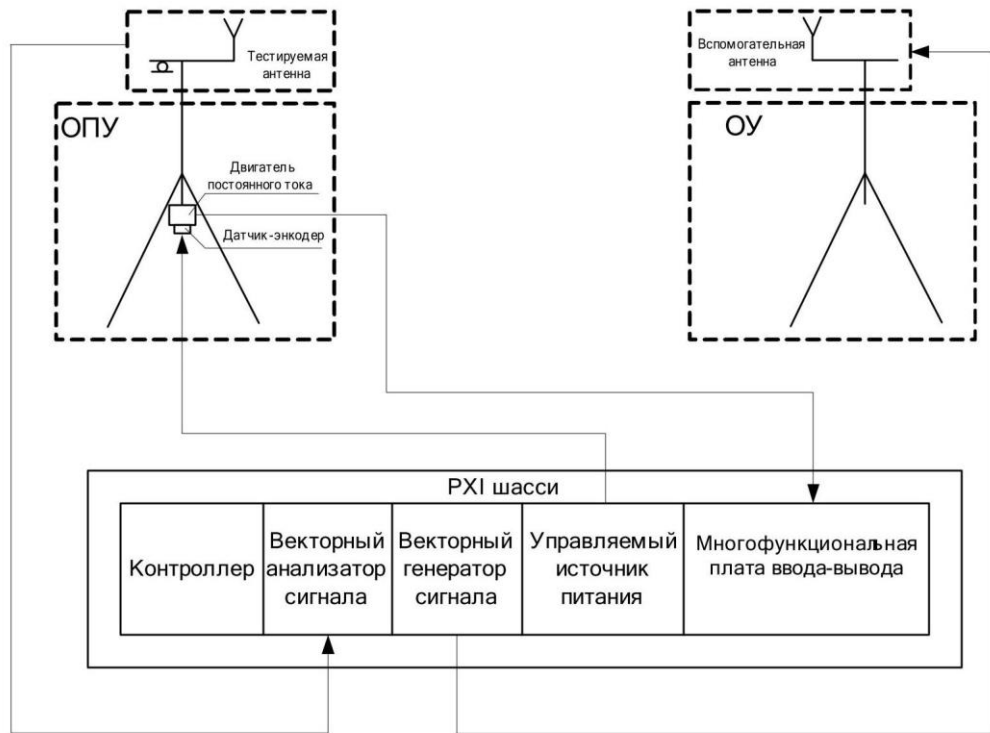


Рисунок 2. Архитектура системы

Стенд состоит из опорно-поворотного устройства (ОПУ), на стойке которого крепится тестируемая антенна и из опорного устройства (ОУ), на стойке которого устанавливается вспомогательная антенна. При помощи кабеля сигнал с выхода RF OUT модулятора N1 PXIe-5611 векторного генератора сигналов подается на вспомогательную антенну. Выход тестируемой антенны подключается к входу RF IN понижающего преобразователя N1 PXIe-5601 векторного анализатора сигналов. Питание на энкодер и на двигатель подается от управляемого источника питания, а с энкодера данные подаются на многофункциональную плату ввода-вывода.

3. Порядок использования лабораторного стенда

1. Установить штатив-треногу вспомогательной антенны, зафиксировать нужную высоту при помощи фиксаторов рисунок 3.



Рисунок 3

2. Закрепить вспомогательную антенну при помощи фиксирующей гайки (23) рисунок 4.



Рисунок 4

3. Установить опорно-поворотное устройство (ОПУ). Отрегулировать и зафиксировать нужную высоту опорно-поворотного устройства с помощью фиксаторов треноги. Установить стойку на поворотном столе рисунок 5.



Рисунок 5

4. В соответствии с проводимой лабораторной работой выбрать нужную антенну и, используя винт М5 (22) и шестигранник (21), закрепить антенну на штоке поворотного устройства рисунок 6.



Рисунок 6

В целях получения корректного взаимного расположения антенн необходимо придерживаться инструкций, указываемых в каждой конкретной лабораторной работе. Следует учесть также, что под расстоянием между антеннами подразумевается расстояние между точками питания, т.е. точками подключения фидера к антенне. Контрольно-измерительное оборудование в сборе изображено на рисунке 7.



Рисунок 7. Контрольно-измерительное оборудование в сборе

Для использования ОПУ его надо подключить кабелем управления, используя разъем DB-9 рисунок 8.



Рисунок 8. Подключение к ОПУ

Выполнение лабораторных работ

Запуск программы и проведение лабораторных работ

Запуск программы осуществляется двойным щелчком по ярлыку Antenna Lab на рабочем столе или через стартовое меню Windows: Пуск -> Antenna Lab.

При запуске программы на экран выводится лицевая панель с элементами меню (рисунок 9).



Рисунок 9. Начальное окно программы: 1. Вход в систему 2. Регистрация 3. Помощь 4.

Регистрация и вход

Для получения доступа к лабораторным работам пользователь должен зарегистрироваться (выбрать в меню элемент **Регистрация**). При выборе этого пункта меню откроется окно регистрации (рисунок 10):

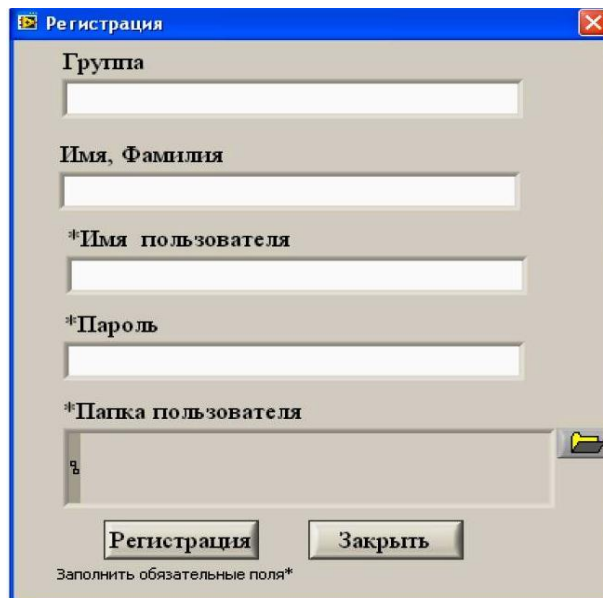


Рисунок 10. Окно регистрации

Необходимо заполнить все поля, после чего указать путь к рабочей папке (рисунок 11), в которой будут храниться стандартные файлы задания и отчеты по проведенным лабораторным работам, и нажать кнопку **Регистрация**.

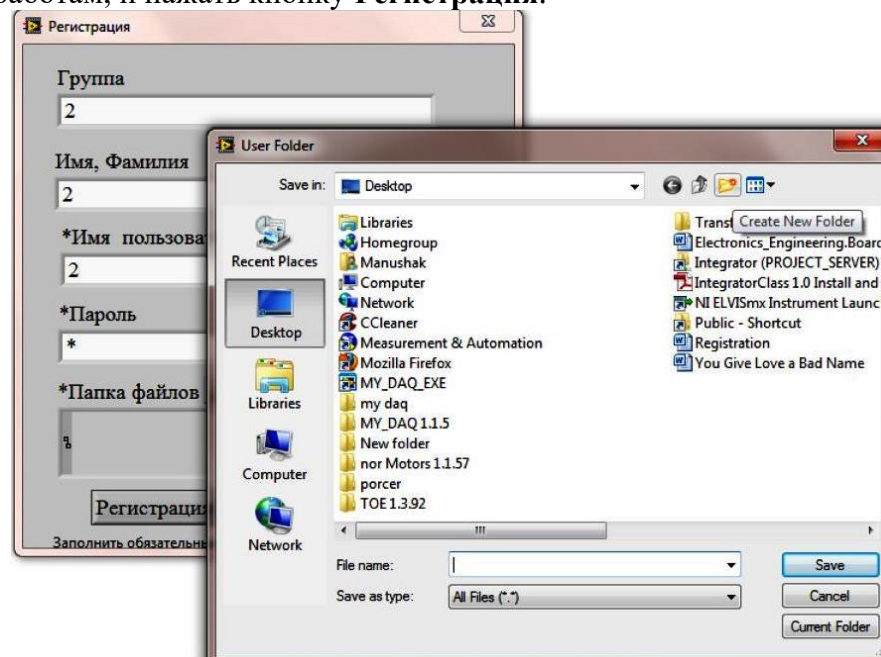


Рисунок 11. Рабочая папка

Если для пользователя уже создана рабочая папка, то необходимо войти в нее и сделать ее текущей (нажав **Current Folder -> OK**, рисунок 12):

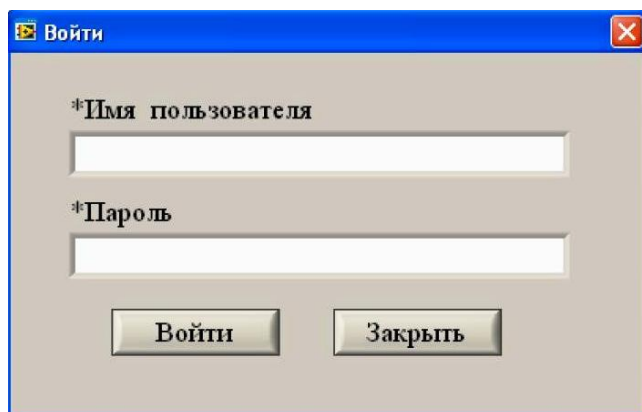


Рисунок 14. Вход в систему

После проведения лабораторной работы результаты, сохраненные в формате MS Excel, будут также включать регистрационные данные студента.

Переход к выбранной лабораторной работе производится двойным щелчком по соответствующей строке меню. Образец лицевой панели типовой лабораторной работы показан на рисунке 15. Окно состоит из главного меню, панели управления и рабочего поля.

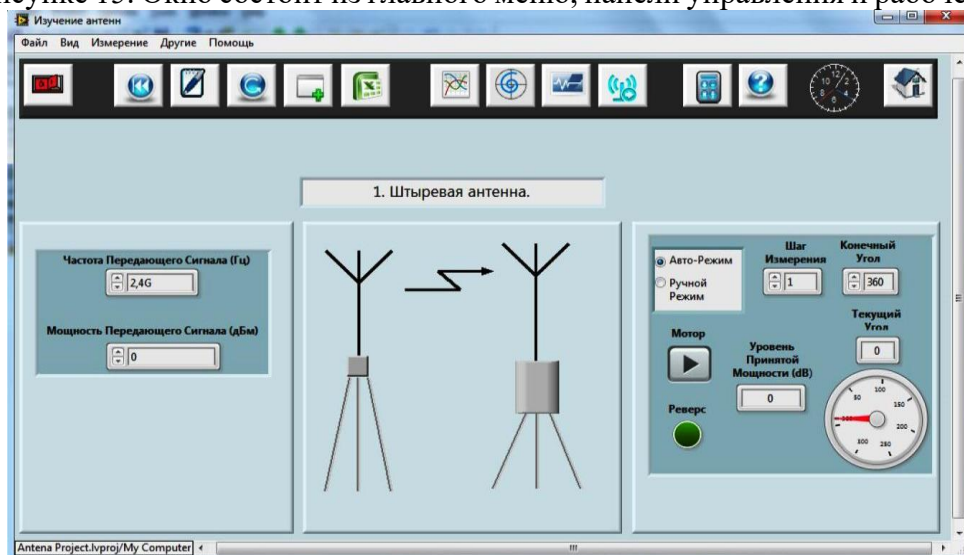


Рисунок 15. Лицевая панель лабораторной работы

Элементы главного меню

Элементы главного меню расположены над инструментами панели управления (рисунок 16).

1. **Файл - Выход** - возврат к меню выбора лабораторных работ.

2. **Вид:**

- **Декартова система координат** - открывает окно графического отображения результатов опыта в декартовой системе координат;

- **Полярная система координат** - открывает окно графического отображения результатов опыта в полярной системе координат;

- **Спектр** - открывает окно спектральной диаграммы полученного векторным анализатором сигнала.

Работа с окнами: Декартова система координат, Полярная система координат, Спектр описана ниже.

3. Измерение:

1. **Стоп** - останавливает выполнение лабораторной работы: отключаются все источники. Результаты опытов в открытых окнах диаграмм не сбрасываются.

2. **Сброс** - выключает все источники напряжения, тока и измерители.

3. **Запись** - записывает в файле MS Excel значения углов вращения ОПУ и принятой мощности в децибелах. В файле MS Excel также записываются регистрационные данные студента.

4. **Отменить запись** - аннулирует последнюю выполненную операцию **Запись** в пределах текущего сеанса.

5. **Новый сеанс** - позволяет повторно провести опыт с новыми антеннами и параметрами источников.

4. Другие:

1. **MS Excel** - открывает файл MS Excel, в который будут записаны результаты опыта при нажатии кнопку **Запись**.

2. **Калькулятор** - открывает стандартное окно калькулятора Windows для выполнения необходимых текущих вычислений.

5. Помощь:

1. **Руководство пользователя** - открывает PDF файл руководства пользователя, в котором приведены теоретические материалы по теме, схемы проведения опыта и все необходимые данные по данной лабораторной работе. Файл также включает пошаговые инструкции по проведению лабораторной работы.

2. **О нас** - открывает окно с информацией о разработчике и версии программы.

Элементы панели управления



Рисунок. 16

Панель управления составляют элементы главного меню, выведенные для облегчения доступа в строку кнопок (рисунок 16).

При наведении курсора на иконки панели управления всплывает подсказка с названием функции:

1. Старт/Стоп

Индикатор подключения Векторного анализатора цепей:

- красного цвета, если *Векторный анализатор цепей* не включён,
- зеленого, если *Векторный анализатор цепей* включён.

В случае возникновения сбоев, или если возникла необходимость изменения каких-либо параметров в процессе выполнения лабораторной работы, необходимо остановить вращение антенны, нажав кнопку **Старт/Стоп**, привести антенну в исходное положение, после чего произвести необходимые изменения и снова нажать кнопку **Старт/Стоп** для повторного проведения работы.

2. **Сброс измерений** - стирает результаты всех измерений в данной лабораторной работе в файле MS Excel.

3. **Запись** - производит запись в файл MS Excel (используется только в ручном режиме; в автоматическом режиме результаты записываются автоматически).

4. **Отменить запись** - стирает все данные, записанные в MS Excel и зафиксированные на Графопостроителе в результате последней операции **Запись**.

5. **Новый сеанс** - создает новую таблицу в файле MS Excel.

6. **Excel таблица** - вызывает файл MS Excel и на первом листе записывает все измерения.

7. **Декартова система координат** - открывает окно графического отображения результатов опыта в декартовой системе координат.

8. Полярная система координат - открывает окно графического отображения результатов опыта в полярной системе координат.

9. Спектр - открывает окно спектральной диаграммы полученного векторным анализатором сигнала.

10. Симуляция - вызывает меню симуляционных функций.

11. Калькулятор - вызывает системный калькулятор WINDOWS.

12. Помощь - открывает Руководство пользователя.

13. Вернуться к главному меню - возвращает в меню лабораторных работ.

Работа с окнами диаграмм

С лицевой панели могут быть открыты три типа окон:

1. Декартова система координат.

2. Полярная система координат.

3. Спектр.

Описание общих для всех окон функций

Зона управления осями масштабированием (рисунок 17):

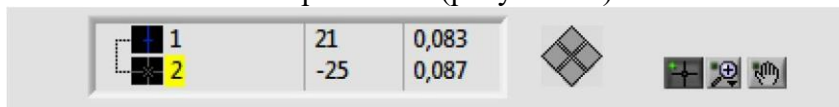


Рисунок 17. Зона управления осями и масштабирования

В зоне расположены кнопки и поля для работы с курсорами, масштабирования графиков и смены координатных осей.

Поле выбора/отображения координат курсора

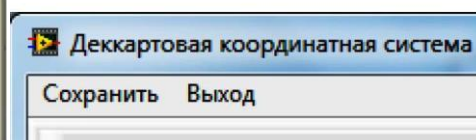
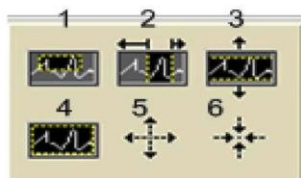


Имеются два курсора. Курсор выбирается/отменяется щелчком по зонам рядом с изображением крестика (текущий курсор отмечается желтым цветом).

Выбранный курсор можно переместить в любую точку окна вводом координаты в соответствующие поля. В этих полях отображаются координаты курсора, если изменить его положение другими способами.

Щелчки по квадратикам приводят к смещению выбранного курсора в соответствующем направлении на 0,1 от цены деления.

Меню масштабирования:



Нажатие первой пиктограммы (с изображением крестика) позволяет перетаскивать выбранный курсор. Это свойство можно также вызвать правым щелчком мыши по окну графиков.

При нажатии на среднюю пиктограмму (с изображением увеличительного стекла) открывается меню выбора масштаба:

1. Позволяет выбрать мышью произвольную прямоугольную область на графике и растянуть ее по диагонали на желаемый масштаб.

2. Позволяет выбрать мышью произвольную горизонтальную область на графике и растянуть ее по горизонтали на желаемый масштаб.

3. Позволяет выбрать мышью произвольную вертикальную область на графике и растянуть ее по вертикали на желаемый масштаб.

4. Позволяет автоматически выбрать оптимальный масштаб для отображения всех данных.

5. Позволяет увеличивать масштаб одновременно по горизонтали и вертикали последовательными щелчками мыши.

6. Позволяет уменьшать масштаб одновременно по горизонтали и вертикали последовательными щелчками мыши.

Нажатие третьей пиктограммы (с изображением ладони) позволяет перетаскивать всю картинку относительно осей координат при помощи курсора мыши в любом направлении.

- пункт **Сохранить** из меню в левом верхнем углу окна позволяет сохранить зафиксированную картинку данного окна в виде файла в формате.png.

- пункт **Выход** из меню в левом верхнем углу закрывает окно.

Определение углового сектора $2\theta_{0,5}(2\varphi_{0,5})$ и уровня первого бокового лепестка диаграммы направленности.

Для того, чтобы определить ширину главного лепестка диаграммы направленности антенны - углового сектора $2\theta_{0,5}(2\varphi_{0,5})$ между направлениями, вдоль которых напряженность поля уменьшается в 0,707 раз по сравнению с максимальной напряженностью поля, необходимо получить углы θ_1 и θ_2 при которых интенсивность достигает значения 0,707 от максимального значения. Тогда $2\theta_{0,5} = \theta_2 - \theta_1$ - ширина ДН (рисунок 18).

Для определения углов θ_1 и θ_2 нормированной ДН необходимо выставить горизонтальную линию курсора 1 (желтый) на уровень 0,707 по оси "Y". Для этого, в координатной таблице, расположенной под окном прямоугольной системы координат, в графе "Y" написать 0,707 или выбрать в окошке курсора число, наиболее близкое к 0,707. После этого необходимо перемещать вертикальную линию курсора 1 (желтый), затем курсора 2 (синий) по оси "X" до пересечения с уровнем 0,707 нормированной ДН. Значения углов θ_1 и θ_2 отображаются в графе "X" координатной таблицы.

Для того, чтобы определить уровень первого бокового лепестка ДН в относительных единицах по сравнению с максимальной напряженностью поля, необходимо выставить курсор 1 (желтый) на тот уровень по оси "Y", который соответствует вершине первого бокового лепестка ДН (наибольшего - в случае отсутствия симметричности ДН).



Рисунок 18. Пример определения ширины диаграммы направленности

В координатной таблице, расположенной под окном прямоугольной системы координат, в графе "Y" отобразится число, соответствующее уровню первого бокового лепестка ДН антенны в относительных единицах. На практике принято указывать эту величину в децибелах. С целью пересчета величины уровня сигнала по напряженности

принято использовать формулу: $A_{06} = 20 \lg A$ (отн. ед.). Перемещая последовательно вертикальную линию курсора 1 (желтый) и курсора 2 (синий) по оси "X" до пересечения с найденным уровнем первого бокового лепестка ДН, получим направления первых боковых лепестков ДН слева и справа от главного луча ДН. Углы $\theta_л$ и $\theta_п$ отображаются в графе "X" координатной таблицы. Величины этих углов могут отличаться по модулю, если исследуемая ДН несимметрична.

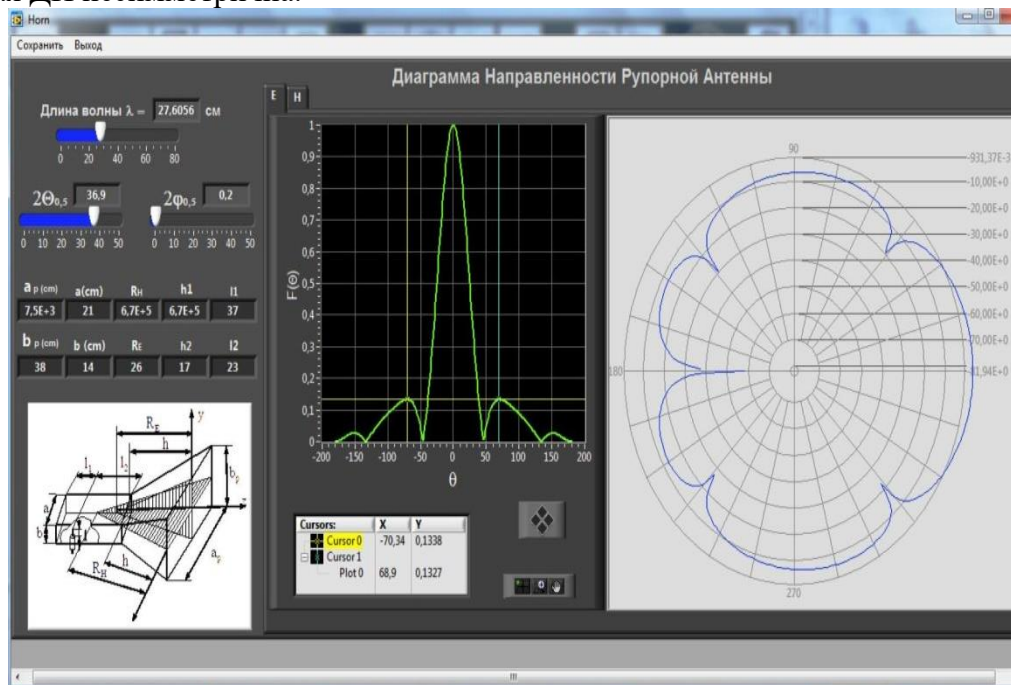


Рисунок 19. Пример определения уровня первого бокового лепестка. Например, для случая, отображенного на Рисунке 18 и рисунке 19:

Ширина ДН, $2\theta_{0,5} = \theta_1 - \theta_2$, (градус)	
Уровень первого бокового лепестка ДН, отн.ед.	
Уровень первого бокового лепестка ДН, (дБ)	
Направление первого бокового лепестка слева от главного, (градус)	
Направление первого бокового лепестка справа от главного, (градус)	

Оборудование и материалы

1. Учебный класс с лабораторным стендом по исследованию антенн.

Указания по технике безопасности

1. К проведению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.
2. Включение лабораторного стенда осуществляется только с разрешения преподавателя.
3. При проведении лабораторной работы не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.
4. Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов лабораторных установок.

5. При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.

6. В аудитории запрещается пользоваться источниками открытого огня. При возгорании оборудования его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.

7. Стенд необходимо эксплуатировать в помещении, не подверженном воздействию факторов, повышающих опасность поражения электрическим током (повышенная влажность, отсутствие шины заземления, и т. д.).

8. Запрещается включение установки в сеть в атмосфере, содержащей горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости.

9. Корпус лабораторной установки должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Соблюдайте общие правила техники безопасности применимые к приборам, имеющим питание от сети переменного тока.

10. При возникновении непредвиденных лабораторной работой неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу с установкой, выключив ее из сети и обратиться к преподавателю или обслуживающему персоналу.

11. Для исключения возможности СВЧ облучения запрещается стоять в непосредственной близости от раскрыва передающей антенны.

12. Лабораторный стенд имеет низковольтное питание. Питание подается от модулей N1 PXI.

13. Запрещается подключать к рабочему стенду другие блоки питания или производить какие-либо внешние подключения.

14. По окончании работы с лабораторным оборудованием его необходимо выключить установленным порядком.

Задание по выполнению лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал по учебным вопросам 1 - 3.

2. Изучить порядок работы с лабораторным стендом, в соответствии учебным вопросом 3.

3. Ответить на контрольные вопросы.

4. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета:

1. Титульный лист (образец представлен в Приложении 1).

2. Цель занятия.

3. Основные теоретические положения, изучаемого материала. Выводы по ним, подчеркивающих суть, изучаемого вопроса.

Примечание: Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть лабораторной работы. Основанием для снижения оценки являются:

- наличие ошибок, не искажающих сути, рассматриваемого вопроса;
- небрежный отчет.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- неправильные расчеты (ошибки допущенные при проведении исследований);
- не обоснованные (ошибочные) выводы;
- не полностью выполненная работа.

Контрольные вопросы:

1. Функциональные возможности лабораторного стенда.

2. Оборудование и состав лабораторного стенда.

3. Порядок использования лабораторного стенда (показать порядок работы при измерении диаграммы направленности).

Список рекомендованной литературы:

1. Велигоша А.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».
2. Велигоша А.В. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».
3. Техническое описание лабораторного стенда по исследованию антенн.

Лабораторная работа 4.

Исследование симметричных и несимметричных вибраторных антенн

Цель лабораторной работы:

1. Ознакомление с теоретическими основами и принципом работы симметричной и несимметричной вибраторной антенны.
2. Формирование умений по расчету и построению диаграмм направленности (ДН) и определению основных параметров направленного действия вибраторных антенн с использованием специального программного обеспечения.
3. Формирование навыков измерения ДН штыревых антенн.

Учебные вопросы:

1. Характеристики и принцип работы симметричных и несимметричных вибраторов.
2. Исследование вибраторных антенн.

Теоретические сведения

1. Характеристики и принцип работы симметричных и несимметричных вибраторов.

Графическое изображение характеристики направленности называют диаграммой направленности антенны. Пространственная диаграмма направленности, изображаемая в виде некоторой поверхности $f(\varphi, \theta)$, представляет собой объёмную фигуру. На практике, обычно пользуются плоскостными диаграммами направленности, изображающими зависимость величины напряжённости поля от направления в одной из двух главных плоскостей. Главными плоскостями для антенн, излучающих линейно поляризованные волны, называются плоскости, в которых лежит либо вектор $\vec{E}$ (плоскость электрического вектора), либо вектор $\vec{H}$ (плоскость магнитного вектора) излученного поля.

Двухмерная диаграмма направленности антенны может строиться как в полярной, так и в прямоугольной системе координат (рисунок 1). При построении диаграммы направленности в полярной системе координат (рисунок 1, а) из полюса (начало координат) под различными углами θ или φ откладывают радиус-вектор, длина которого пропорциональна напряжённости поля (или излучаемой мощности) в направлении данного радиуса, а затем концы этих радиус-векторов соединяют плавной кривой.

В прямоугольной системе координат (рисунок 1, б) по оси абсцисс откладываются углы θ или φ , характеризующие направление излучения в соответствующей плоскости, а по оси ординат - величина напряжённости поля или излучаемой мощности.

Диаграммы направленности, выполненные в полярной системе координат, отличаются большей наглядностью. В прямоугольной системе координат можно выбрать любой масштаб по обеим осям и более четко выявить структуру сложных диаграмм, растянув их вдоль оси абсцисс. Обычно широкие диаграммы направленности строят в полярной, а узкие - в прямоугольной системе координат.

Для суждения о направленных свойствах антенны представляют интерес не абсолютные значения параметров электромагнитного поля, а их относительное распределение. Поэтому, на практике, наиболее широко используют нормированные характеристики направленности, в которых величины напряжённости поля или мощности выражены относительно их максимального значения: $F(\theta, \varphi) = f(\theta, \varphi) / f_{\max}(\theta, \varphi)$. У нормированных диаграмм направленности максимальное значение всегда равно единице (рисунок 1, б).

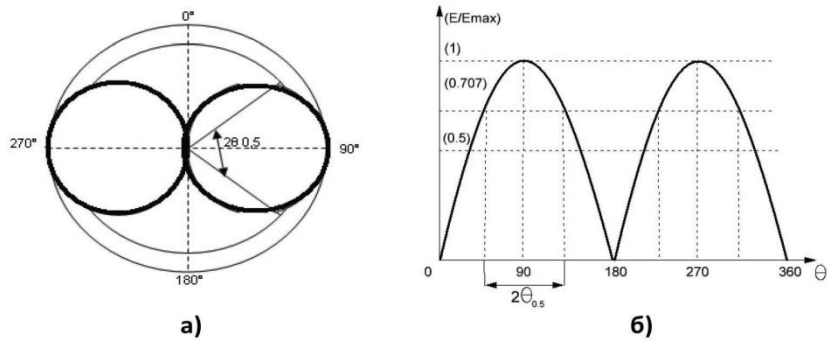


Рисунок 1. Диаграммы направленности полуволнового вибратора в полярной (а) и прямоугольной (б) системах координат

Шириной диаграммы направленности по половинной мощности $2\theta_{0,5} (2\varphi_{0,5})$ называют угол между направлениями, вдоль которых напряженность поля уменьшается в 0,707 раз по сравнению с максимальной напряженностью поля (рисунок 1). Если снята диаграмма направленности по мощности, то ширина диаграммы определяется на уровне половины от максимальной мощности.

Для антенн, располагающихся вблизи земной поверхности, обычно пользуются определениями вертикальной (относительно земли) и горизонтальной поляризации. Поляризация характеризует ориентацию вектора $\vec{E}$ в пространстве, через который проходит и плоскость поляризации. Так называемый вертикальный вибратор (относительно земли) излучает и принимает вертикально поляризованные волны (ВПВ), а горизонтальный вибратор - горизонтально поляризованные волны (ГПВ) (рисунок 2).

Важными характеристиками антенны, связанными с диаграммой направленности, являются: коэффициент направленного действия (КНД) и коэффициент усиления (КУ).

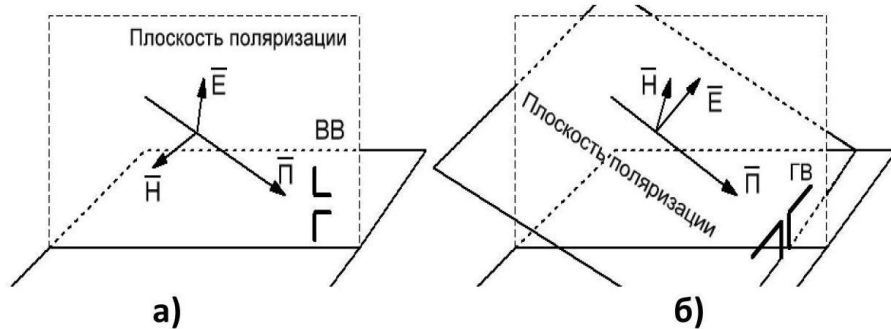


Рисунок 2. Виды линейной поляризации: а) вертикальная; б) горизонтальная

Коэффициентом направленного действия $D(\theta, \varphi)$ называется отношение мощности $P(\theta, \varphi)$, излучаемой антенной в единицу телесного угла в некотором направлении к средней мощности P_{Σ} , излучаемой антенной по всем направлениям:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{\frac{P_{\Sigma}}{4\pi}} \quad (1.1)$$

КНД может быть определен по ДН антенны по мощности:

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4P(\theta, \varphi)}{\iint_{00}^{2\pi\pi} P(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi} = \frac{4f(\theta, \varphi)}{\iint_{00}^{2\pi\pi} P(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi} \quad (1.2)$$

Как правило, в качестве характеристики антенны используют максимальное значение КНД:

$$D_{\max} = \frac{4\pi}{\int \int_{00}^{2\pi\pi} f(\theta, \varphi) \sin \theta d\theta d\varphi} \quad (1.3)$$

При этом угловая зависимость КНД восстанавливается очевидным образом:

$$D(\theta, \varphi) = D_{\max} \times f(\theta, \varphi).$$

Поскольку, определение ДН антенны во всем пространстве практически невозможно, иногда используют в качестве характеристики антенны КНД, рассчитанный по главному лепестку:

$$D_{\text{гл}} = 4\pi \int_{\Omega_{\text{гл}}} f(\theta, \varphi) d\Omega \quad (1.4)$$

где Ω - угловой сектор, занимаемый главным лепестком ДН.

Значения КНД у разных антенн составляет от 1,5 - для элементарного диполя, 1,64 - для полуволнового вибратора и до величин порядка 10^8 - для больших зеркальных антенн миллиметрового диапазона.

Коэффициент усиления $G(\theta, \varphi)$ учитывает потери в антенне, характеризуемые коэффициентом полезного действия (КПД) $\eta = P_{\text{и}} / P_{\text{вх}}$ - отношение излучаемой мощности $P_{\text{и}}$ к мощности, подводимой к антенне $P_{\text{вх}}$. По определению, КУ показывает, во сколько раз должна быть увеличена входная мощность при замене реальной направленной антенны с потерями на ненаправленную антенну без потерь, при условии сохранения неизменной величины плотности потока мощности в данном направлении.

КНД, КУ и КПД антенны связаны соотношением:

$$G(\theta, \varphi) = \eta \times D(\theta, \varphi) \quad (1.5)$$

Иногда усиление антенны характеризуют таким параметром, как эффективная площадь $S_{\text{эфф}}$. Эффективная площадь антенны связана с КНД соотношением:

$$S_{\text{эфф}} = \lambda^2 / 4\pi \times D \quad (1.6)$$

Симметричные вибраторы относятся к простейшим антеннам. Они широко используются не только самостоятельно, в составе различных линий связи, но и как элементы более сложных антенных систем. Они нашли широкое применение в диапазоне КВ и УКВ. Конструктивно представляют собой два проводника одинаковой длины, между которыми включается питающая линия - фидер, соединяющая антенну с передатчиком. Следует учитывать, что свойства любой антенны сохраняются как при ее работе в качестве приемной, так и передающей, если передатчик и приемник подключены с помощью фидера к одним и тем же входным зажимам антенны.

Входное сопротивление симметричного вибратора, в общем случае, имеет как активную, так и реактивную составляющие. При длине вибратора, равной или кратной половине длины волны, его реактивное сопротивление обращается в нуль. Такая длина вибратора называется резонансной.

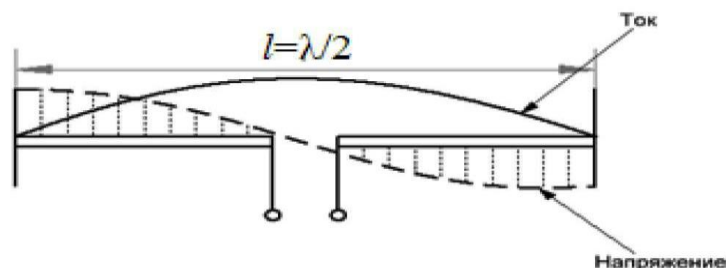


Рисунок 3. Полуволновый вибратор, распределение тока и напряжения

Вдоль полуволнового вибратора устанавливается половина волны тока и напряжения (рисунок 3).

При изменении частоты принимаемого сигнала величина ЭДС на выходе симметричного вибратора также будет изменяться. Это обусловлено, во-первых, изменением реактивной части входного сопротивления антенны, во-вторых, изменением характеристики направленности. Если, поддерживая мощность источника сигнала постоянной, снять зависимость ЭДС от частоты, мы получим амплитудно-частотную характеристику антенны.

По форме частотной характеристики можно судить о полосе пропускания антенны, о ее диапазонных свойствах.

Резонансные свойства антенны также зависят от величины ее волнового сопротивления, которое, в свою очередь, существенно зависит от диаметра вибратора. С увеличением диаметра уменьшается волновое сопротивление и расширяется полоса пропускания антенны.

Ток вдоль вибратора нельзя считать равномерно распределенным ($I \neq \text{const}$), необходимо определить закон изменения тока вдоль вибратора.

Следующее соотношение позволяет построить ненормированную ДН симметричного вибратора, находящегося в свободном пространстве:

$$E_m(\theta) = \frac{60 \cdot I_m}{r} \cdot \left(\left| \frac{\cos\left(\frac{\pi \cdot L}{\lambda} \cdot \cos(\theta)\right) - \cos\left(\frac{\pi \cdot L}{\lambda}\right)}{\sin(\theta)} \right| \right), \quad (1.7)$$

где I_m - амплитуда тока в антенне; r - расстояние до точки наблюдения; L - геометрическая длина антенны; λ - длина волны; θ - переменный угол в вертикальной плоскости пространства в радианах.

Для построения нормированной ДН необходимо $E_m(\theta)$ разделить на $E_{m \max}(\theta)$:

$$F(\theta) = \frac{E_m(\theta)}{E_{m \max}(\theta)}. \quad (1.8)$$

Нормированное выражение для ДН вибраторной антенны в упрощенном виде выглядит:

$$F(\theta) = \frac{\cos(kl \cos \theta) - \cos kl}{(1 - \cos kl) \sin \theta} \quad (1.9)$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число; l - длина плеча вибратора; θ - переменный угол.

Несимметричный вибратор (штырь) - это антенна, которая располагается в непосредственной близости к поверхности Земли или на проводящем экране перпендикулярно (очень редко - под углом) к этой поверхности. Если поверхность Земли принять за идеально проводящую и принять во внимание зеркальное отображение, то несимметричный вибратор можно считать половиной эквивалентного ему симметричного вибратора (рисунок 4). Исходя из этого предположения рассчитываются все основные характеристики несимметричного вибратора (штыревой антенны).

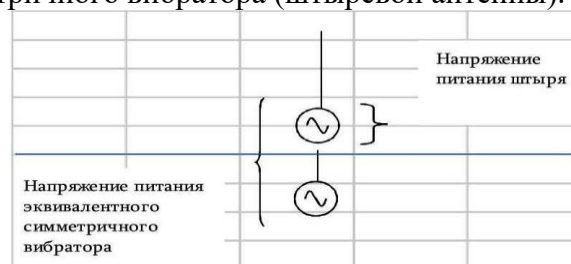


Рисунок 4. Симметричный вибратор, эквивалентный несимметричному

Сопротивление излучения несимметричного вибратора в два раза меньше, чем у эквивалентного симметричного вибратора, поскольку в случае равных величин токов первый излучает в два раза меньшую мощность (нет излучения в нижнее полупространство). Входное сопротивление несимметричного вибратора также в два раза меньше, чем у эквивалентного симметричного, поскольку при одинаковых токах питания напряжение питания первого в два раза меньше. У несимметричного вибратора коэффициент направленного действия, а следовательно, и коэффициент усиления, в два раза больше, чем у эквивалентного симметричного вибратора, поскольку при равных мощностях излучения первый обеспечивает в два раза большую плотность мощности, и мощность излучается лишь в одно полупространство.

Расчетное задание

1. Рассчитать и построить в декартовой системе координат ненормированные и нормированные ДН двухволновой, волновой, полуволновой и четвертьволновой вибраторной антенны по формулам (1.7 и 1.8); графически определить величины ширины главного лепестка диаграмм направленности. Для упрощения расчетов, в лабораторном практикуме предлагается возможность компьютерного расчета. На панели управления щелкните по иконке (1), после чего запустите симуляционную функцию **Dipole**, щелкнув по иконке (2).



Откроется лицезная панель симуляционной функции **Dipole**, рисунок 5:

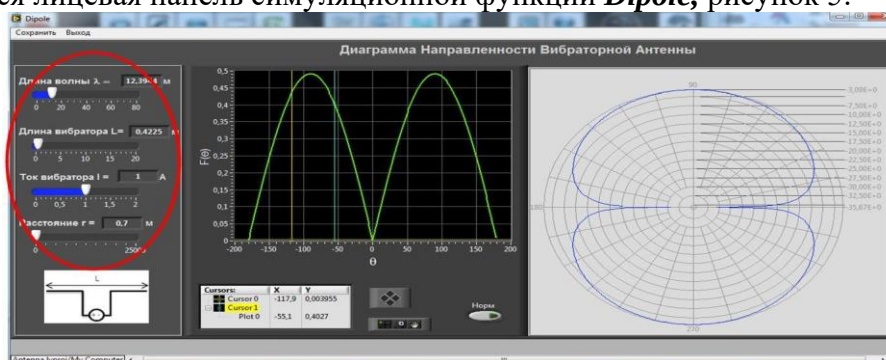


Рисунок 5. Лицевая панель программы

2. Данные для расчета берутся из Таблицы 1 в соответствии с вариантом, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале.

Таблица 1

Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8
Длина антенны L, м	L	0,3	1	3,3	3,9	2,1	2,7	5,1	2
Ток в антенне, I _m , A	I	3E-2	1E-1	2E-2	4E-3	8E-2	7E-3	9E-4	1
Расстояние r, м	r	1000	800	900	2200	1300	500	1000	7000
	2	2500	3000	2800	1200	4000	1200	1500	4000

Примечание: Все переменные задаются в научной нотации: $1\text{mA} = 1 \cdot 10^{-3} \text{A} = 1\text{E}-3\text{A}$.

Рассчитать частоту колебаний генератора по формуле $f = c/\lambda$; $c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$ для длины антенны L (Таблица 1), при которой антенна станет:

1. Четвертьволновым вибратором $L = \lambda/4$.

2. Полуволновым вибратором $L = \lambda/2$.
 3. Волновым вибратором $L = \lambda$.
 4. Двухволновым вибратором $L = 2\lambda$.
- Рассчитанные данные занести в Таблицу 2.

Таблица 2

L	$L = \lambda/4$	$L = \lambda/2$	$L = \lambda$	$L = 2\lambda$
$\lambda, \text{м}$				
$f = c/\lambda, \text{Гц}$				

Примечание: Все переменные задаются в научной нотации: 1МГц = $1 \cdot 10^6$ Гц = 1Е6 Гц.

4. Получить ненормированную ДН (для этого, кнопка **Norm** на фронтальной панели симуляционной программы должна быть отключена) симметричного вибратора длиной L , для двух расстояний до точек наблюдения r_1, r_2 и значения тока в антенне I_m (Таблица 1) при длине волны λ , соответствующей длине вибратора $L = \lambda/4$. (Таблица 2). Данные вводить в лицевую панель программы, рисунок 5. После этого на графиках появятся ненормированные ДН в декартовой и полярной системах координат.

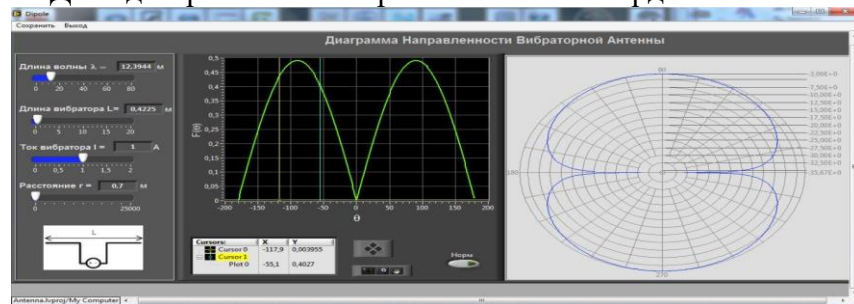
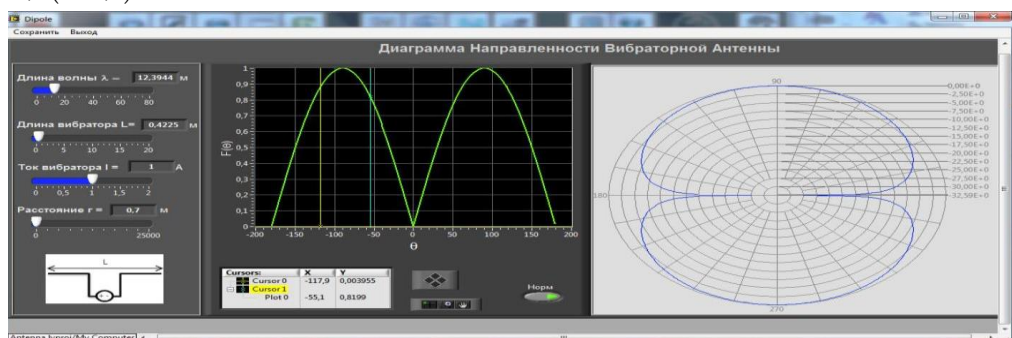


Рисунок 6. Ненормированные ДН

5. Провести аналогичные расчеты для полуволнового $L = \lambda/2$, волнового $L = \lambda$ и двухволнового $L = 2\lambda$ вибратора. Таким образом, необходимо получить восемь ненормированных диаграмм направленности. Используя курсоры, зафиксировать величины E (пиковые значения лепестков ненормированных ДН) для всех восьми случаев и занести их в соответствующие графы Таблица 3 и Таблица 4.

6. Рассчитать (в случае обоих расстояний r_1 и r_2) нормированную ДН (нажать кнопку **Norm** ) для каждого из четырех типов вибраторов, используя те же самые данные из Таблицы 1. Таким образом, необходимо получить еще восемь уже нормированных диаграмм направленности. Определить для каждой полученной нормированной ДН ширину ее главного лепестка (см. раздел 9.2. Определение углового сектора $2\theta_{0,5}(2\varphi_{0,5})$ и уровня первого бокового лепестка диаграммы направленности).



Результаты внести в Таблицу 3 и сделать выводы о зависимости ширины основных лепестков ДН от типа вибраторной антенны.

Таблица 3

Вариант		$L = \lambda/4$	$E_{\max}$	θ_1	θ_2	$2\theta_{0,5}$	Кол-во основных лепестков
L		r1					
I		r2					
r1		$L = \lambda/2$					
r2		r1					
		r2					
		$L = \lambda$					
		r1					
		r2					
		$L = \lambda$					
		r1					
		r2					

7. В Таблице 4 необходимо записать результаты расчета нормированной ДН штыревой вибраторной антенны ($L = \lambda/4$), которая используется в данном лабораторном практикуме в качестве испытуемой. В качестве исходных данных для расчета использовать указанные в Таблице 4 значения.

Таблица 4

Испытуемая антенна $L = \lambda/4 = 3.1 \text{ см}$	I	$E_{\max}$	θ_1	θ_2	$2\theta_{0,5}$	Кол-во основных лепестков
$r_1 = 1.5 \text{ см}$	10 мА					

8. Запомнить результаты всех расчетов и рисунок ДН для варианта с данными, указанными в Таблица 4. Выйти из симуляционной программы.

2. Исследование вибраторных антенн

Практическое задание по учебному вопросу 2

Измерение ДН в плоскости Е

1. Установить вспомогательную штыревую антенну номер 10 на треногу для вспомогательной антенны (см. раздел. 6.2 Сборка стенда, стр. 12).



2. Подсоединить ее к выходу RF OUT генератора N1 PX1e-5673E (см. раздел 6.3 Сборка контрольно-измерительного оборудования, стр. 13), использовать коаксиальный кабель (14) (см. 4.1. Оборудование стенда, стр. 6). Вспомогательная антенна должна быть в горизонтальном положении. Установить штыревую антенну (9) (см. 4.1. Оборудование стенда, стр. 6) на опорно-поворотное устройство для испытуемой антенны (см. раздел 6.2 Сборка стенда, стр. 12).

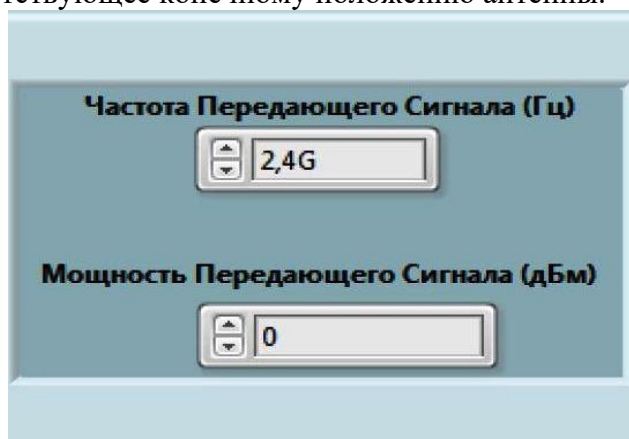
Подсоединить испытуемую антенну к входу RF IN анализатора N1 PX1e-5663E. Использовать коаксиальный кабель (15) (см. 4.1. Оборудование стенда, стр. 6). Испытуемая антенна должна быть в горизонтальном положении.



Разнести испытуемую и вспомогательную антенны на расстояние $r = 1,5$ м, причем ориентировать антенны так, чтобы они были направлены друг на друга соосно. Важно также, чтобы точки подключения к фидерам испытуемой и вспомогательной антенн находились на одинаковой высоте.

4. На лицевой панели в поле Частота Передающего Сигнала ввести $f = 2,4$ GHz, а в поле Мощность Передающего Сигнала - 0 дБм.

В поле Шаг измерения ввести необходимое значение (по умолчанию 1), соответствующее шагу измерения, в градусах, а в поле Конечный Угол ввести значение (по умолчанию 360) соответствующее конечному положению антенны.

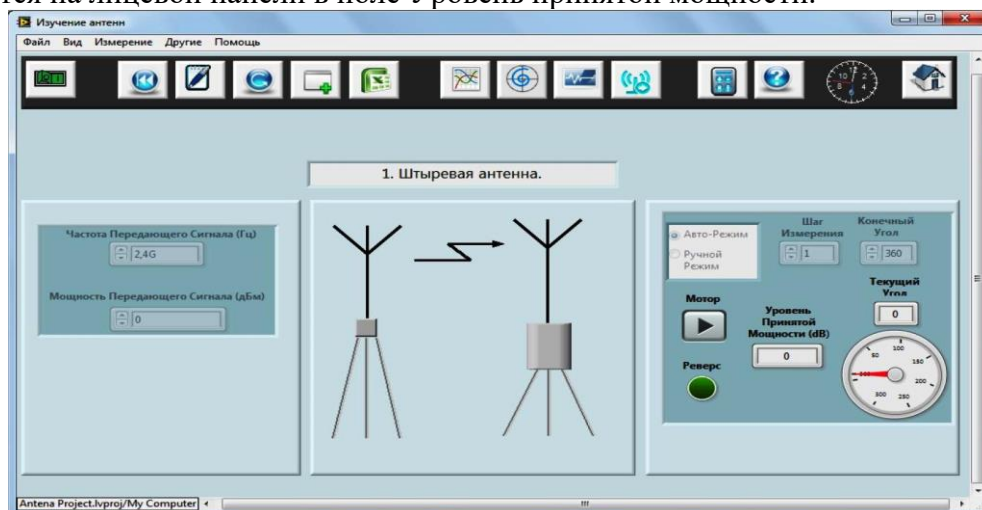


При достижении антенной конечного угла автоматически включается реверс, и антенна возвращается в начальное положение.

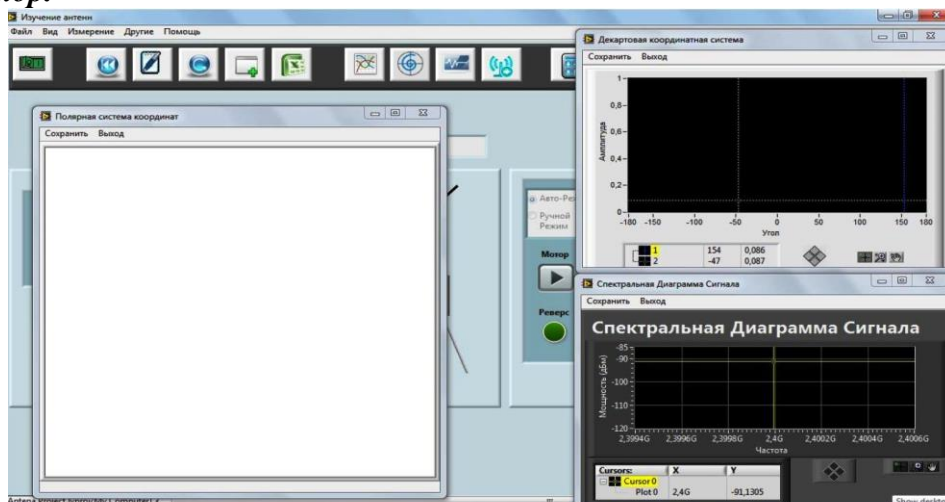


Запустить генератор и анализатор кнопкой Старт на лицевой панели. Генерируемый сигнал, через выход RF OUT генератора N1 PX1e-5673E, будет излучаться вспомогательной антенной, а испытуемая антенна будет принимать этот сигнал. Через вход RF IN

анализатора NI PX1e-5663E измеряется уровень мощности, и значение в децибелах отображается на лицевой панели в поле Уровень принятой мощности.



На панели управления открыть поля декартовой и полярной системы координат, нажав кнопки  , удобно разместить эти окна на экране так, чтобы не заслонять кнопку **Мотор**.



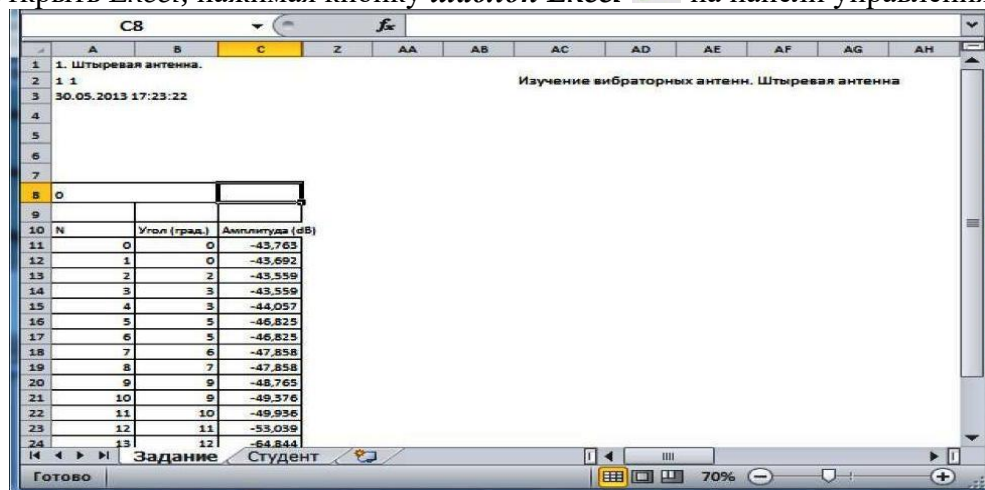
7. Проверить расположение двух антенн по пункту 3. Запустить движение опорно-поворотного устройства нажатием кнопки **Мотор** на лицевой панели. Антенна начинает вращаться от 0° до значения, определяемого параметром *Конечный угол* и, соответственно зафиксированному в окне на лицевой панели шагу измерения (Шаг измерения), измеряются уровень принятой мощности в децибелах, нормированные результаты измерения графически записываются параллельно в двух окнах систем координат и в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel. Достигнув значения, определяемого параметром *Конечный угол*, ОПУ начинает реверсное вращение, в процессе которого снова измеряются значения мощности поля излучения. Кривые, полученные во время реверсного вращения, записываются в тех же графических окнах, что и при первом витке вращения испытуемой антенны (в декартовой системе координат - другим цветом).

8. Для обеспечения достоверности результатов измерения пункт 6 повторить еще раз. В начале каждого следующего измерения необходимо нажимать кнопку **Новый сеанс**  на панели управления.

9. Сохранить измеренные графики четырех нормированных ДН в регистрационной папке студента.

10. Экспериментальные результаты автоматически перенесутся в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel, в виде двух таблиц, чередующих друг друга.

11. Открыть *Excel*, нажимая кнопку **шаблон Excel**  на панели управления.



N	Угол (град.)	Амплитуда (дБ)
0	0	-43,763
1	0	-43,692
2	2	-43,559
3	3	-43,559
4	3	-44,057
5	5	-46,825
6	5	-46,825
7	6	-47,858
8	7	-47,858
9	9	-48,765
10	9	-49,376
11	10	-49,996
12	11	-53,099
13	12	-64,844

Обязательно сохранить полученные табличные данные измерений в плоскости E.

Измерение ДН в плоскости Н

1. Подготовиться к измерениям ДН испытуемой штыревой антенны в плоскости Н.

Для этого необходимо повторить п.п.3 **Измерение ДН в плоскости E** с той разницей, что испытуемую и вспомогательную штыревые антенны надо повернуть на 90°, ориентируя их по вертикали.



Обязательно сохранить полученные табличные данные измерений в плоскости Н.

Обработка результатов измерений

1. Просчитать усредненные результаты четырёх измерений нормированных ДН в обеих плоскостях, зафиксированных в шаблонном файле формата *Excel*. Записать полученные значения в том же файле, заполнив Таблицу 5 и Таблицу 6. Советуем внимательно проследить при заполнении таблиц за значениями функций и аргумента (при реверсном повороте углы изменяются в убывающем порядке).

Таблица 5

θ	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	σ
						$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	

Таблица 6

φ	$f_{H1}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H1}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	σ	σ

2. Определить погрешность результатов измерений в обеих плоскостях по формуле

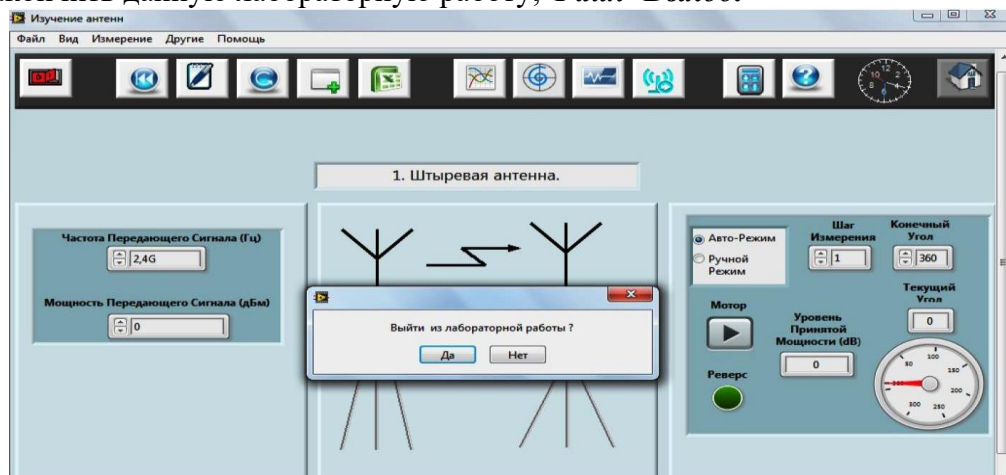
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cp})^2}$$

3. Построить ДН антенны в обеих плоскостях по усредненным значениям функций (см. Таблица 5 и Таблица 6).

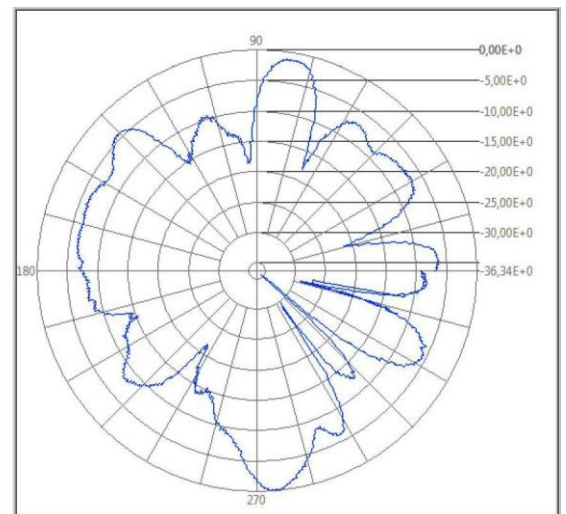
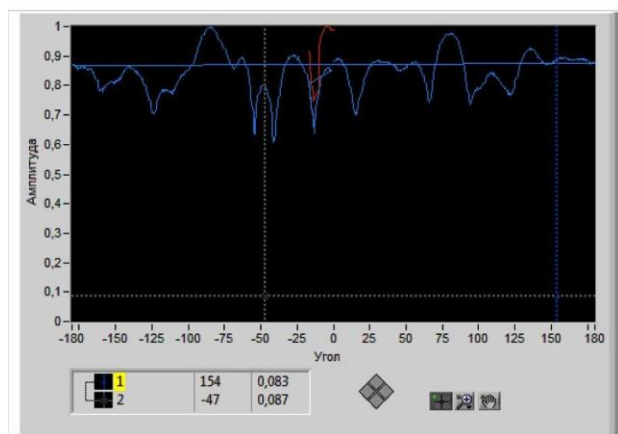
4. Сравнить усредненный результат измерений в плоскости E для расстояния $r = 1.5 \text{ м}$ с расчетными результатами, записанными в таблице 4.

5. Нажать кнопку **Стоп**.

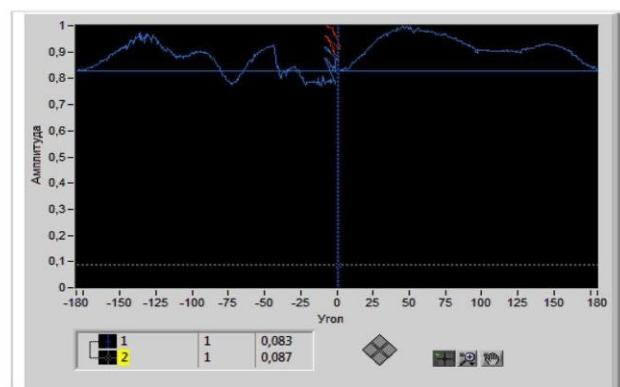
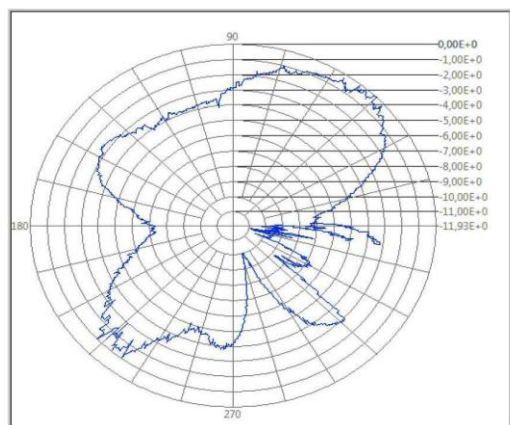
6. Закончить данную лабораторную работу, **Файл>Выход**.



После выполнения опыта: 1. ДН в горизонтальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



ДН в вертикальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



Оборудование и материалы

1. Учебный класс с лабораторным стендом по исследованию антенн.

Указания по технике безопасности

1. К проведению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.

2. Включение лабораторных установок (компьютеров) осуществляется только с разрешения преподавателя.

3. При проведении лабораторной работы не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.

4. Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов лабораторных установок (компьютеров).

5. При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.

6. В аудитории запрещается пользоваться источниками открытого огня. При возгорании оборудования его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.

7. Стенд необходимо эксплуатировать в помещении, не подверженном воздействию факторов, повышающих опасность поражения электрическим током (повышенная влажность, отсутствие шины заземления, и т. д.).

8. Запрещается включение установки в сеть в атмосфере, содержащей горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости.

9. Корпус лабораторной установки должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Соблюдайте общие правила техники безопасности применимые к приборам, имеющим питание от сети переменного тока.

10. При возникновении непредвиденных лабораторной работой неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу с установкой, выключив ее из сети и обратиться к обслуживающему персоналу.

11. Для исключения возможности СВЧ облучения запрещается стоять в непосредственной близости от раскрытия передающей антенны.

12. Лабораторный стенд имеет низковольтное питание. Питание подается от модулей N1 PXI.

13. Запрещается подключать к рабочему стенду другие блоки питания или производить какие-либо внешние подключения.

14. По окончании работы с лабораторным оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание по выполнению лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал по учебному вопросу 1.
2. Выполнить практическое задание по учебному вопросу 2.

3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета:

1. Титульный лист (образец представлен в Приложении 1).
2. Цель занятия.
3. Основные теоретические положения, изучаемого материала. Выводы по ним, подчеркивающих суть, изучаемого вопроса.
4. Перечень практических заданий. По каждому заданию представляются расчеты, обоснования (результаты исследований) и выводы по ним.

Все результаты должны быть оформлены в виде таблиц и графиков. Отчет должен содержать:

1. Расчетные данные (Таблица 2 и Таблица 4) и графики ДН.
2. Результаты экспериментальных исследований и их обработку (Таблица 5 и Таблица 6) и графики ДН.

Примечание: Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть лабораторной работы. Основанием для снижения оценки являются:

- наличие ошибок, не искажающих сути, рассматриваемого вопроса;
- небрежный отчет.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- неправильные расчеты (ошибки допущенные при проведении исследований);
- не обоснованные (ошибочные) выводы;
- не полностью выполненная работа.

Контрольные вопросы

1. Объяснить принцип действия симметричного вибратора.
2. Что собой представляет резонансная частота вибраторной симметричной антенны?
3. Определить резонансную длину вибратора, если частота генератора $f_1 = 100 \text{ МГц}$; $f_2 = 200 \text{ МГц}$; $f_3 = 300 \text{ МГц}$.
4. Перечислить основные параметры вибраторных антенн.
5. Что такое диаграмма направленности антенны?
6. Что собой представляют ДН в прямоугольной и полярной системах координат?

Список рекомендованной литературы:

1. Велигоша А.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».
2. Велигоша А.В. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».

Лабораторная работа 5.

Исследование синфазной антенной решетки.

Цель работы:

1. Ознакомление с теоретическими основами и изучение основных свойств интерферометров и антенных решеток. Выявление влияния законов распределения амплитуд и распределение фаз поля на основные параметры антенны.
2. Формирование умений по расчету и построению диаграмм направленности (ДН) антенных решеток с использованием специального программного обеспечения и выявлению условий возникновения побочных максимумов ДН.
3. Формирование навыка измерения ДН синфазных антенных решеток.

Учебные вопросы:

1. Многовибраторные синфазные решетки.
2. Измерение ДН в плоскости Е.
3. Измерение ДН в плоскости Н.

1. Многовибраторные синфазные решетки

В ряде случаев необходимо получить узкие диаграммы направленности, то есть, чтобы антенны концентрировали излучаемые ими электрические волны в узкие пучки.

Этого можно добиться при помощи нескольких вибраторов, возбуждаемых синфазно и равномерно.

Предположим, что имеется m рядов симметричных вибраторов. Расстояние между центрами соседних вибраторов равно d_1 , а расстояние между соседними рядами вибраторов – d_2 . Такая система называется плоской двумерной решеткой вибраторов. В общем случае, такая решетка может состоять из любых идентичных излучателей, одинаковым образом ориентированных в пространстве. В данной лабораторной работе решетка состоит из patch-вибраторов, которые работают на $\lambda = 12,5\text{см}$.

Когда антенна состоит из одного ряда линейных вибраторов, расположенных вдоль некоторой оси (Табл. 1), в произвольном направлении, образующим угол θ с нормалью к линии расположения вибраторов, напряженность поля в дальней зоне равна:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots \vec{E}_n \quad (1)$$

где $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \dots \vec{E}_n$ - векторы напряженности полей, создаваемых отдельными вибраторами.

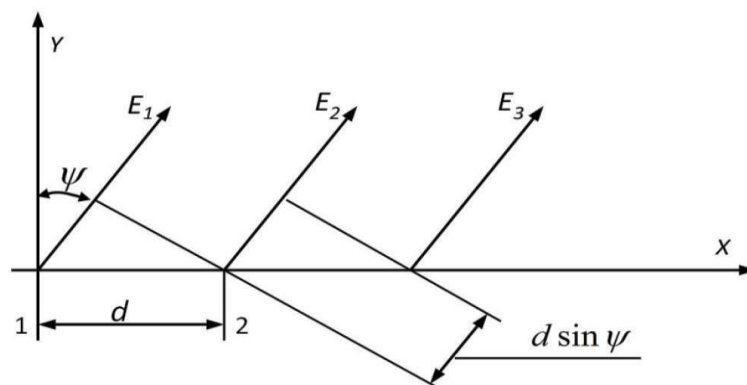


Рисунок 1. Векторы напряжённости полей, создаваемых линейными вибраторами

Если принять во внимание, что расстояние до точки, где имеется поле, во много раз превышает длину линейки вибратора, $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3, \dots \vec{E}_n$ практически одинаковы по величине, и отличаются только сдвигом фаз, вызванным разностью хода лучей из-за неодинаковости длины путей отдельных вибраторов до точки приема $d_{12} = d \sin \psi$, где d - расстояние между

серединами двух соседних вибраторов. Для суммарного электрического поля напряженность равна:

$$\vec{E} = \vec{E}_1 \frac{\sin\left[\frac{nkL}{2} \sin \theta\right]}{\sin\left[\frac{kL}{2} \sin \theta\right]} e^{\frac{i(n-1)}{2} kL \sin \theta} \quad (2)$$

где n - число вибраторов.

Здесь, E_1 - напряженность поля первого вибратора, которая для симметричного вибратора может быть записана в виде

$$E_1 = i \frac{60 I_{\text{пуч}}}{r} \cdot \frac{\cos(kL \sin \theta) - \cos kL}{\cos \theta} \quad (3)$$

$$e^{\frac{i(n-1)}{2} kL \sin \theta} = e^{i\psi(\theta)} e^{-ikr} \quad (4)$$

где $\psi(\theta)$ - фазовая характеристика направленности; $I_{\text{пуч}}$ - ток пучности.

В общем виде (2) можно представить следующим образом:

$$E = A f_1(\theta) f_c(\theta) e^{i\psi(\theta)} e^{-ikr} \quad (5)$$

где $f_1(\theta)$ - характеристика направленности элемента решетки; $f_c(\theta)$ - множитель системы, то есть характеристика направленности линейной системы, состоящей из ненаправленных излучателей.

Зависимость фазы напряженности от угла θ объясняется выбором начала отсчета. Если начало отсчета фазы выбрать в геометрическом центре антенны, то фазовая характеристика $\psi(\theta)$ превращается в константу и множитель $e^{i\psi(\theta)}$ в формуле (4) может быть отброшен. Это означает, что рассматриваемая антенна излучает волну со сферическим фронтом волны, и фазовый центр антенны совпадает с геометрическим центром.

При большом числе вибраторов направленные свойства линейки определяются, в основном, множителем системы:

$$f_c(\theta) = \frac{\sin\left[\frac{nkL}{2} \sin \theta\right]}{\sin\left[\frac{kL}{2} \sin \theta\right]} \quad (6)$$

или же:

$$f_c(\theta) = \frac{\sin nx}{\sin x}, \quad (7)$$

где $x = \frac{kL}{2} \sin \theta$.

Максимальное значение $f_c(\theta)$ получается при $\theta = 0^\circ$ и равно n . Нормированная ДН определяется, как отношение $\frac{E}{E_{\text{max}}}$ и обозначается $F(\theta)$.

Для синфазной антенной решетки (САР) диаграмма направленности, определяемая по формуле (7) - многолепестковая (рисунок 2 Диаграмма направленности САР).

$$F(\theta) = \frac{\cos(kL \cos \theta) - \cos kL}{\sin \theta (1 - \cos kL)} \cdot \frac{\sin nx}{n \sin x}. \quad (8)$$

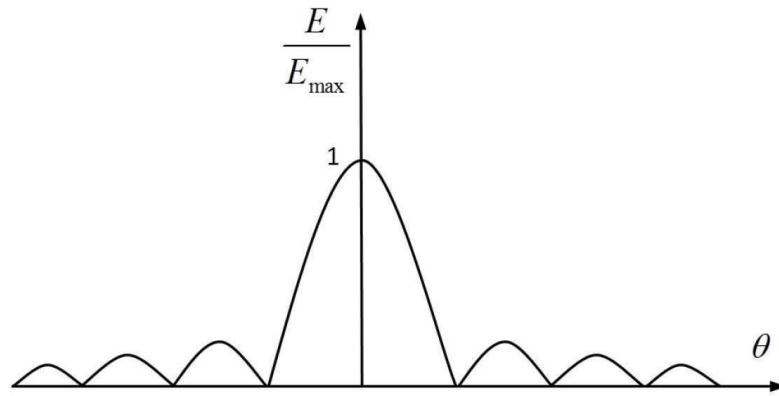


Рисунок 2. Диаграмма направленности САР

Напряженность излучаемого антенной поля максимальна в направлении $\theta = 0^\circ$. Поля от отдельных вибраторов в этом направлении складываются арифметически и являются синфазными.

Если антенна состоит из нескольких рядов линейных, синфазно возбужденных вибраторов (Табл. 3), расположенных в одной плоскости, множитель системы в этом случае выражается формулой:

$$f_c(\theta, \varphi) = \frac{\sin \left[\frac{n_1 k d_1}{2} \sin \theta \cos \varphi \right]}{\sin \left[\frac{k d_1}{2} \sin \theta \cos \varphi \right]} \cdot \frac{\sin \left[\frac{n_2 k d_2}{2} \sin \theta \sin \varphi \right]}{\sin \left[\frac{k d_2}{2} \sin \theta \sin \varphi \right]}. \quad (9)$$

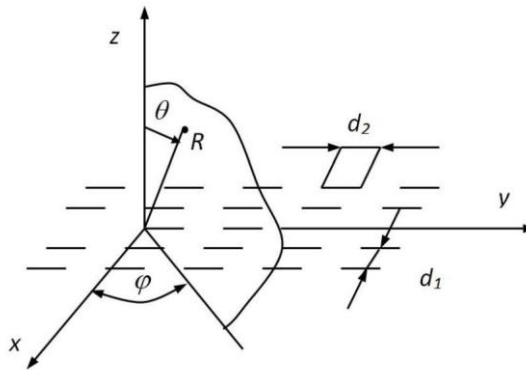


Рисунок 3. Линейная антенная решётка

Если токи ряда вибраторов не синфазны, а сдвиг фаз между соседними вибраторами постоянен и равен ψ , то для ряда вибраторов множитель системы определится формулой:

$$f_c(\theta) = \frac{\sin \left[\frac{n}{2} (k d \sin \theta - \psi) \right]}{\sin \left[\frac{1}{2} (k d \sin \theta - \psi) \right]}. \quad (10)$$

Максимальное излучение получается под углом $\theta_{\max}$, определяемым из соотношений:

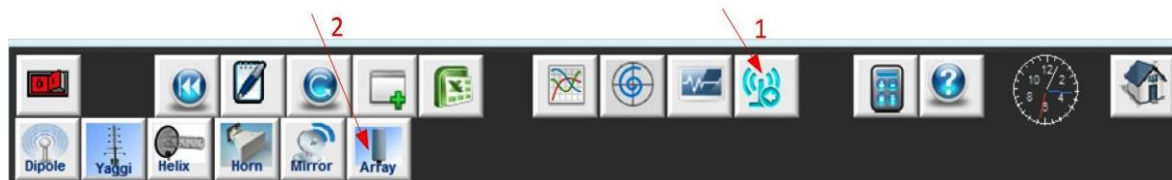
$$\sin \theta_{\max} = \frac{\psi}{k d} = \frac{\psi \lambda}{2 \pi d} \quad (11)$$

Видно, что путем изменения величины ψ можно менять направление максимального излучения.

Аналогично для антенны, состоящей из нескольких рядов, можно управлять направлением максимального излучения по углам θ_1 и φ_1 соответственно.

Расчетное задание

Рассчитать и построить в декартовой системе координат ДН синфазной антенной решетки из вибраторных антенн, из щелевых антенн, из директорных антенн, из рупорных, спиральных и зеркальных антенн по формулам (5 и 9); графически определить величины ширины главного лепестка диаграмм направленности. Для упрощения расчетов, в практикуме предлагается возможность компьютерного расчета. На панели управления щелкните по иконке (1), затем запустите симуляционную функцию **Array**, щелкнув по иконке (2).



Откроется лицевая панель симуляционной функции **Array**.

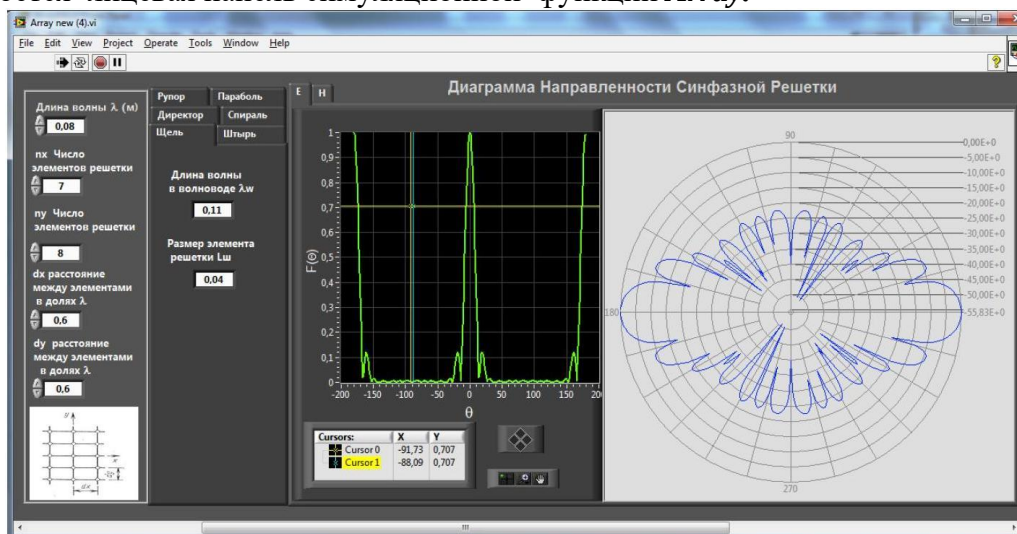


Рисунок 4. Лицевая панель программы

Данные для расчета берутся из Табл. 1 в соответствии с вариантом, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале.

Таблица 1

Вариант				1	2	3	4	5	6	7	8	
Длина волны λ , м				λ	0.3	1	0.4	0.6	1.1	0.5	0.2	0.25
Число элементов вдоль оси X, n_1				n_1	10	5	7	20	3	40	70	65
Число элементов вдоль оси Y, n_2				n_2	10	2	10	30	2	30	70	80
Расстояние между элементами d_1 , см (* 10^{-1} м - в случае спиральных, рупорных и зеркальных излучателей)				d_1	40	58	45	60	60	30	15	20
Расстояние между элементами d_2 , см (* 10^{-1} м - в случае спиральных, рупорных и зеркальных излучателей)				d_2	50	60	45	50	80	40	20	20
9		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
λ	0.17	0.8	0.7	1.2	0.24	0.77	0.82	0.9	0.12	0.15	0.18	
n_1	50	12	20	4	70	5	6	6	100	45	10	

n ₂	60	20	10	4	60	5	10	3	100	60	10
d ₁	15	50	50	100	20	50	70	100	7	10	7
d ₂	20	50	40	100	20	45	100	100	7	10	8

Остальные необходимые исходные данные расчетов для используемой в качестве элемента решетки вибраторной (щелевой), директорной, спиральной, рупорной и зеркальной антенн могут быть взяты из заданий по расчету соответствующей антенны в тексте лабораторных работ.

Данные вводить в лицевую панель программы, рисунок 4, поочередно открывая все шесть страниц на фронтальной панели симуляционной программы. После этого на графиках появятся нормированные ДН в плоскости E и H в декартовой и полярной системах координат для САР, составленные из всех шести типов излучателей.

Определить для каждой полученной нормированной ДН, ширину ее основного лепестка - угловой сектор $2\theta_0(2\varphi_0)$ и $2\theta_{0,5}(\varphi_{0,5})$. Определить также уровень первого бокового лепестка в относительных единицах и в децибелах. При необходимости, воспользоваться разъяснениями из раздела 9.2 «Определение углового сектора $2\theta_{0,5}(2\varphi_{0,5})$ и уровня первого бокового лепестка диаграммы направленности, стр. 26» технического описания лабораторного стенда. Результаты внести в таблицу 2.

Таблица 2

Тип излучателя САР	в плоскости E		в плоскости H		Кол-во основных лепестков ДН	Уровень первого бокового лепестка, отн.ед./дБ
	$2\theta_0$	$2\theta_{0,5}$	$2\varphi_0$	$2\varphi_{0,5}$		
Вибраторные излучатели						
Щелевые излучатели						
Директорные излучатели						
Спиральные антенны						
Рупорные антенны						
Зеркальные антенны						

Отдельно рассчитать ориентировочную ширину ДН САР (с вибраторными излучателями) по нулям и по половинной мощности в плоскости E по формулам:

$$2\theta_0 = 115 \frac{\lambda}{n_1 d_1}, \quad 2\theta_{0,5} = 51 \frac{\lambda}{n_1 d_1};$$

и в плоскости H по формулам:

$$2\varphi_0 = 115 \frac{\lambda}{n_2 d_2}, \quad 2\varphi_{0,5} = 51 \frac{\lambda}{n_2 d_2}.$$

Сравнить полученные результаты со значениями, полученными графически при компьютерном расчете для САР из вибраторных антенн.

Запомнить результаты всех расчетов и рисунки расчетных ДН. Выйти из симуляционной программы.

2. Измерение ДН в плоскости E

1. Установить штыревую антенну (10) (см. 4.1 *Оборудование стенда*,

стр. 6) на треногу для вспомогательной антенны (см. 6.2 *Сборка стенда*, стр. 12).

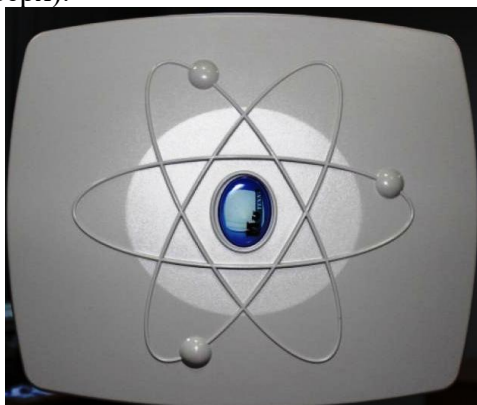
2. Подсоединить ее к выходу RF OUT генератора N1 PX1e-5673E (см. 6.3 *Сборка контрольно-измерительного оборудования*, стр.13), использовать коаксиальный кабель

(14) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6). Вспомогательная антенна должна быть в вертикальном положении.



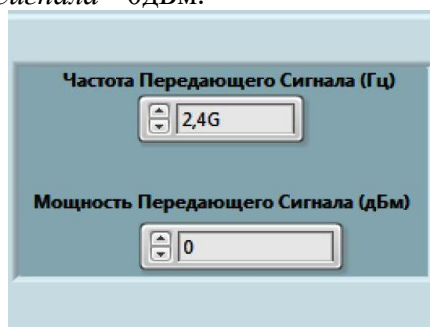
3. Установить САР (5) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6) на опорно-поворотное устройство для испытуемой антенны (см. 6.2 Сборка стенда, стр. 12).

4. Подсоединить ее к входу RF IN анализатора N1 PX1e-5663E. Использовать коаксиальный кабель (15), (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6). Испытуемая антенна должна быть в вертикальном положении (стрелка V на оборотной стороне корпуса антенны направлена вверх).



5. Разнести испытуемую и вспомогательную антенны на расстояние $r = 1,5\text{м}$, причем ориентировать антенны так, чтобы они были направлены друг на друга соосно. Важно также, чтобы точки подключения к фидерам испытуемой и вспомогательной антенн находились на одинаковой высоте.

6. На лицевой панели в поле *Частота Передающего Сигнала* ввести $f = 2,4\text{ГГц}$, а в поле *Мощность Передающего Сигнала* - 0дБм.

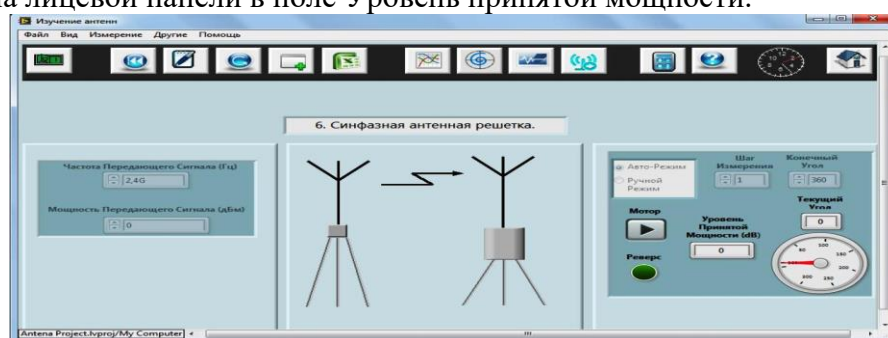


В поле *Шаг измерения* ввести необходимое значение (по умолчанию 1), соответствующее шагу измерения, в градусах, а в поле *Конечный Угол* ввести значение (по умолчанию 360) соответствующее конечному положению антенны. При достижении

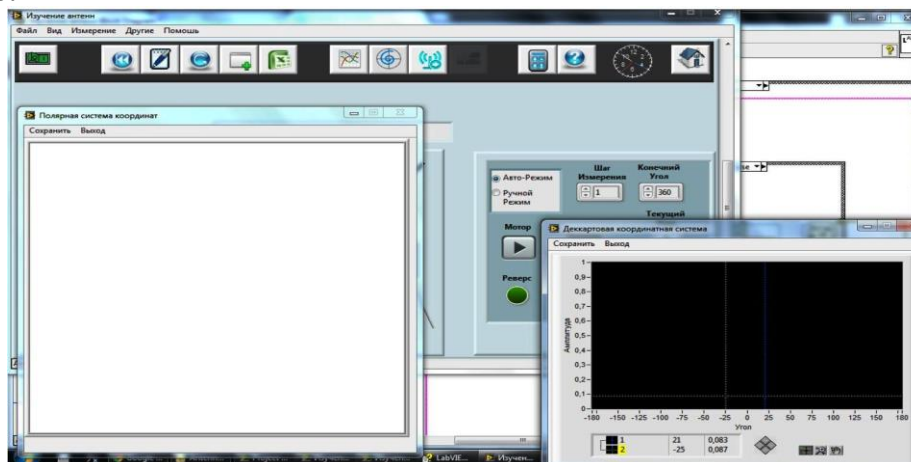
антенной конечного угла автоматически включается реверс, и антенна возвращается в начальное положение.



8. Запустить генератор и анализатор кнопкой Старт на лицевой панели. Генерируемый сигнал, через выход RF OUT генератора N1 PX1e-5673E, будет излучаться вспомогательной антенной, а испытуемая антенна будет принимать этот сигнал. Через вход RF IN анализатора N1 PX1e-5663E измеряется уровень мощности, и значение в децибелах отображается на лицевой панели в поле Уровень принятой мощности.



9. На панели управления открыть поля декартовой и полярной системы координат, нажав кнопки   удобно разместить эти окна на экране так, чтобы не заслонять кнопку **Мотор**.



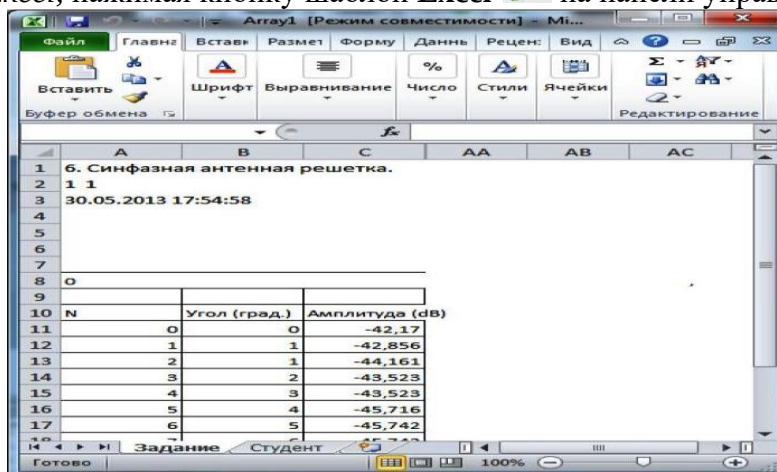
10. Проверить расположение двух антенн по пункту 5. Запустить движение опорно-поворотного устройства нажатием кнопки **Мотор** на лицевой панели. Антенна начнет вращаться от 0° до значения, определяемого параметром *Конечный угол* и соответственно зафиксированному в окне на лицевой панели шагу измерения (Шаг измерения), измеряются уровень принятой мощности в децибелах, нормированные результаты измерения графически записываются параллельно в двух окнах систем координат и в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel. Достигнув значения, определяемого параметром *Конечный угол*, ОПУ начинает реверсное вращение, в процессе которого снова измеряются значения мощности поля излучения. Кривые, полученные во время реверсного вращение, записываются в тех же графических окнах, что и при первом витке вращение испытуемой антенны (в декартовой системе координат - другим цветом).

Для обеспечения достоверности результатов, измерения пункт 9 повторить еще раз. В начале каждого следующего измерения необходимо нажимать кнопку **Новый сеанс**  на панели управления.

11. Сохранить измеренные графики четырех нормированных ДН в регистрационной папке студента.

Экспериментальные результаты автоматически перенесутся в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel, в виде двух таблиц, чередующих друг друга.

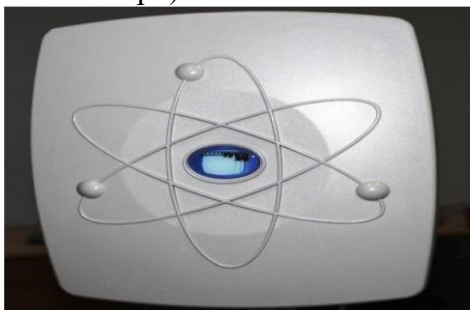
12. Открыть Excel, нажимая кнопку шаблон Excel  на панели управления.



13. Обязательно сохраните полученные табличные данные измерений в плоскости *E*.

3. Измерение ДН в плоскости Н

1. Подготовиться к измерениям ДН испытуемой САР в плоскости *H*, повернув испытуемую антенну на 90° по отношению к вертикали (стрелка *H* на оборотной стороне корпуса САР направлена вверх).



2. Повторить вышеуказанные п. п. 5-11.

3. Обязательно сохраните полученные табличные данные измерений в плоскости *H*.

Обработка результатов измерений

1. Просчитать усредненные результаты четырех измерений ДН в обеих плоскостях САР, зафиксированных в шаблонном файле формата Excel. Записать полученные значения в том же файле, заполнив таблицы Табл. 3 и Табл. 4. Рекомендуется внимательно проследить при заполнении таблиц за значениями функций и аргумента θ (при реверсном повороте углы изменяются в убывающем порядке).

Таблица 3

θ	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	σ
						$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	

Таблица 4

φ	$f_{H1}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H1}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$	σ
						$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	

2. Определить погрешность результатов измерений в обеих плоскостях по формуле

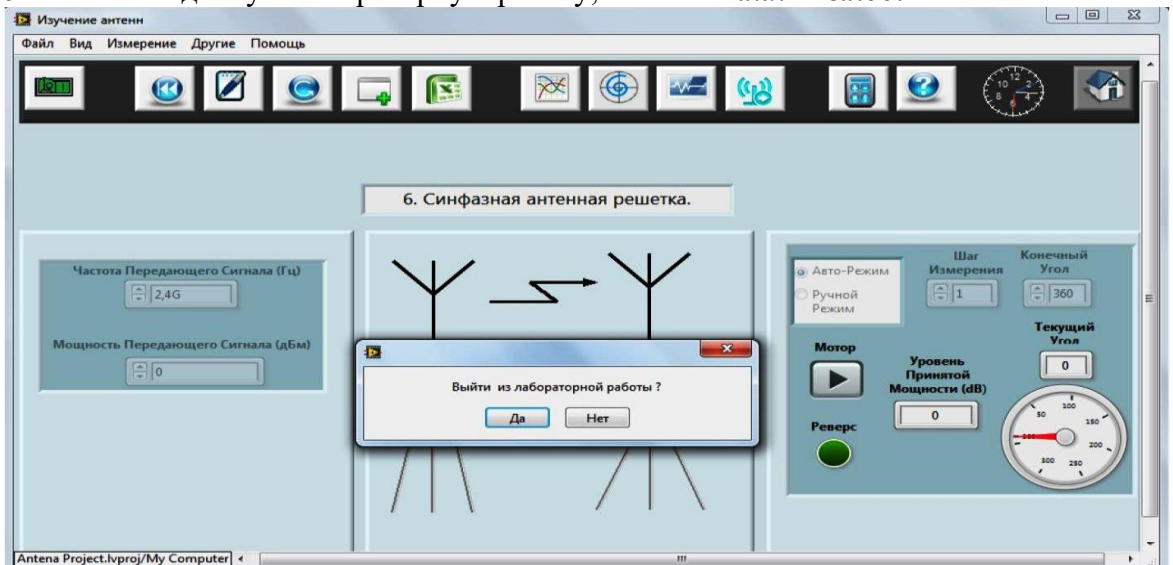
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cp})^2}. \text{ Оценить точность измерений.}$$

3. Построить ДН САР в обеих плоскостях по усредненным значениям функций (см. Табл. 3 и Табл. 4).

4. Сравнить усредненные результаты измерений в плоскостях E и H (ширины ДН) с техническими данными, указанными фирмой-изготовителем в паспорте испытуемой антенны.

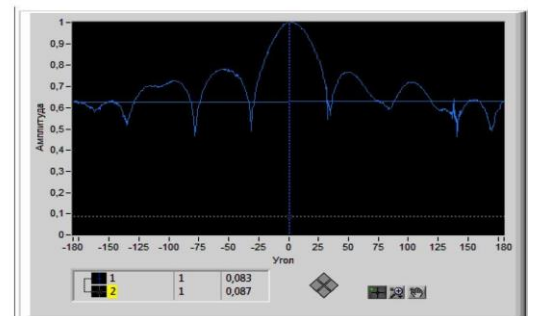
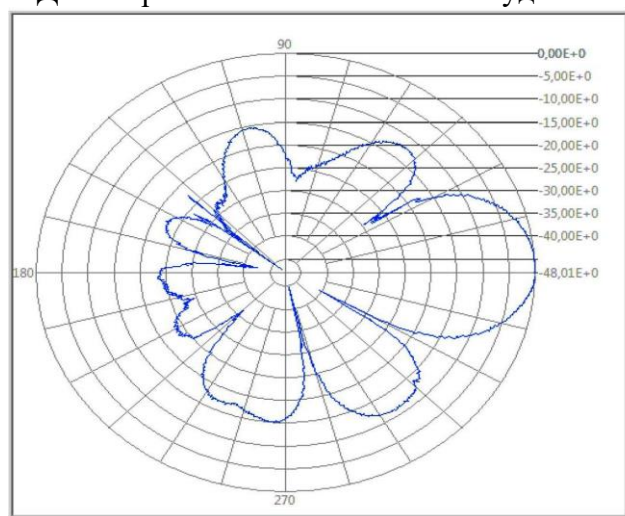
5. Нажать кнопку **Стоп**.

6. Закончить данную лабораторную работу, нажать **Файл>Выход**.

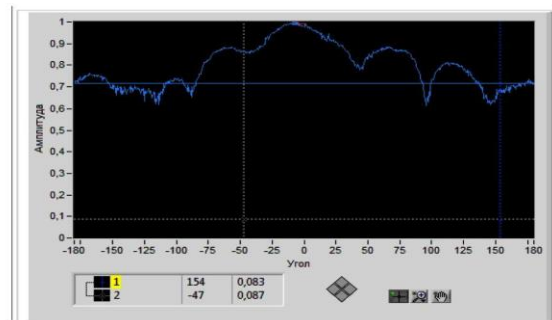
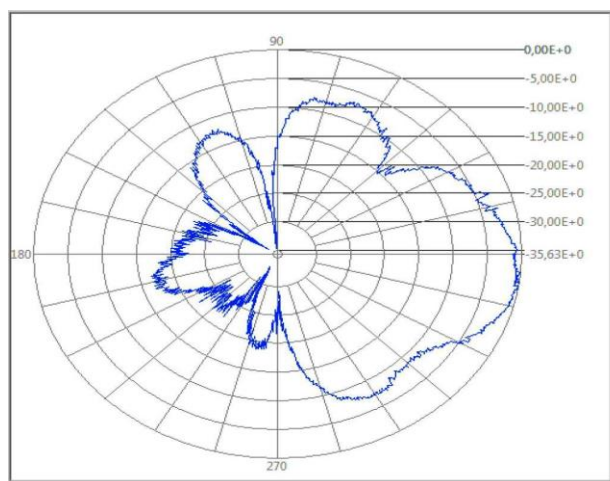


7. Выйти из главного меню программы. После выполнения опыта:

1. ДН в горизонтальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



2. ДН в вертикальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



Оборудование и материалы

1. Учебный класс с лабораторным стендом по исследованию антенн.

Указания по технике безопасности

1. К проведению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.

2. Включение лабораторных установок (компьютеров) осуществляется только с разрешения преподавателя.

3. При проведении лабораторной работы не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.

4. Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов лабораторных установок (компьютеров).

5. При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.

6. В аудитории запрещается пользоваться источниками открытого огня. При возгорании оборудования его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.

7. Стенд необходимо эксплуатировать в помещении, не подверженном воздействию факторов, повышающих опасность поражения электрическим током (повышенная влажность, отсутствие шины заземления, и т. д.).

8. Запрещается включение установки в сеть в атмосфере, содержащей горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости.

9. Корпус лабораторной установки должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Соблюдайте общие правила техники безопасности применимые к приборам, имеющим питание от сети переменного тока.

10. При возникновении непредвиденных лабораторной работой неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу с установкой, выключив ее из сети и обратиться к обслуживающему персоналу.

11. Для исключения возможности СВЧ облучения запрещается стоять в непосредственной близости от раскрыва передающей антенны.

12. Лабораторный стенд имеет низковольтное питание. Питание подается от модулей N1 PXI.

13. Запрещается подключать к рабочему стенду другие блоки питания или производить какие-либо внешние подключения.

14. По окончании работы с лабораторным оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание по выполнению лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал по учебному вопросу 1.
2. Выполнить расчетное задание учебного вопроса 1.
3. Провести измерение ДН в плоскости Е.
4. Провести измерение ДН в плоскости Н.
5. Ответить на контрольные вопросы.
6. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета по лабораторной работе:

1. Титульный лист (образец представлен в Приложении 1).
2. Цель занятия.
3. Основные теоретические положения, изучаемого материала. Выводы по ним, подчеркивающих суть, изучаемого вопроса.
4. Перечень практических заданий. По каждому заданию представляются расчеты, обоснования (результаты исследований) и выводы по ним.

Отчет должен содержать:

Расчетные данные (Табл. 2).

Результаты экспериментальных исследований и их обработку (Табл. 3 и Табл. 4) и графики ДН.

Все результаты должны быть оформлены в виде таблиц и графиков.

Примечание: Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть лабораторной работы. Основанием для снижения оценки являются:

- наличие ошибок, не искажающих сути, рассматриваемого вопроса;
- небрежный отчет.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- неправильные расчеты (ошибки допущенные при проведении исследований);
- не обоснованные (ошибочные) выводы;
- не полностью выполненная работа.

Контрольные вопросы

1. Что такое антенная решетка?
2. Что такое множитель решетки?
3. Принцип работы САР.
4. Какие параметры АР влияют на положение главного луча ДН?
5. Какие параметры САР влияют на ширину главного луча ДН?

Список рекомендованной литературы:

1. Велигоша А.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».
2. Велигоша А.В. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».
3. Техническое описание лабораторного стенда по исследованию антенн.

Лабораторная работа 6.

Исследование антенны волновой канал

Цель лабораторной работы:

1. Ознакомление с теоретическими основами и принципом работы антенны волновой канал.
2. Формирование умений по расчету и построению диаграмм направленности (ДН) и определению основных параметров направленного действия директорных антенн с использованием специального программного обеспечения.
3. Формирование навыка измерения ДН директорных антенн в результате пошагового изменения числа вибраторов, их размера и условий согласования с фидером, изменения расстояния между вибраторами.

Учебные вопросы:

1. Устройство и принцип работы директорной антенны.
2. Измерение ДН в плоскости Е.
3. Измерение ДН в плоскости Н.

1. Устройство и принцип работы директорной антенны

Антеннами бегущей волны (АБВ) называют системы, в которых распределение возбуждающего поля или тока описывается законом бегущей волны. Такие излучающие системы позволяют реализовать режим осевого излучения. При этом, фазовая скорость возбуждающего поля или тока несколько меньше скорости света (коэффициент замедления)

$$\xi = \frac{c}{V_\phi} = \frac{\psi}{kd} > 1,$$

где c - скорость света; V_ϕ - фазовая скорость; ψ - коэффициент направленного действия; k - волновое число; d - расстояние между серединами двух соседних вибраторов.

Поэтому, нередко АБВ выполняются на базе замедляющих структур, в которых распространяется поверхностная волна.

Поверхностные волны характеризуются экспоненциальным убыванием поля в радиальном направлении, связанной с этим концентрацией электромагнитной энергии вблизи оси направляющей системы (рисунок 1).

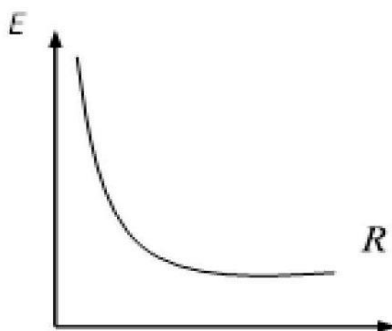


Рисунок 1. Экспоненциальное убывание поля в радиальном направлении

Коэффициент направленного действия у антенн бегущей волны осевого излучения зависит от сдвига фаз между полями, создаваемыми крайними элементами антенны в

точке, лежащей на продолжении оси антенны
$$\left[\psi_n = kL \left(\frac{c}{V_\phi} - 1 \right) \right].$$

где $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число; L - длина антенны.

Анализ показывает, что при $\frac{c}{V_\phi} > 1$ КНД АБВ максимален $\psi_n \approx 180^\circ$, то есть

$$\psi_{n_{opt}} = kL \left(\frac{c}{V_\phi} - 1 \right) \approx \pi \quad (1).$$

Из (1) можно определить оптимальную величину $\left(\frac{c}{V_\phi} \right)_{opt}$ при заданной длине L или $\left(\frac{L}{\lambda} \right)_{opt}$ при заданной фазовой скорости (V_ϕ) . Очевидно, что

$$\left(\frac{c}{V} \right)_{opt} = 1 + \frac{\lambda}{2L}; \left(\frac{L}{\lambda} \right)_{opt} = \frac{1}{2(\xi - 1)}. \quad (2)$$

Достижимая величина КНД в осевом направлении находится в пределах

$$D = (4...7, 2) \frac{L}{\lambda} \quad (3)$$

При этом ширина ДН по половинной мощности равна:

$$2\theta_{0,5} = (107...61)^\circ \sqrt{\frac{\lambda}{L}} \quad (4)$$

Уровень боковых лепестков по полю составляет 0,2...0,35 от главного максимума.

В формулах (3) и (4) левые цифры относятся к возбуждению с фазовой скоростью света в окружающей среде, а правые цифры - к возбуждению с оптимально замедленной фазовой скоростью.

Возбуждение АБВ, обычно, осуществляется с одного конца, а необходимый режим поддержания бегущей волны обеспечивается надлежащим выбором замедляющей системы и очень редко - применением специальных согласующих нагрузок на противоположном конце. В АБВ возбуждение само распространяется вдоль излучающей системы, от одного конца к другому, и поэтому их часто называют антеннами последовательного питания.

АБВ являются узкополосными, так как с изменением рабочей частоты может произойти резкое изменение V_ϕ в замедляющей системе, кроме того, могут меняться эффективность действия и качество согласования возбудителя. АБВ имеют малые размеры поперечного сечения излучающей системы. Это дает возможность строить не выступающие антенны бегущей волны на гладкой поверхности корпусов летательных объектов, а также, создавать очень легкие конструкции полноповоротных антенн.

К АБВ относятся: директорные, диэлектрические, спиральные антенны и другие различные структуры.

Директорные антенны, иногда называемые антеннами типа волновой канал, имеют простую конструкцию. Антенна представляет собой ряд параллельно расположенных вибраторов, длина каждого из которых приблизительно равна половине длины волны. Вибраторы находятся на расстоянии приблизительно $\lambda/4$ друг от друга. Один из вибраторов подключен к источнику питания и называется активным. Остальные вибраторы возбуждаются электромагнитным полем активного вибратора и называются пассивными.

При правильной настройке антенны максимум излучения направлен вдоль оси.

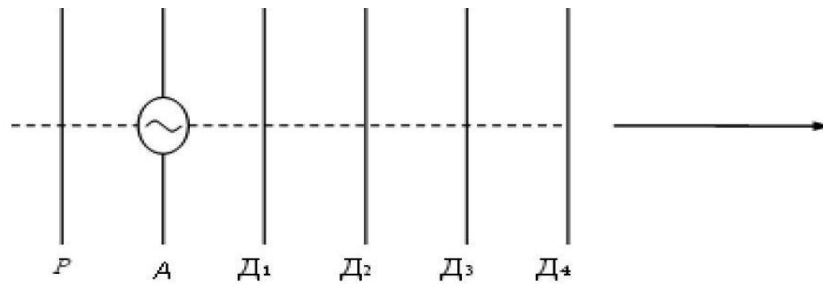


Рисунок 2. Директорная антенна

На рисунке 2 представлена директорная антенна, состоящая из питающего активного вибратора (А), пассивного рефлектора (Р) и ряда пассивных директоров (Д1, Д2, Д3, Д4). Все пассивные директоры настроены так, чтобы максимум излучения антенны был направлен вдоль оси антенны - в сторону директоров. Излучение в обратном направлении получается минимальным в случае наличия одного рефлектора, и нет необходимости использовать несколько рефлекторов, поскольку их возбуждение будет слабым и не внесет изменений в диаграмму направленности антенны.

Как известно из теории, ток в рефлекторе должен опережать по фазе ток в активном вибраторе, в зависимости от угла и расстояния между вибраторами. По этой причине ток директора должен отставать на соответствующий угол от относительного тока питающего вибратора по фазе; ток директора Д2 должен отставать от тока директора Д1 по фазе и так далее. В этом случае, излучения всех вибраторов прибавляются в направлении оси антенны (рисунок 2).

Как можно понять из вышеуказанного, для системы, которая состоит из двух вибраторов (активного и пассивного), необходимо фазовое смещение тока в рефлекторе благодаря индуктивным свойствам его сопротивления, что становится возможным из-за соответствующего удлинения рефлектора. По той же причине сопротивление пассивных директоров должно иметь емкостной характер, для чего длина директоров меньше, чем резонансная. Для правильной настройки необходимо знать зависимость изменения длины от диаметра вибратора. Чем толще вибратор, тем меньше его волновое сопротивление и тем больше потребуется менять длину вибратора для нужной настройки. Определение параметров многовибраторной директорной антенны теоретическим путем - очень сложная задача. Так, для вычисления тока в вибраторах антенны нужно решить систему, состоящую из N уравнений, где N - число вибраторов. Кроме того, длина вибратора, необходимая для правильной настройки, значительно отличается от половины длины волны. Поэтому, вычисление взаимного сопротивления таких вибраторов тоже сложная задача. По этой причине вычисление и обработка параметров многовибраторных директорных антенн, в основном, производится экспериментальным способом.

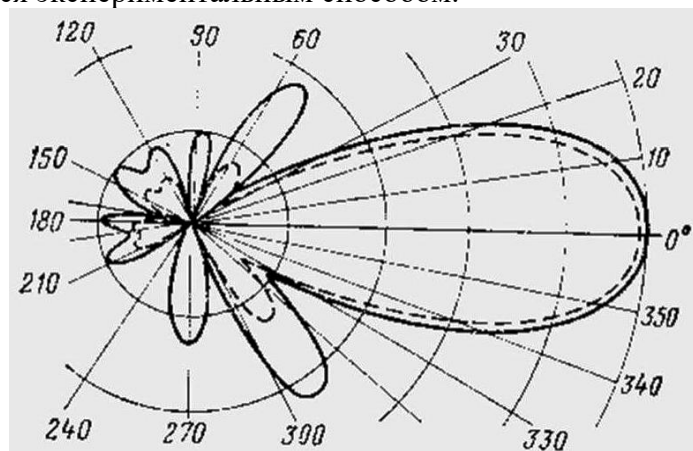


Рисунок 3. Экспериментальная диаграмма направленности антенны, состоящей из питающего вибратора, рефлектора и 6 директоров в вертикальной плоскости /- / и плоскости, в которой лежат вибраторы /- - /

Диаграмма направленности, представленная на рисунке 3, получена экспериментальным путем. Расстояние от активного вибратора до рефлектора равно $0,17\lambda$, расстояние от вибратора до первого директора и между директорами равно $0,25\lambda$.

Боковые лепестки этой ДН достаточно велики. Уровень боковых лепестков можно несколько снизить в результате настройки, за счет расширения главного лепестка.

На рисунке 4 (а) приведена зависимость ширины главного луча ДН от относительной длины антенны L/λ . Сплошная линия соответствует плоскости, перпендикулярной оси вибраторов, а пунктирная - той плоскости, в которой находятся вибраторы.

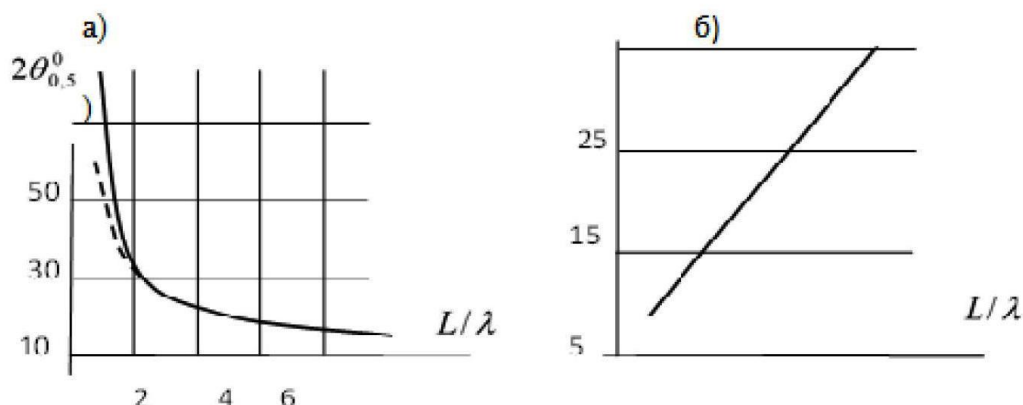


Рисунок 4. а) Зависимость ширины главного луча ДН директорной антенны от ее относительной длины; б) графическое определение КНД

Как видно из рисунка, с увеличением длины антенны ширина луча ДН уменьшается очень медленно. Объясняется это тем, что чем длиннее антенна, тем сложнее настроить ее директоры, амплитуда тока на вибраторах настолько мала, особенно на пассивных, которые больше отдалены от активного вибратора. Одна и та же длина антенны может быть получена при различном числе вибраторов. С точки зрения упрощения конструкции целесообразно иметь небольшое число вибраторов. Исходя из опыта известно, что если общая длина антенны близка к длине волны или чуть больше ее, то в этом случае можно увеличивать расстояние между директорами, доводя его до максимального, приблизительно $0,34\lambda$.

На рисунке 4, б показан график, по которому можно приближенно определить КНД антенны при заданной длине L/λ . Этот график можно аппроксимировать следующим выражением:

$$D \approx 7 + 4L/\lambda$$

Кривые на рисунке 4 построены на основе теоретических расчетов и данных экспериментов.

Под воздействием пассивных вибраторов уменьшается входное сопротивление директорной антенны. Как показано, один пассивный вибратор уменьшает сопротивление питающего вибратора до величины 50 Ом. Использование нескольких директоров уменьшает входное сопротивление до 20-30 Ом, из-за чего усложняются вопросы согласования с фидером. По этой причине в качестве питающего вибратора часто используют шлейф Пистолькорса - вибратор, входное сопротивление которого приблизительно в 4 раза больше, по сравнению с сопротивлением обыкновенного вибратора.

Приведем некоторые данные о длине вибратора. Укорачивая активный вибратор, достигаем резонанса. Его длина меньше $0,5\lambda$ на несколько процентов. Длина рефлектора приблизительно равна $0,5\lambda$ или на несколько процентов больше. Длина каждого директора находится в пределах $(0,4-0,48)\lambda$. Определено, что при увеличении числа директоров,

уменьшается их оптимальная длина. Указанные выше размеры зависят от выбора расстояния между вибраторами и уточняются в результате экспериментов.

Для настройки директорной антенны напротив нее, на расстоянии не меньше нескольких длин волн, устанавливают индикатор напряженности поля. При выборе расстояния между вибраторами антенны длина каждого вибратора настраивается по максимуму напряжения поля вдоль оси антенны. При выборе оптимальной длины каждого следующего вибратора может быть нарушена предыдущая настройка остальных вибраторов, общую настройку надо проводить методом последовательной аппроксимации. По завершении настройки, в целях проверки, необходимо измерить ДН.

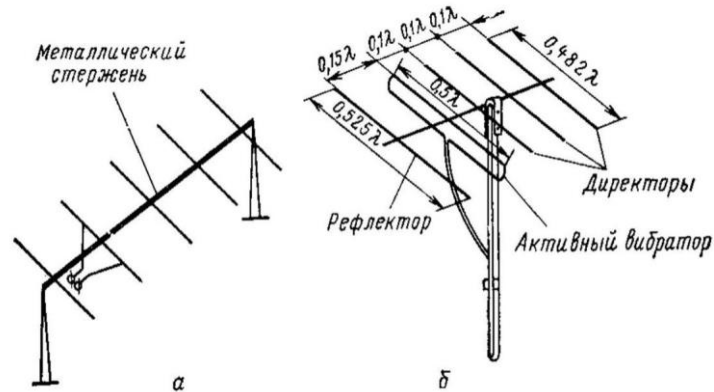


Рисунок 5. а) Директорная антенна, возбужденная вибратором параллельного питания, б) короткая директорная антенна, закрепленная на траверсе, возбужденная шлейф-вибратором

На рисунке 5 показаны варианты конструктивных решений директорных антенн. Все пассивные вибраторы закрепляются на одном общем металлическом стержне вдоль оси антенны. Это допустимо, поскольку в центральной части вибраторов имеется узел зарядов (нулевой потенциал). Питающий элемент в виде шлейф-вибратора Пистолькорса (б) или вибратора с параллельным питанием (а) также крепится на стержень. Такое крепление упрощает конструкцию антенны. Исключение составляет тот случай, когда в качестве питающего элемента используют обыкновенный полуволновый вибратор, который закрепляют на стержне при помощи изолятора.

Основное преимущество директорной антенны состоит в том, что ее конструкция сравнительно проста. Одним из недостатков директорной антенны является ее узкополосность и необходимость четкой настройки (она сохраняет параметры лишь в узкой полосе частот, измеряемой единицами процентов девиации). Директорная антенна непригодна для формирования узких ДН, чьи главные лучи уже $15-20^\circ$. Для получения диаграмм с малым $2\theta_{0,5}$ в некоторых случаях используют синфазные антенные решетки из ряда идентичных директорных антенн.

Питание директорной антенны осуществляется путем присоединения коаксиального кабеля к активному вибратору. Присоединение коаксиального кабеля к входу антенны осуществляется при помощи специальных симметрирующих устройств. Они бывают разных типов: U - колено, симметрирующий цилиндр или стакан, схема с компенсацией тока на наружной оболочке кабеля, схема целевого возбуждения и другие. Рассмотрим работу U - колена, которое используется в большинстве случаев.

U - колено представляет собой отрезок коаксиального кабеля, имеющего форму буквы U (рисунок 6). Коаксиальный кабель, идущий от генератора (основной кабель), присоединяется в точке С к отрезку U - колена. Расстояние bc отличается от расстояния cda на $\frac{\lambda}{2}$ (λ - длина волны в кабеле). В частности, точка С может совпадать с точкой b. В этом

случае длина U - колена равна $\frac{\lambda}{2}$. Так как в длинной линии значение фазы тока или напряжения меняется на обратное через каждую половину длины волны, токи в точках a и b оказываются в противофазе. Между этими точками действует разность потенциалов $U_{ab} = U_a - U_b$, где $U_b = -U_a$ и плечи вибратора возбуждаются токами, одинаковыми по амплитуде и по фазе. Для предотвращения ответвления токов, текущих по внутренней поверхности экрана, внешние оболочки вблизи концов U - колена соединяются накоротко.

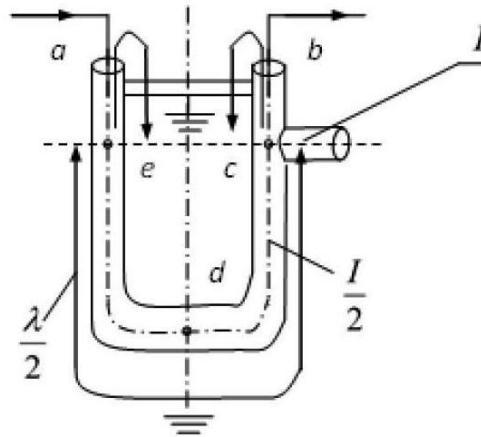


Рисунок 6. Работа U- колена

В случае полуволнового симметричного вибратора ($R_{ex} = 70$ Ом), для получения в основном кабеле режима бегущей волны, точку присоединения этого кабеля C надо расположить на расстоянии $\frac{\lambda}{4}$, от одного из концов U - колена. Это объясняется следующим: линия длиной $\frac{\lambda}{4}$ изменяет сопротивление нагрузки в соответствии с формулой

$$Z_{ex} = \frac{W^2}{Z_H},$$

где W^2 - волновое сопротивление; Z_H - сопротивление нагрузки.

Так как в данном случае $Z_H = R_{a-0} = R_{b-0} = 35$ Ом, W выбирается равным 70 Ом,

$$R_e = R_c = \frac{70^2}{35} = 140 \text{ Ом.}$$

Учитывая, что сопротивления в точке C складываются параллельно, основной кабель оказывается нагруженным на сопротивление, равное приблизительно 70 Ом.

Расчетное задание

Рассчитать вручную и построить в декартовой системе координат нормированную ДН директорной антенны по формуле, если коэффициент замедления $\xi = 1, 2$:

$$F(\theta) = \frac{\sin \left[\frac{kL}{2} (\xi - \cos \theta) \right]}{\frac{kL}{2} (\xi - \cos \theta)}.$$

Данные для расчета берутся из таблицы 1 в соответствии с вариантом, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале.

Таблица 1

Вариант		1	2	3	4	5	6	7	8
Длина волны λ , м	λ	0,3	1	1,3	1,9	2,1	2,7	5,1	2
Число директоров	n	5	3	2	4	2	1	1	3

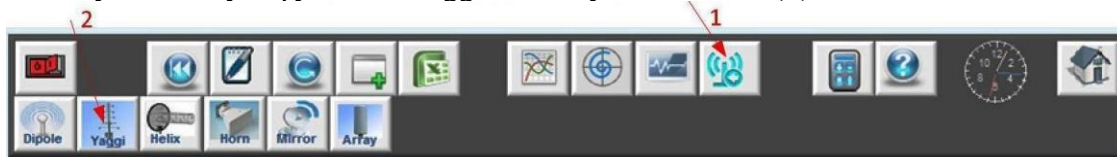
9		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
λ	3,5	1,4	0,7	1,5	0,2	1,7	0,5	0,9	0,65	2,9	1,6
n	3	7	8	4	7	2	6	5	4	2	2

ДН рассчитывается следующим образом. Определяется угол $2\theta_{0,5}$ (или $2\theta_0$) по формуле (4). Затем рассчитываются точки ДН, начиная с $\theta = 0^\circ$, с шагом $\frac{2\theta_{0,5}}{4}$ до конца первого бокового лепестка. Строится график $f(\theta)$, определяются значения $2\theta_0$, $2\theta_{0,5}$, (уточненные по построенному графику) и уровень первого бокового лепестка в децибелах. Определить оптимальную длину директорной антенны при известном коэффициенте замедления $\xi = 1,2$ по формуле (2). Занести полученные результаты в таблицу 2.

Таблица 2

Вариант номер	λ	n	$2\theta_{0,5}$, градус	$2\theta_0$, градус	Уровень первого бокового лепестка, отн.ед./дБ	$\left(\frac{L}{\lambda}\right)_{opt}$

Для упрощения расчетов, в лабораторном практикуме предлагается возможность компьютерного расчета. На панели управления щелкните по иконке (1), после чего запустите симуляционную функцию **Yaggi**, щелкнув по иконке (2).



Откроется лицевая панель симуляционной функции **Yaggi**.

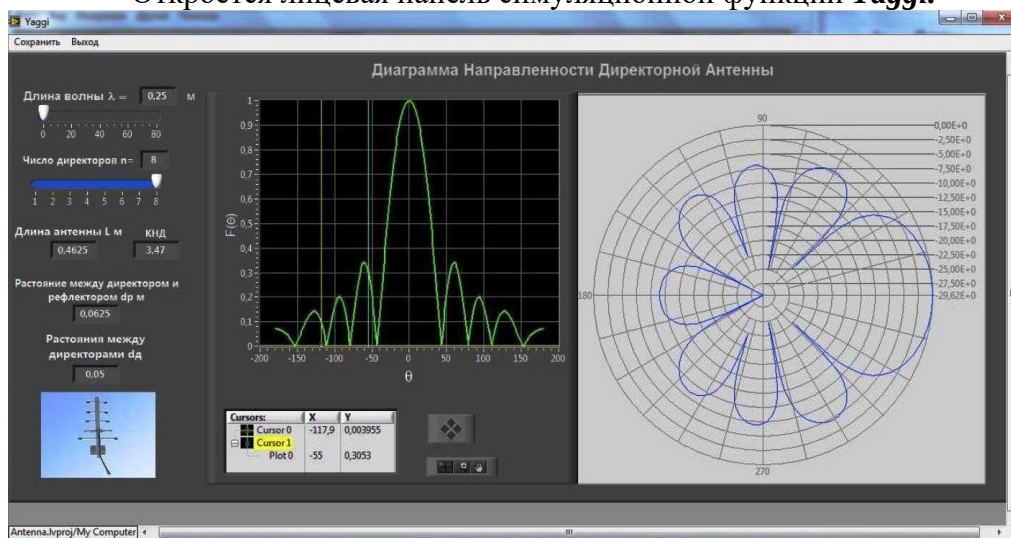


Рисунок 7. Лицевая панель программы

Данные для расчета берутся из таблицы 1 в соответствии с вариантом.

Данные вводятся в лицевую панель программы, рисунок 7. После этого на графиках появятся нормированные ДН в плоскости Е в декартовой и полярной системах координат.

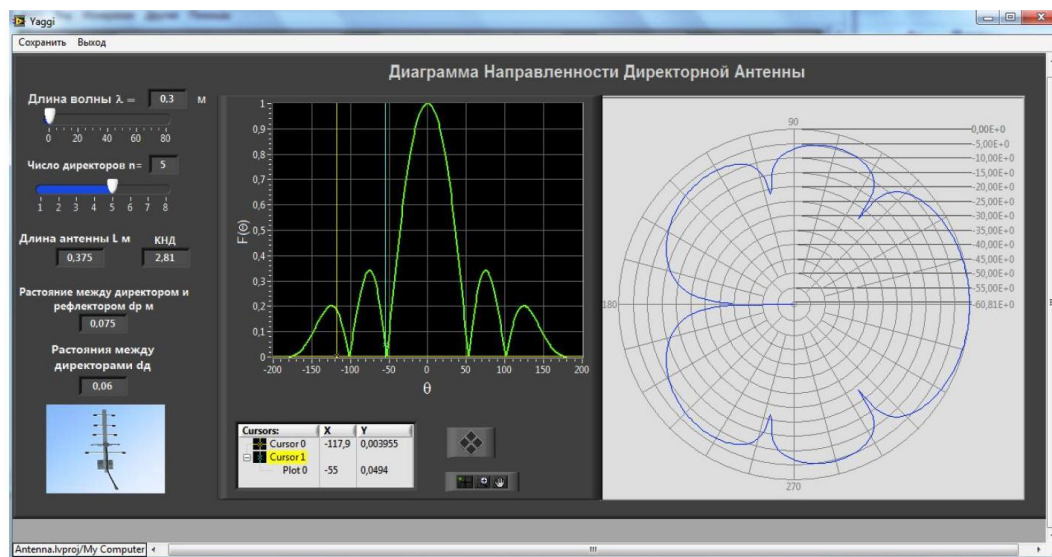


Рисунок 8. Нормированные ДН

Для полученной нормированной ДН определить ширину основного лепестка - угловой сектор $2\theta_{0,5}$. Определить также уровень первого бокового лепестка в относительных единицах и в децибелах. При необходимости, воспользоваться разъяснениями, приведенными в лабораторной работе 1 (стр. 22) или разделе 9.2 технического описания лабораторной установки «Определение углового сектора $2\theta_{0,5}$ ($2\varphi_{0,5}$) и уровня первого бокового лепестка диаграммы направленности». Результаты внести в таблицу 3.

Таблица 3

Вариант номер	λ	n	$2\theta_{0,5}$, градус	Уровень первого бокового лепестка, отн.ед./дБ

Занести в таблицу 4 результаты расчета нормированной ДН директорной антенны ($\lambda = 60\text{см}$, $n = 3$), которая используется в данном лабораторном практикуме в качестве испытуемой.

Таблица 4

Испытуемая антенна	λ	n	$2\theta_{0,5}$ градус	Уровень первого бокового лепестка, отн.ед./дБ
	60 см	3		

Запомнить результаты всех расчетов и рисунок ДН для варианта с данными, указанными в таблице 4. Выйти из симуляционной программы.

2. Измерение ДН в плоскости Е

1. Установить вибраторную антенну телескопической конструкции (12) (см. 4.1 Оборудование стенда, стр. 6), которая представляет собой два металлических стержня, ввинченные в соответствующую диэлектрическую втулку, обеспечивающую подключение питания вибратора на треногу для вспомогательной антенны (см. раздел 6.2 Сборка стенда, стр. 12). Размер плеч вибратора чуть больше минимально возможного, длина вибратора от края до края равна 31 см.

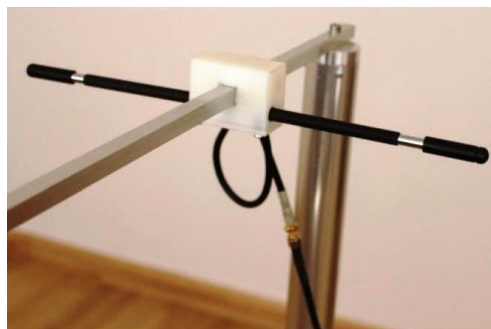
Примечание. При выдвигании телескопических плеч вибратора следует, по возможности, обеспечить одинаковую толщину стержня вдоль его длины.



2. Подсоединить ее к выходу RF OUT генератора N1 PX1e-5673E (см. раздел 6.3 Сборка контрольно-измерительного оборудования, стр.13). Использовать коаксиальный кабель (14) (см. 4.1. Оборудование стенда, стр. 6). К вибратору подключено U-колесо, подлине соответствующее рабочей частоте вибратора ($f = 500\text{МГц}$, $\lambda/2 = 30\text{см}$). Вспомогательная антенна должна быть в вертикальном положении.

3. Установить траверсу (7-3) (несущую штангу) директорной антенны (см. 4.1 Оборудование стенда, стр. 6) на опорно-поворотное устройство для испытуемой антенны.

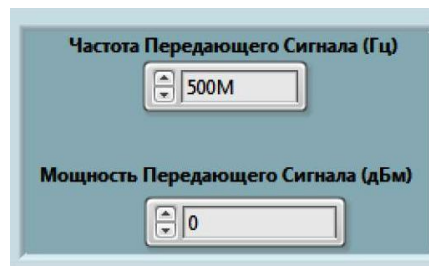
4. Закрепить на траверсе активный вибратор с согласующим устройством (7-2) телескопической конструкции (см. 4.1 Оборудование стенда, стр. 6). Вибратор закрепить вблизи стойки опорно-поворотного устройства со стороны, смотрящей на вспомогательную антенну. Испытуемая антенна должна быть в горизонтальном положении. Размер плеч вибратора - чуть больше минимально возможного - длина вибратора от края до края равна 31 см.



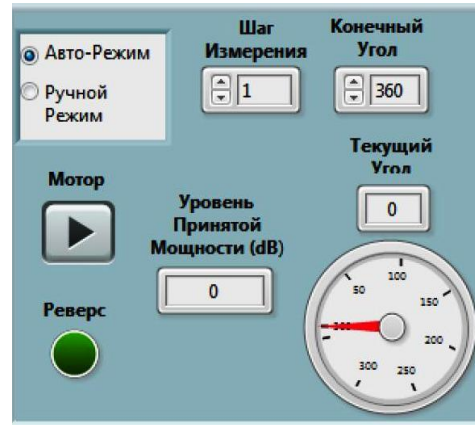
5. Подсоединить активный вибратор к анализатору напрямую. Использовать коаксиальный кабель (15) (см. 4.1 Оборудование стенда, стр. 6).

6. Разнести испытуемую и вспомогательную антенны на расстояние $r = 1,5\text{м}$, причем ориентировать антенны так, чтобы они были направлены друг на друга соосно. Важно также, чтобы точки подключения к фидерам испытуемой и вспомогательной антенн находились на одинаковой высоте.

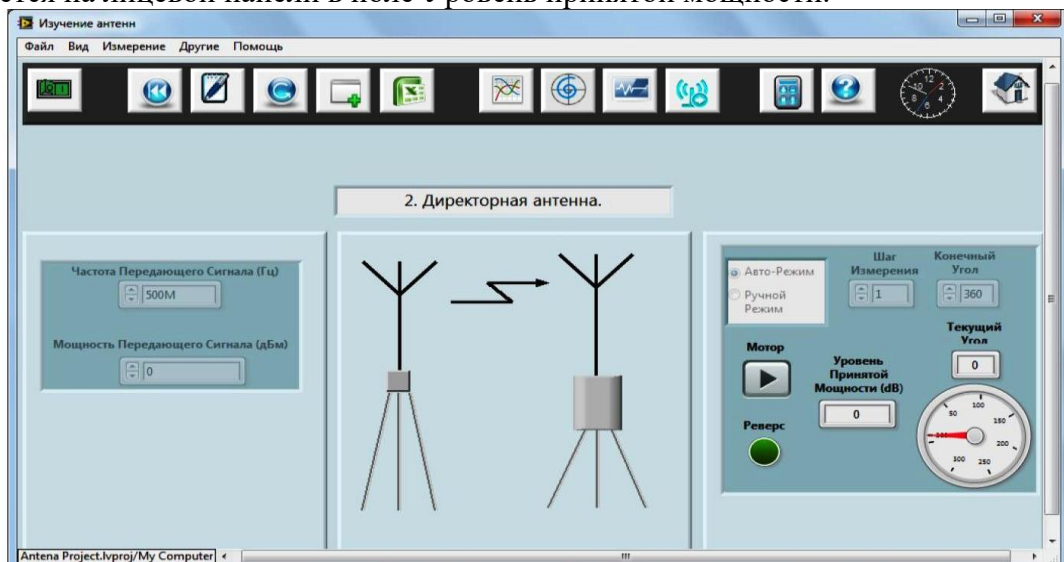
7. На лицевой панели в поле *Частота Передающего Сигнала* ввести $f = 500\text{ МГц}$ а в поле *Мощность Передающего Сигнала* - 0дБм.



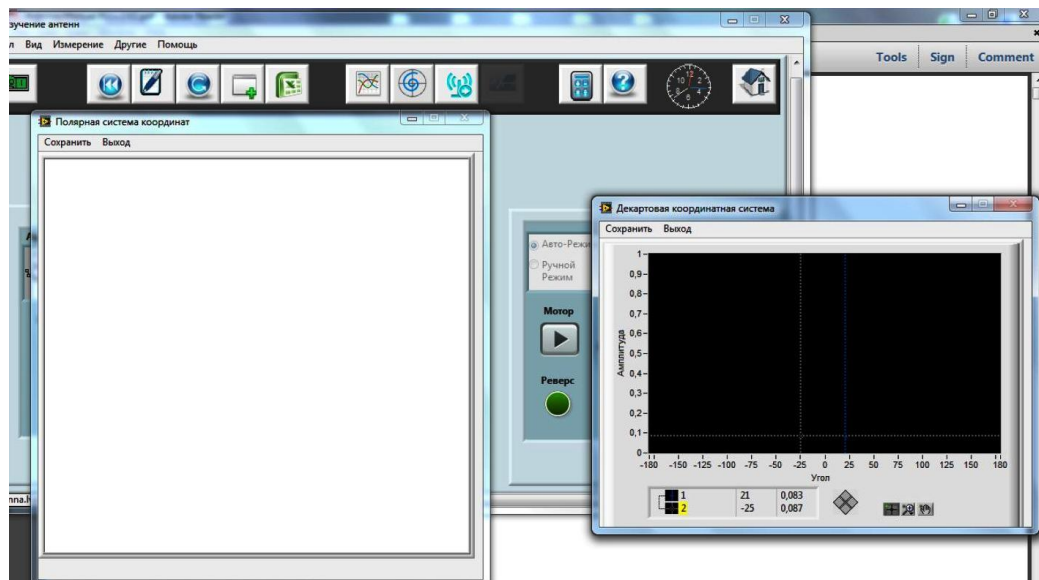
В поле *Шаг измерения* ввести необходимое значение (по умолчанию 1), соответствующее шагу измерения, в градусах, а в поле *Конечный Угол* ввести значение (по умолчанию 360) соответствующее конечному положению антенны. При достижении антенной конечного угла автоматически включается реверс, и антенна возвращается в начальное положение.



8. Запустить генератор и анализатор кнопкой Старт на лицевой панели. Генерируемый сигнал, через выход RF OUT генератора N1 PX1e-5673E, будет излучаться вспомогательной антенной, а испытуемая антенна будет принимать этот сигнал. Через вход RF IN анализатора N1 PX1e-5663E измеряется уровень мощности, и значение в децибелах отображается на лицевой панели в поле Уровень принятой мощности.



9. На панели управления открыть поля декартовой и полярной системы координат, нажав кнопки   удобно разместить эти окна на экране так, чтобы не заслонять кнопку *Мотор*.

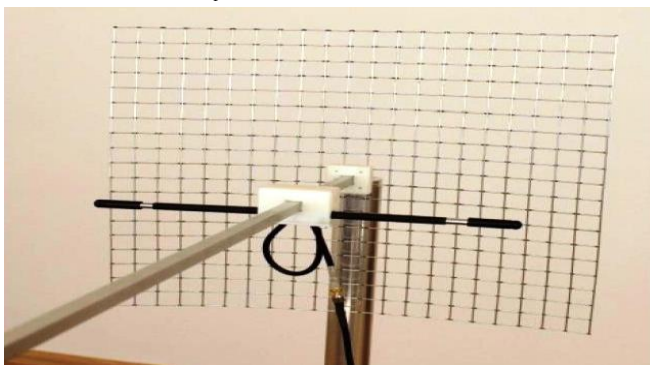


10. Проверить расположение двух антенн по пункту 6. Запустить движение опорно-поворотного устройства нажатием кнопки **Мотор** на лицевой панели. Антенна начнёт вращаться от 0° до значения, определяемого параметром *Конечный угол* и, соответственно зафиксированному в окне на лицевой панели шагу измерения (Шаг измерения), измеряется уровень принятой мощности в децибелах, нормированные результаты измерения графически записываются параллельно в двух окнах систем координат и в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel. Достигнув значения, определяемого параметром *Конечный угол*, ОПУ начинает реверсное вращение, в процессе которого снова измеряются значения мощности поля излучения. Кривые, полученные во время реверсного вращение, записываются в тех же графических окнах, что и при первом витке вращения испытуемой антенны (в декартовой системе координат - другим цветом).

11. Сохранить и закрыть графики двух измеренных нормированных ДН согласованной вибраторной антенны в плоскости E в регистрационной папке студента.

12. Насадить сетку (7-4) (см. 4.1. Оборудование стенда, стр. 6), которая будет служить рефлектором, на траверсу, сзади активного вибратора, на расстоянии d_p

$$(d_p = 0.17\lambda = 10.2 \text{ см})$$

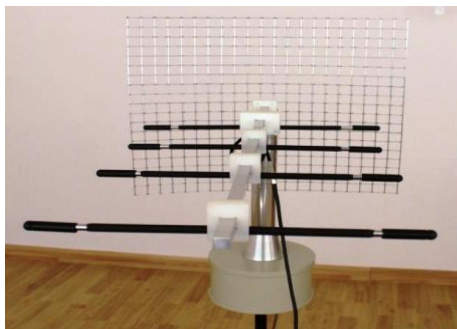


13. Надеть на траверсу со стороны, противоположной рефлектору на расстоянии d_d ($d_d = 0.25\lambda = 15 \text{ см.}$), пассивную вибраторную антенну (7-1) (см. 4.1 Оборудование стенда, стр. 6), которая будет служить первым директором. Путем изменения длины плеч директора, т.е. симметрично выдвинув телескопическую конструкцию, соответственно, по обеим сторонам так, чтобы длина директора от края до края составила 29 см.

14. Надеть на траверсу со стороны первого директора на расстоянии d_{d1} от него ($d_{d1} = 0.25\lambda = 15 \text{ см.}$) третью - пассивную вибраторную антенну (7-1) (см. 4.1 Оборудование стенда, стр. 6), которая будет служить вторым директором. Путем изменения длины плеч

директора, т.е. симметрично выдвинув телескопическую конструкцию, соответственно, по обеим сторонам так, чтобы длина директора от края до края составила 29 см.

15. Надеть на траверсу со стороны второго директора на расстоянии $d_{д2}$, от него ($d_{д2} = 0,25\lambda = 15$ см.) четвертую - пассивную вибраторную антенну (7-1) (см. 4.1 Оборудование стенда, стр. 6), которая будет служить третьим директором. Путем изменения длины плеч директора, т.е. симметрично выдвинув телескопическую конструкцию, соответственно, по обеим сторонам так, чтобы длина директора от края до края составила 29 см.

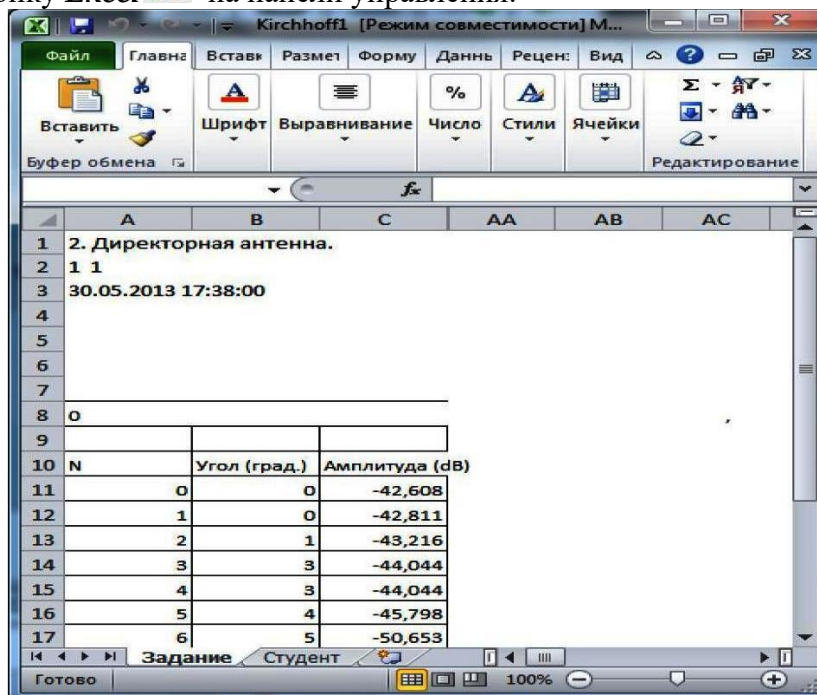


16. Измерить ДН директорной антенны в плоскости E , при наличии рефлектора и трех директоров, последовательно выполняя действия, указанные в п.п. 7-12.

Внимание: На лицевой панели, в поле *Шаг измерения* ввести 1, чтобы данные записывались в *Excel* файл.

17. Для обеспечения достоверности результатов, измерения ДН директорной антенны из пяти элементов повторить еще раз. В начале каждого следующего измерения необходимо нажимать кнопку **Новый сеанс**  на панели управления.

18. Экспериментальные результаты автоматически перенесутся в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel, в виде двух таблиц, чередующих друг друга. Открыть *Excel*, нажимая кнопку **Excel**  на панели управления.



N	Угол (град.)	Амплитуда (dB)
0	0	-42,608
1	0	-42,811
2	1	-43,216
3	3	-44,044
4	3	-44,044
5	4	-45,798
6	5	-50,653

19. Обязательно сохранить полученные табличные данные четырех измеренных ДН в плоскости E в регистрационной папке студента.

3. Измерение ДН в плоскости Н

1. Подготовиться к измерениям ДН испытуемой директорной антенны в плоскости Н, повернув вспомогательную вибраторную антенну на 90° , установив ее в горизонтальное положение.



2. Повторить пункты (3-18) в **Измерение ДН в плоскости E**, выше.

3. Обязательно сохранить полученные табличные данные измерений в плоскости Н.

Обработка результатов измерений

1. Просчитать усредненные результаты четырех измерений ДН директорной антенны из пяти элементов в обеих плоскостях, зафиксированных в шаблонном файле формата *Excel*. Записать полученные значения в том же файле, заполнив таблицу 5 и таблицу 6. Рекомендуется внимательно проследить при заполнении таблиц за значениями функций и аргумента θ (при реверсном повороте углы изменяются в убывающем порядке).

Таблица 5

θ	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E1}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	σ

Таблица 6

φ	$f_{H1}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H1}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	σ

2. Определить погрешность результатов измерений в обеих плоскостях по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cp})^2}. \text{ Оценить точность измерений.}$$

3. Построить ДН антенны в обеих плоскостях по усредненным значениям функций (см. табл. 5 и табл. 6).

4. Сравнить усредненный результат измерений пятиэлементной директорной антенны в плоскости E с расчетными результатами, записанными в табл. 4.

5. Нажать кнопку **Стоп**.

6. Закончить данную лабораторную работу, **Файл>Выход**.

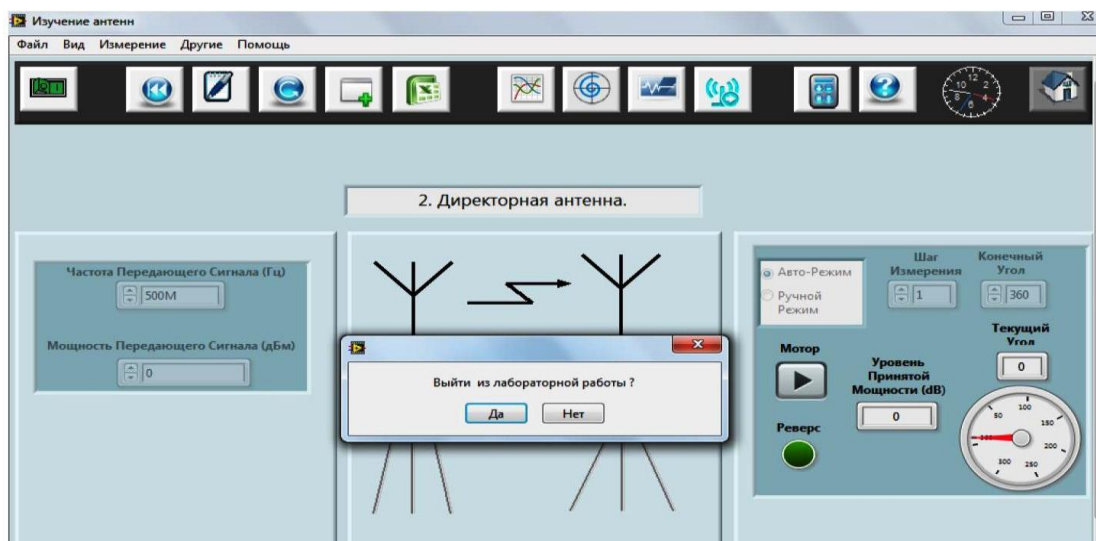
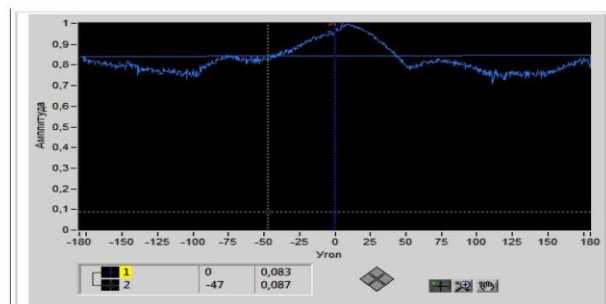
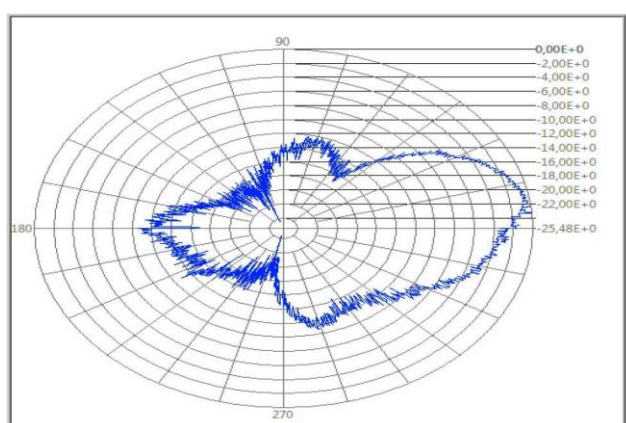


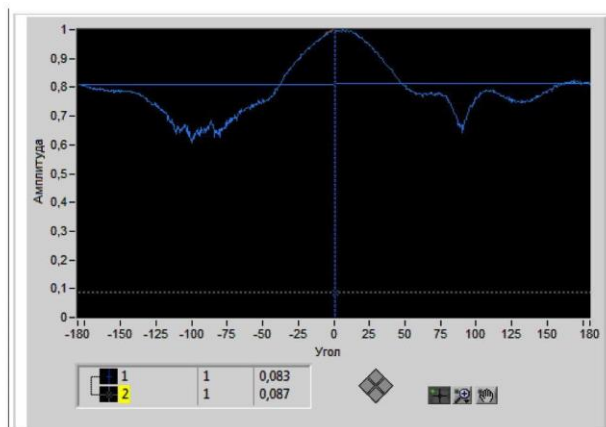
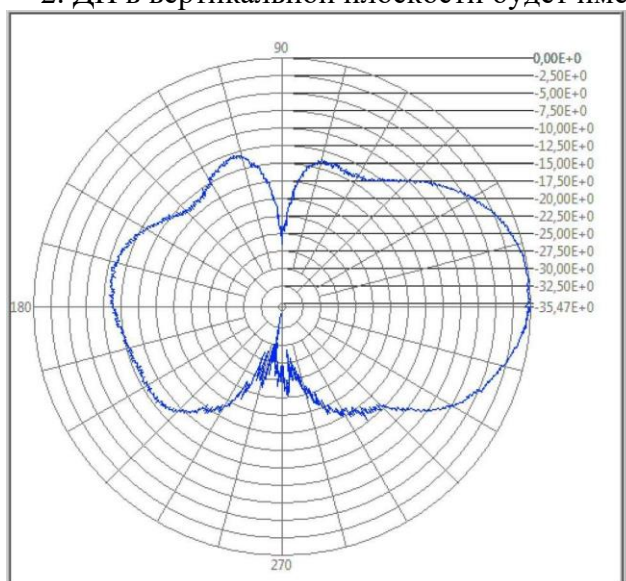
Рисунок 9. Дополнительные измерения

После выполнения опыта:

1. ДН в горизонтальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



2. ДН в вертикальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



Оборудование и материалы

1. Учебный класс с лабораторным стендом по исследованию антенн.

Указания по технике безопасности

1. К проведению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.

2. Включение лабораторных установок (компьютеров) осуществляется только с разрешения преподавателя.

3. При проведении лабораторной работы не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.

4. Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов лабораторных установок (компьютеров).

5. При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.

6. В аудитории запрещается пользоваться источниками открытого огня. При возгорании оборудования его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.

7. Стенд необходимо эксплуатировать в помещении, не подверженном воздействию факторов, повышающих опасность поражения электрическим током (повышенная влажность, отсутствие шины заземления, и т. д.).

8. Запрещается включение установки в сеть в атмосфере, содержащей горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости.

9. Корпус лабораторной установки должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Соблюдайте общие правила техники безопасности применимые к приборам, имеющим питание от сети переменного тока.

10. При возникновении непредвиденных лабораторной работой неисправностей, а также в случае появления запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу с установкой, выключив ее из сети и обратиться к обслуживающему персоналу.

11. Для исключения возможности СВЧ облучения запрещается стоять в непосредственной близости от раскрыва передающей антенны.

12. Лабораторный стенд имеет низковольтное питание. Питание подается от модулей N1 PXI.

13. Запрещается подключать к рабочему стенду другие блоки питания или производить какие-либо внешние подключения.

14. По окончании работы с лабораторным оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание по выполнению лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал по учебному вопросу 1.

2. Выполнить практическое задание по учебным вопросам 2 и 3.

3. Ответить на контрольные вопросы.

4. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета:

1. Титульный лист (образец представлен в Приложении 1).

2. Цель занятия.

3. Основные теоретические положения, изучаемого материала. Выводы по ним, подчеркивающих суть, изучаемого вопроса.

4. Перечень практических заданий. По каждому заданию представляются расчеты, обоснования (результаты исследований) и выводы по ним.

Все результаты должны быть оформлены в виде таблиц и графиков.

5. Расчетные данные (таблицы табл. 2 и табл. 4) и графики ДН.

6. Результаты экспериментальных исследований и их обработку (таблицы табл. 5 и табл. 6) и графики ДН.

Примечание: Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть лабораторной работы. Основанием для снижения оценки являются:

- наличие ошибок, не искажающих сути, рассматриваемого вопроса;
- небрежный отчет.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- неправильные расчеты (ошибки допущенные при проведении исследований);
- не обоснованные (ошибочные) выводы;
- не полностью выполненная работа.

Контрольные вопросы:

1. Какие изменения претерпевает ДН директорной антенны при увеличении количества директоров?
2. Какую роль играет рефлектор в директорной антенне?
3. Для чего осуществляется симметрирование и какие симметрирующие устройства Вы знаете?
4. Состав директорной антенны.
5. Вид диаграммы направленности директорной антенны.

Список рекомендованной литературы:

1. Велигоша А.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».
2. Велигоша А.В. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».
3. Техническое описание лабораторного стенда по исследованию антенн.

Лабораторная работа 7.

Исследование спиральной антенны

Цель работы:

1. Ознакомление с теоретическими основами и принципом работы спиральной антенны.
2. Формирование умений по расчету и построению диаграмм направленности (ДН) и определению основных параметров направленного действия спиральных антенн с использованием специального программного обеспечения.
3. Формирование навыка измерения ДН спиральных антенн.

Учебные вопросы:

1. Устройство и принцип работы спиральных антенн.
2. Измерение ДН спиральной антенны.

1. Устройство и принцип работы спиральных антенн.

Среди различных типов широкополосных антенн важное место занимают разнообразные спиральные антенны. Они являются слабо и средне направленными широкополосными антеннами эллиптической и управляемой поляризации. Применяются в качестве самостоятельных антенн, облучателей зеркальных и линзовых антенн, возбуждителей волноводно-рупорных антенн электрической и управляемой поляризации, элементов антенных решеток.

Спиральные антенны - это антенны поверхностных волн. По виду направителя (замедляющей системы) и способу обеспечения работы в широком диапазоне частот их можно разделить на:

- цилиндрические регулярные, у которых геометрические параметры постоянны по всей длине и широкополосность обусловлена наличием дисперсии фазовой скорости (рисунок 1 типы спиральных антенн, а);
- эквиугольные или частотно-независимые (конические рисунок 1 типы спиральных антенн, б и плоские рисунок 1 типы спиральных антенн, в);
- нерегулярные, к которым относятся все другие типы спиральных антенн: конические с постоянным шагом намотки (рисунок 1 типы спиральных антенн, г), плоская (архимедова рисунок 1 типы спиральных антенн, д) и другие.

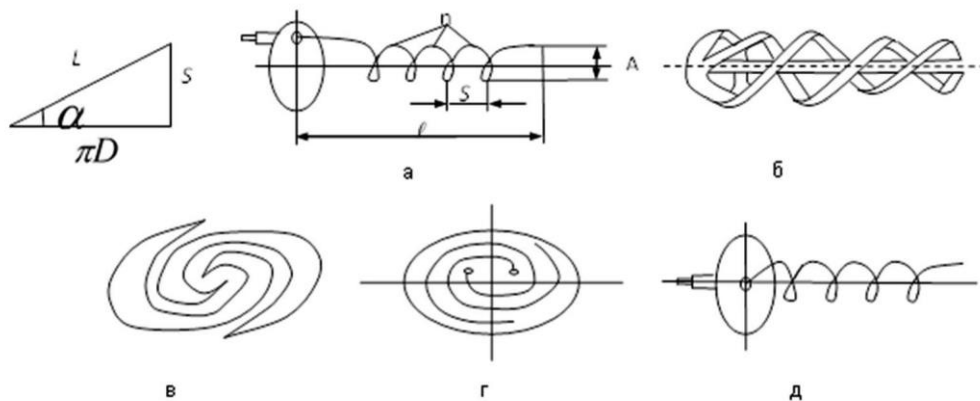


Рисунок 1. Типы спиральных антенн

Спиральная антенна представляет собой провод, один конец которого обычно остается свободным, а второй присоединяется к внутреннему проводу коаксиального кабеля. Внешний провод присоединяется к плоскому металлическому или решетчатому экрану (дису), который препятствует проникновению тока, текущего по внутренней поверхности оплетки коаксиального кабеля, на ее наружную поверхность, а также роль рефлектора, уменьшая излучение антенны в заднее полупространство.

Направленные свойства спиральной антенны зависят от ее поперечных размеров. Если диаметр витка мал по сравнению с длиной волны, то каждый виток можно считать элементарной плоской рамкой. Тогда, спиральную антенну можно рассматривать как

совокупность элементарных электрических диполей, оси которых совпадают с осью антенны. В этом случае антенна интенсивно излучает в плоскости витка, то есть перпендикулярно оси антенны. ДН имеет вид, изображенный на рисунке 2. Виды диаграммы направленности спиральной антенны при различных диапазонах волн. Режим работы антенны называется режимом ненаправленного излучения ($\pi D \ll \lambda$) рисунок 2. а.

Если $\pi D \approx \lambda$, то при определенных значениях шагового угла излучение является однонаправленным с максимумом в направлении вдоль оси (рисунок 2 Виды диаграммы направленности спиральной антенны при различных диапазонах волн. б). Такой режим работы называется режимом осевого излучения. При увеличении диаметра витков спирали излучение в направлении оси прекращается, появляются два направления максимального излучения (рисунок 2 Виды диаграммы направленности спиральной антенны при различных диапазонах волн, в). Пространственная ДН принимает вид конуса. Такой режим называется режимом конического излучения.

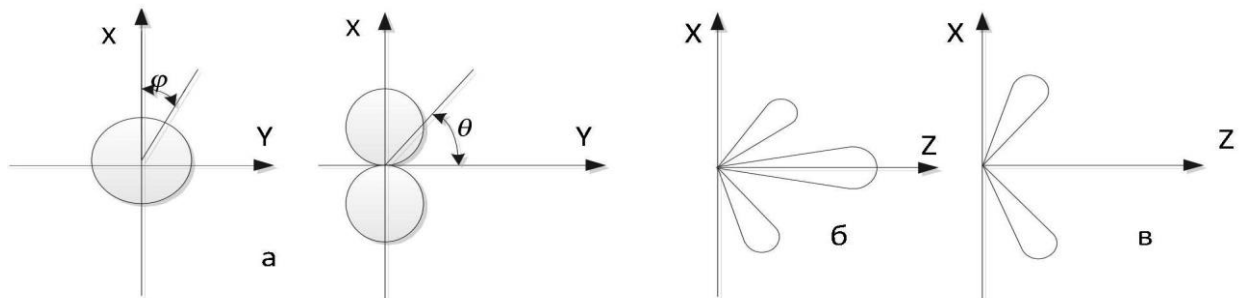


Рисунок 2. Виды диаграммы направленности спиральной антенны при различных диапазонах волн

Характерными особенностями режима осевого излучения, в котором спиральные антенны наиболее часто используются, являются:

- направление максимального излучения совпадает с осью антенны;
- ток в антенне изменяется по закону бегущей волны;
- излучаемое антенной электромагнитное поле имеет круговую (или близкую к ней) поляризацию в направлении оси антенны, а в других направлениях - эллиптическую;
- входное сопротивление антенны почти чисто активное;
- антенна имеет хорошие диапазонные свойства (ширина полосы пропускания « $\pm 30\%$ »).

Теоретические исследования показывают, что в спирали с длиной витка, равной примерно λ , практически имеет место один тип бегущей волны с замедленной фазовой скоростью, определяющей режим осевого излучения.

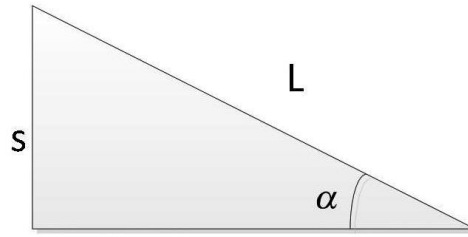
На основании экспериментальных данных получены эмпирические формулы для расчета параметров спиральной антенны.

Если $\alpha = 2^\circ \div 15^\circ, 2 \leq n \leq 20$, ширину луча по половинной мощности можно рассчитать по формуле:

$$2\theta_{0,5} = \frac{52^\circ \lambda}{L \sqrt{\frac{nS}{\lambda}}} \quad (1)$$

где S- шаг спирали; n – число витков; L - длина одного витка.

Причем, $S = L \sin \alpha$, где α - угол подъема в витке спирали. Если развернуть один виток спирали так, чтобы представить его в качестве гипотенузы некоего прямоугольного треугольника с катетом S, то угол подъема в витке спирали α - это противолежащий катету S угол в этом треугольнике.



КНД в направлении оси спирали:

$$D = 15 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^2 \frac{nS}{\lambda}. \quad (2)$$

Входное сопротивление:

$$R_{\text{вх}} = 140 \frac{L}{\lambda}. \quad (3)$$

Характеристика направленности спиральных антенн в плоскости, проходящей через ось антенны, для составляющих E_φ и E_θ , как и для любой сложной антенны, состоит из двух множителей: характеристики направленности одного элемента антенны, которым можно считать плоский виток и множителя системы, состоящего из ненаправленных излучателей, возбуждаемых бегущей волной тока. Определяющим является множитель системы. Поэтому, можно считать ДН одинаковыми для обеих составляющих спиральной антенны, и расчет вести на основании формул, справедливых для антенны бегущей волны, состоящей из дискретных ненаправленных излучателей.

$$F(\theta) = \frac{\sin \left[\frac{\pi S n}{\lambda} \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda S}{1,22 L^2}} - \cos \theta \right) \right]}{n \sin \left[\frac{\pi S}{\lambda} \left(\frac{1}{1 - \frac{\lambda S}{1,22 L^2}} - \cos \theta \right) \right]} \quad (4)$$

где θ - угол между осью антенны и направлением на точку наблюдения.

Характеристики направленности и круговая поляризация сохраняются в довольно широком диапазоне волн - примерно от $(0,7 \div 0,8) \lambda_0$ до $1,4 \lambda_0$, где λ_0 - длина волны, для которой подобраны оптимальные соотношения между $L, \frac{c}{V_\phi}, n, S$. При изменении λ

изменяется также V_ϕ (при укорочении λ отношение $\frac{c}{V_\phi}$ уменьшается) электрическая длина витка изменяется незначительно и равенства (2), (3) мало нарушаются.

Конические спиральные антенны обладают лучшими диапазонными свойствами по сравнению с круглыми цилиндрическими антеннами. Ширина полосы такой антенны может быть двух и трехкратной.

Для улучшения направленных свойств спиральные антенны соединяются в решетки. В данной работе изучается работа спиральной антенны во всех трех режимах излучения.

Расчетное задание

1. Рассчитать вручную оптимальную длину спиральной антенны и коэффициент направленного действия (КНД) по следующим формулам:

$$L_{\text{опт.}} = \frac{\left(\lambda + S + \frac{\lambda}{2\pi} \right)}{\xi}, D = 15 \left(\frac{L}{\lambda} \right)^2 \cdot n \frac{S}{\lambda}, \quad S = L \sin \alpha$$

3. Данные для расчета берутся из табл. 1 в соответствии с вариантом, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале.

Вариант				1	2	3	4	5	6	7	8
Длина волны λ , м			λ	0,03	0,05	0,1	0,15	0,2	0,22	0,25	0,37
Число витков n			n	3	4	6	8	10	14	16	14
Угол подъема α , градус			α	10	10	12	5	5	8	8	8
9		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
λ	1,5	1,4	0,7	1,55	0,2	1,7	0,5	0,9	0,65	1,9	1,6
n	5	5	4	6	17	10	11	13	12	7	6
α	14	14	12	12	11	11	9	9	9	5	5

бокового лепестка. Строится график $f(\theta)$, определяются значения $2\theta_0, 2\theta_{0,5}$ (уточненные по построенному графику) и уровень первого бокового лепестка в децибелах. Занести полученные результаты в табл. 2.

[illegible]

1. Для упрощения расчетов, в лабораторном практикуме предлагается возможность компьютерного расчета. На панели управления щелкните по иконке (1), после чего запустите симуляционную функцию **Helix**, щелкнув по иконке (2). Откроется лицевая панель симуляционной функции **Helix**.

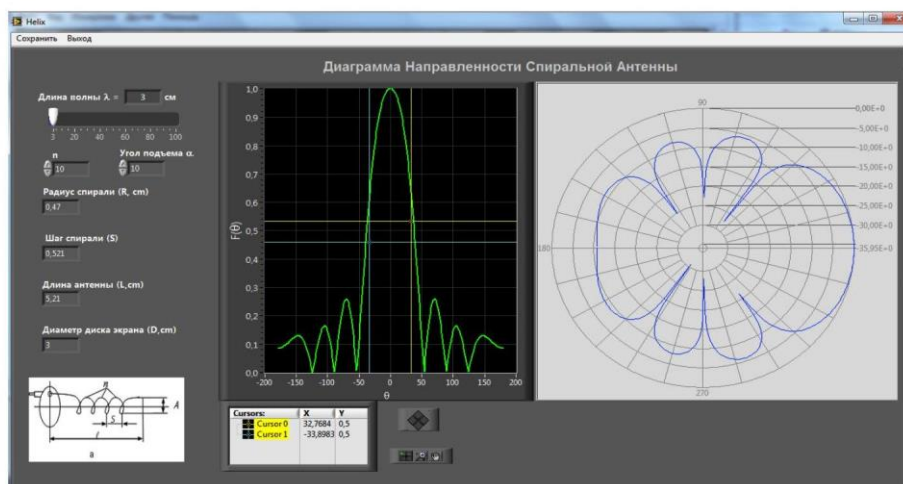
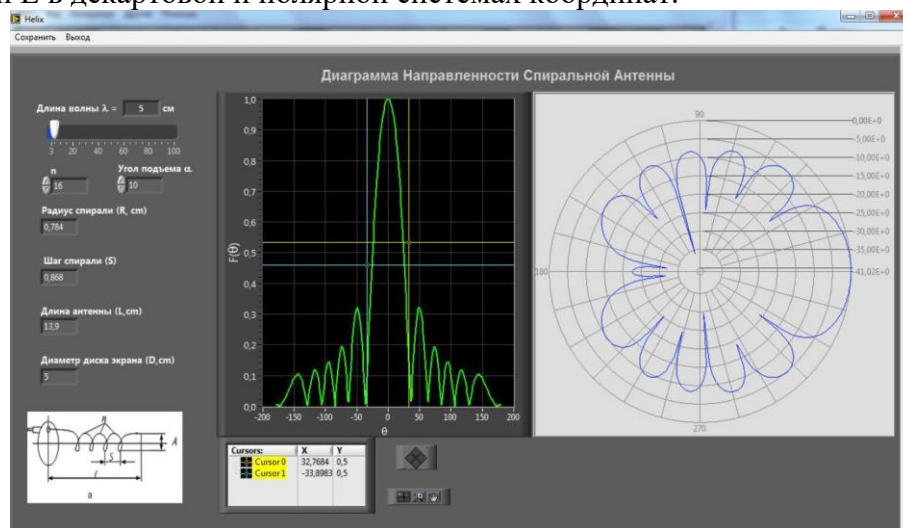


Рисунок 3. Лицевая панель программы

2. Данные для расчета берутся из табл. 1 в соответствии с вариантом. Данные вводить в лицевую панель программы, рисунок 3. После чего, на графике появится нормированная ДН в плоскости Е в декартовой и полярной системах координат.



Определить для полученной нормированной ДН ширину ее основного лепестка - угловой сектор $2\theta_{0,5}$. Определить также уровень первого бокового лепестка в относительных единицах и в децибелах. При необходимости, воспользоваться разъяснениями в разделе 9.2 технического описания лабораторной установки «Определение углового сектора $2\theta_{0,5}(\varphi_{0,5})$ и уровня первого бокового лепестка диаграммы направленности, стр. 26» или учебным материалом лабораторной работы 1.

3. Результаты внести в табл. 3.

Таблица 3

Вариант номер	λ	n	α	$2\theta_{0,5}$, градус	Уровень первого бокового лепестка, отн.ед./дБ

4. В табл. 4 необходимо записать результаты расчета нормированной ДН спиральной антенны при $\lambda = 14,3\text{см}$, $n = 15$, $\alpha = 4^\circ$, которая используется в данном лабораторном практикуме в качестве испытуемой. В качестве исходных данных для расчета использовать указанные в табл. 4 значения.

Таблица 4

Испытуемая антенна	λ	n	α	$2\theta_{0,5}$, градус	Уровень первого бокового лепестка, отн.ед./дБ
Спиральная антенна N1	14.3 см	15	4°		

5. Запомнить результаты всех расчетов и рисунки ДН для варианта с данными, указанными в табл. 4.

2. Измерение ДН спиральной антенны

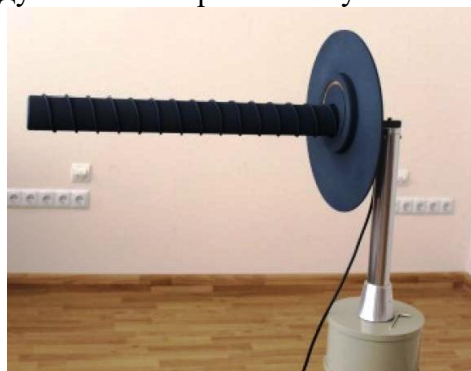
1. Установить вспомогательную вибраторную антенну с согласующим устройством U- колено (11) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6) на треногу для вспомогательной антенны (см. раздел 6.2 Сборка стенда, стр. 12). Размер плеч вибратора - 10 см.

2. Подсоединить ее к выходу RF OUT генератора N1 PX1e-5673E (см. раздел 6.3 Сборка контрольно-измерительного оборудования, стр.13). Использовать коаксиальный

кабель (14) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6). Вспомогательная антенна должна быть в вертикальном положении.



3. Установить спиральную антенну (8) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6) на опорно- поворотное устройство для испытуемой антенны (6.2 Сборка стенда, стр. 12) На первом этапе измерений исследуется осевой режим излучения спиральной антенны.

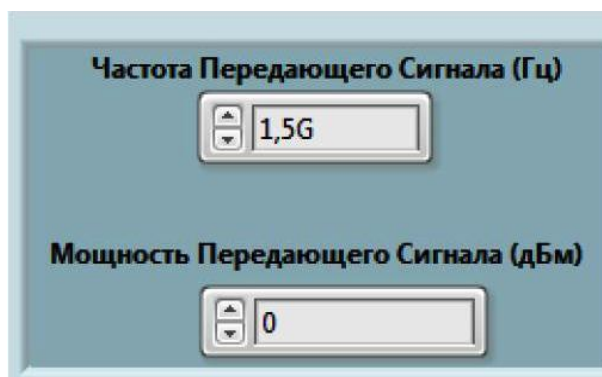


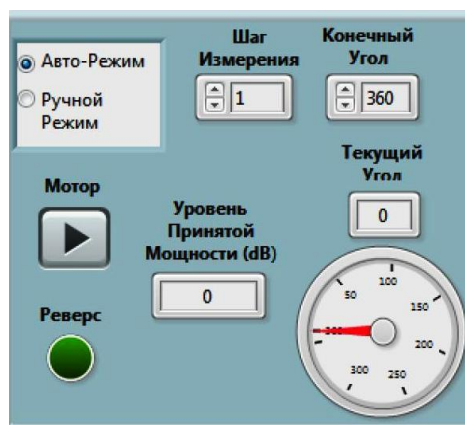
4. Подсоединить ее к входу RF IN анализатора N1 PX1e-5663E. Использовать коаксиальный кабель (15) (см. 4.1. *Оборудование стенда*, стр. 6). Испытуемая антенна должна быть в горизонтальном положении.

5. Разнести испытуемую и вспомогательную антенны на расстояние $r = 2$ м, причем ориентировать антенны так, чтобы они были направлены друг на друга соосно. Важно также, чтобы точки подключения к фидерам испытуемой и вспомогательной антенн находились на одинаковой высоте.

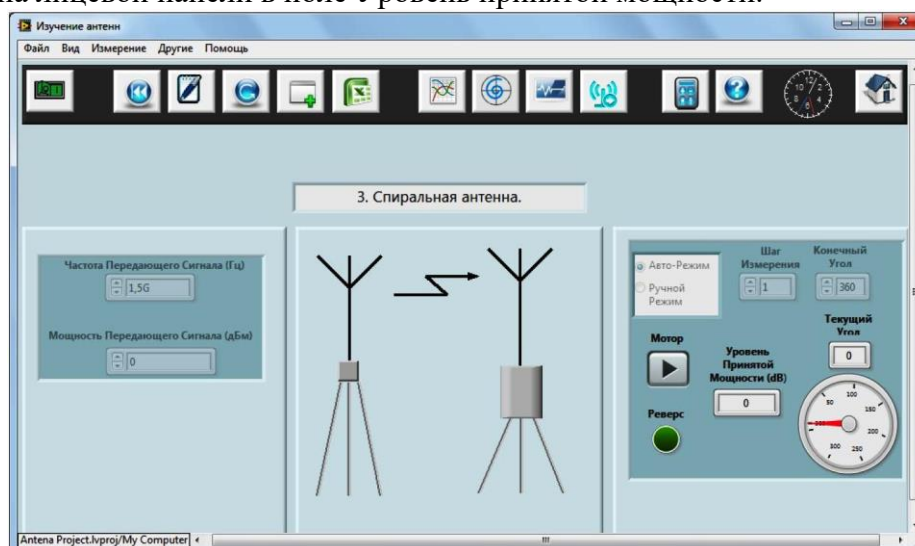
6. На лицевой панели в поле *Частота Передающего Сигнала* ввести $f = 1,5$ ГГц а в поле *Мощность Передающего Сигнала* – 0 дБм.

В поле *Шаг измерения* ввести необходимое значение (по умолчанию 1), соответствующее шагу измерения, в градусах, а в поле *Конечный Угол* ввести значение (по умолчанию 360) соответствующее конечному положению антенны. При достижении антенной конечного угла автоматически включается реверс, и антенна возвращается в начальное положение.

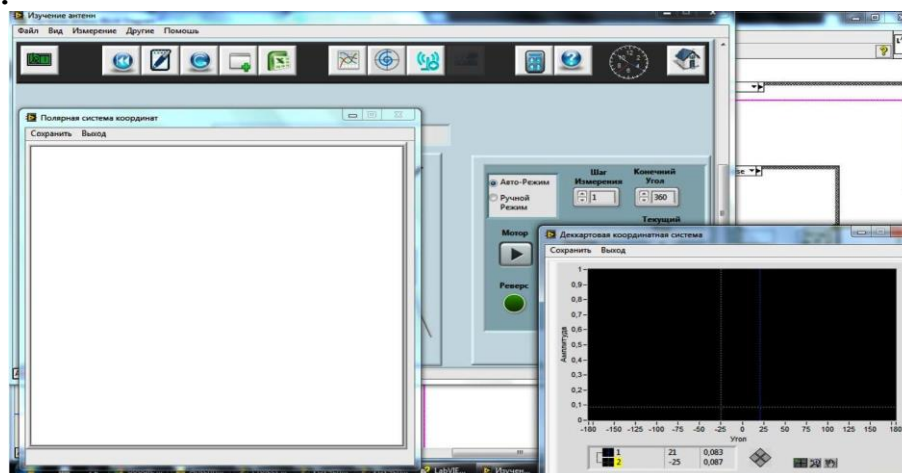




7. Запустить генератор и анализатор кнопкой **Старт** на лицевой панели. Генерируемый сигнал, через выход RF OUT генератора N1 PX1e-5673E, будет излучаться вспомогательной антенной, а испытуемая антенна будет принимать этот сигнал. Через вход RF IN анализатора N1 PX1e-5663E измеряется уровень мощности, и значение в децибелах отображается на лицевой панели в поле **Уровень принятой мощности**.



8. На панели управления открыть поля декартовой и полярной системы координат, нажав кнопки   удобно разместить эти окна на экране так, чтобы не заслонять кнопку **Мотор**.



9. Проверить расположение двух антенн по пункту 5. Запустить движение опорно-поворотного устройства нажатием кнопки **Мотор** на лицевой панели. Антенна начнёт вращаться от 0° до значения, определяемого параметром **Конечный угол** и, соответственно зафиксированному в окне на лицевой панели шагу измерения (Шаг измерения), измеряются

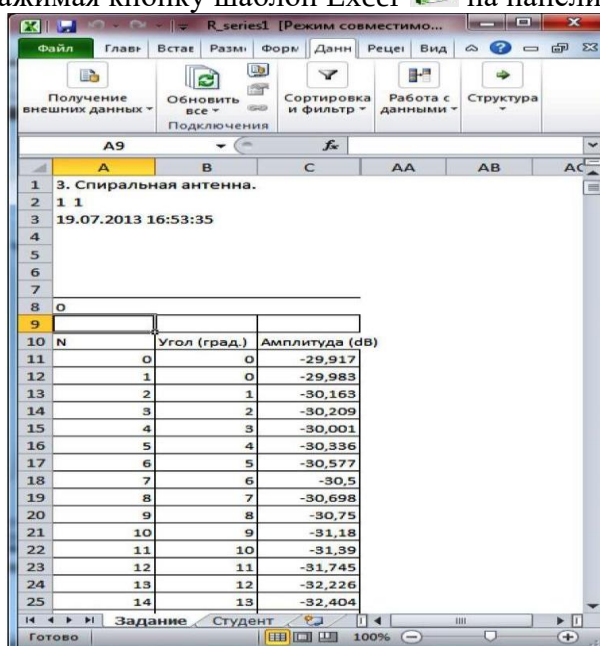
уровень принятой мощности в децибелах, нормированные результаты измерения графически записываются параллельно в двух окнах систем координат и в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel. Достигнув значения, определяемого параметром *Конечный угол*, ОПУ начинает реверсное вращение, в процессе которого снова измеряются значения мощности поля излучения. Кривые, полученные во время реверсного вращения, записываются в тех же графических окнах, что и при первом витке вращения испытуемой антенны (в декартовой системе координат-другим цветом).

Для обеспечения достоверности результатов, пункт 9 повторить. В начале каждого следующего измерения необходимо нажимать кнопку **Новый сеанс**  на панели управления.

10. Сохранить измеренные графики четырех нормированных ДН в регистрационной папке студента.

11. Экспериментальные результаты автоматически перенесутся в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel в виде двух таблиц, чередующих друг друга.

12. Открыть Excel, нажимая кнопку шаблон Excel  на панели управления



N	Угол (град.)	Амплитуда (dB)
0	0	-29,917
1	0	-29,983
2	1	-30,163
3	2	-30,209
4	3	-30,001
5	4	-30,336
6	5	-30,577
7	6	-30,5
8	7	-30,698
9	8	-30,75
10	9	-31,18
11	10	-31,39
12	11	-31,745
13	12	-32,226
14	13	-32,404

13. Обязательно сохранить полученные табличные данные измерений в плоскости E13.

14. Подготовиться к измерениям ДН испытуемой спиральной антенны (8) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6) в режиме осевого излучения в плоскости *H*, повернув вспомогательную вибраторную антенну на 90° по отношению к вертикали.



15. Повторить вышеуказанные п.п. 3-12.

16. Обязательно сохранить полученные табличные данные измерений в плоскости *H*.

Обработка результатов измерений

1. Просчитать усредненные результаты измерений ДН в обеих плоскостях, зафиксированных шаблонном файле формата Excel. Записать полученные значения в том

же файле, заполнить табл. 5 и табл. 6. Рекомендуется внимательно проследить при заполнении таблиц значения функций и аргумента θ (при реверсном повороте углы изменяются убывающем порядке).

Таблица 5

θ	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E1}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	σ

Таблица 6

φ	$f_{H1}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H1}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	σ

2. Определить погрешность результатов измерений в обеих плоскостях по формуле

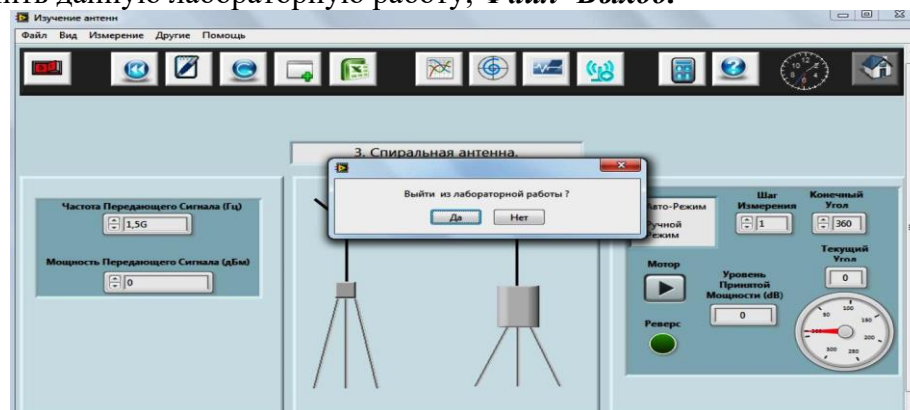
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cp})^2}. \text{ Оценить точность измерений.}$$

3. Построить ДН спиральной антенны в обеих плоскостях по усредненным значениям функций (см. табл. 5 и табл. 6).

4. Сравнить усредненные результаты измерений спиральной антенны в плоскости Е с расчетными результатами, записанными в табл. 4.

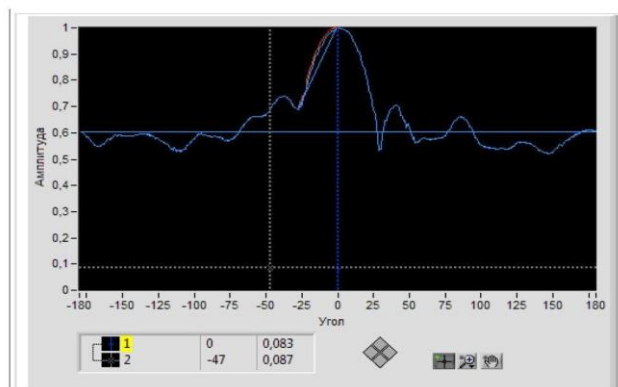
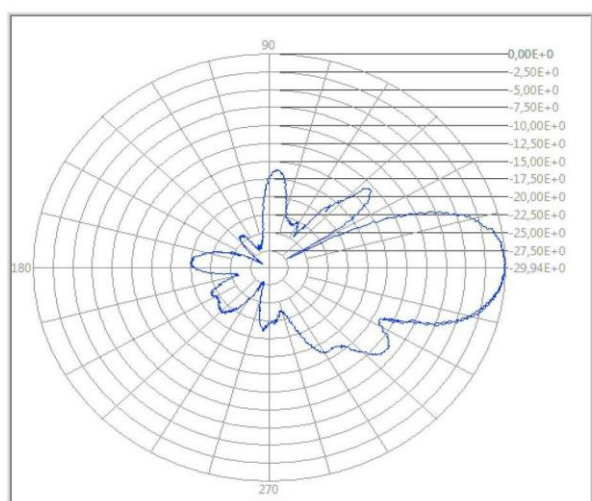
5. Нажать кнопку **Стоп**.

6. Закончить данную лабораторную работу, **Файл>Выход**.

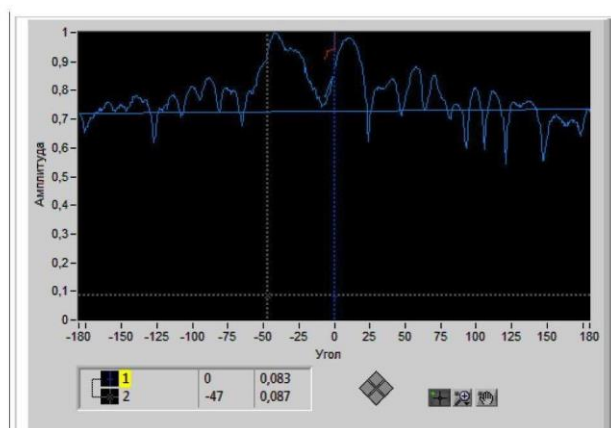
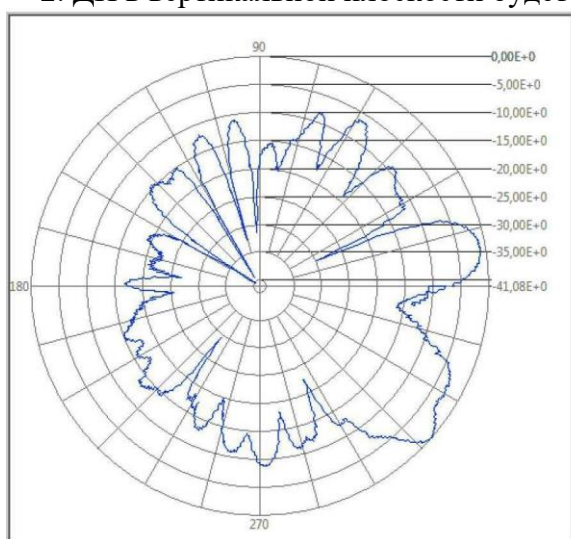


После выполнения опыта в режиме направленного излучения:

1. ДН в горизонтальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



2. ДН в вертикальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



Оборудование и материалы

1. Учебный класс с лабораторным стендом по исследованию антенн.

Указания по технике безопасности

1. К проведению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.

2. Включение лабораторных установок (компьютеров) осуществляется только с разрешения преподавателя.

3. При проведении лабораторной работы не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.

4. Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов лабораторных установок (компьютеров).

5. При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.

6. В аудитории запрещается пользоваться источниками открытого огня. При возгорании оборудования его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.

7. Стенд необходимо эксплуатировать в помещении, не подверженном воздействию факторов, повышающих опасность поражения электрическим током (повышенная влажность, отсутствие шины заземления, и т. д.).

8. Запрещается включение установки в сеть в атмосфере, содержащей горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости.

9. Корпус лабораторной установки должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Соблюдайте общие правила техники безопасности применимые к приборам, имеющим питание от сети переменного тока.

10. При возникновении непредвиденных лабораторной работой неисправностей, а также в случае появлении запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу с установкой, выключив ее из сети и обратиться к обслуживающему персоналу.

11. Для исключения возможности СВЧ облучения запрещается стоять в непосредственной близости от раскрыва передающей антенны.

12. Лабораторный стенд имеет низковольтное питание. Питание подается от модулей N1 PXI.

13. Запрещается подключать к рабочему стенду другие блоки питания или производить какие-либо внешние подключения.

14. По окончании работы с лабораторным оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание по выполнению лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал по учебному вопросу 1.
2. Выполнить практическое задание по учебному вопросу 2.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета по лабораторной работе:

1. Титульный лист (образец представлен в Приложении 1).
2. Цель занятия.
3. Основные теоретические положения, изучаемого материала. Выводы по ним, подчеркивающих суть, изучаемого вопроса.
4. Перечень практических заданий. По каждому заданию представляются расчеты, обоснования (результаты исследований) и выводы по ним.
Все результаты должны быть оформлены в виде таблиц и графиков.
5. Расчетные данные (таблицы табл.2 - табл. 4) и графики ДН.
6. Результаты экспериментальных исследований и их обработку (таблицы: табл. 5, табл. 6 и графики ДН).

Примечание: Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть лабораторной работы. Основанием для снижением оценки являются:

- наличие ошибок, не искажающих сути, рассматриваемого вопроса;
- небрежный отчет.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- неправильные расчеты (ошибки допущенные при проведении исследований);
- не обоснованные (ошибочные) выводы;
- не полностью выполненная работа.

Контрольные вопросы:

1. Как выглядит условие получения максимума КНД в главном направлении излучения для спиральной антенны?
2. Почему и при каких условиях спиральная антенна создает вдоль своей оси поле круговой поляризации?
3. Охарактеризуйте режимы работы спиральной антенны.
4. Где применяются антенны с вращающейся поляризацией?
5. Чем объясняются поляризационные свойства спиральной антенны?
6. Каков закон распределения фаз поля вдоль оси антенн бегущей волны?

Список рекомендованной литературы:

1. Велигоша А.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Антенно-фидерные устройства», стр. 69 – 85.
2. Велигоша А.В. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».
3. Техническое описание лабораторного стенда по исследованию антенн.

Лабораторная работа 8.

Исследование рупорной антенны

Цель работы:

1. Ознакомление с теоретическими основами и принципом работы рупорной антенны.
2. Формирование умений по расчету и построению диаграмм направленности (ДН) и определению основных параметров направленного действия рупорных антенн с использованием специального программного обеспечения.
3. Формирование навыка измерения ДН рупорных антенн.

Учебные вопросы:

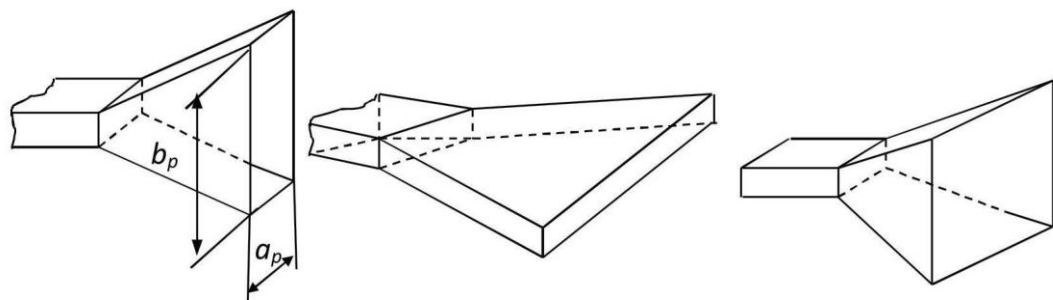
1. Устройство и принцип работы рупорной антенны.
2. Измерение ДН в плоскости E .
3. Измерение ДН в плоскости H

1. Устройство и принцип работы рупорной антенны.

В диапазоне сантиметровых и миллиметровых волн широкое применение находят рупорные антенны. Они используются в качестве самостоятельных передающих и приемных антенн в радиолокации, радиорелейной связи, в измерительной аппаратуре, а также в качестве облучателей более сложных антенн, таких, как линзовые и зеркальные.

Рупорная антенна представляет собой волновод с плавно увеличивающимися размерами поперечного сечения.

Рассмотрим два типа рупорных антенн - секториальный и пирамидальный (рисунок 1):



а) E -секториальный б) H -секториальный в) пирамидальный

Рисунок 1. Типы рупоров

Секторальными называют рупоры, у которых расширяется только одна пара параллельных стенок питающего волновода. В зависимости от того, в какой плоскости происходит расширение, различают E - плоскостные (рисунок 1, а) и H - плоскостные секторальные рупоры (рисунок 1, б). Если расширение происходит как в плоскости E , так и в плоскости H , то рупор называется пирамидальным (рисунок 1, в). Рупоры также могут быть коническими, гофрированными и ступенчатыми.

При анализе направленных свойств рупорных антенн можно считать, что излучение происходит только с поверхности раскрыва рупора. Направленные свойства рупорных антенн, в основном, определяются размерами поверхности раскрыва и законами распределения амплитуд и фаз поля в раскрыве.

Амплитуда поля на поверхности раскрыва рупора распределена следующим образом: если угол раскрыва мал, то структура поля, а следовательно, и распределения амплитуд поля в раскрыве рупора такая же, как и в питающем волноводе. Обычно в прямоугольном волноводе возбуждается волна типа H_{10} . Закон распределения амплитуд поля в раскрыве имеет вид, представленный на рисунке 2 Распределение амплитуд поля на раскрыве рупора. Как видно из рисунка 2 Распределение амплитуд поля на раскрыве рупора, в плоскости

$E(yz)$ распределение в раскрыве равномерное, а в плоскости $H(xz)$ амплитуды распределяются по формуле $\cos\left(\frac{\pi x}{a}\right)$.

При таком амплитудном распределении диаграммы направленности в плоскостях Е и Н при отсутствии фазовых искажений определяются, соответственно, по формулам:

$$F_E(U) = \left| \frac{\sin U}{U} \right| \quad (1)$$

$$F_H(V) = \left| \frac{\cos V}{1 - \left(\frac{2V}{\pi}\right)^2} \right| \quad (2)$$

где $U = \frac{kl}{2} \sin \theta$, $V = \frac{kl}{2} \sin \varphi$; θ - угол, образованный нормально с поверхностью раскрыва и направлением в точке наблюдения плоскости; φ - угол плоскости; l - линейный размер раскрыва рупора ($l = b_p$ для плоскости Е и $l = a_p$ для плоскости Н); $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число; λ - длина волны в свободном пространстве.

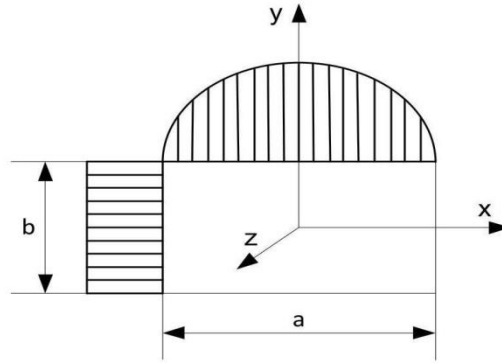


Рисунок 2. Распределение амплитуд поля на раскрыве рупора

Уровень максимума первого бокового лепестка при косинусоидальном распределении составляет 7 процентов (минус 22 дБ), а при равномерном - 22 процента (минус 12дБ).

Рассмотрим вопрос распределения фаз поля в раскрыве. Фронт волны в рупоре имеет форму цилиндрической (для секториальных) или сферической (для пирамидальных) поверхности, за счет чего значения фазы поля на краях рупора будут иными, чем в центре. Максимальная фазовая ошибка в случае секториального рупора будет на краю раскрыва $\left(x = \frac{a_p}{2}\right)$ и определяется следующим выражением:

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{\pi}{4} \frac{l^2}{\lambda_p R} \quad (3)$$

где λ_p - длина волны в рупоре; R - длина рупора.

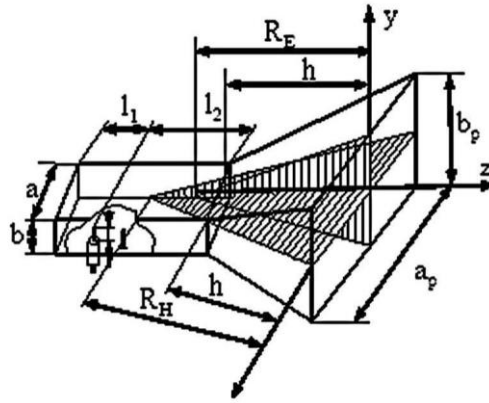


Рисунок 3. Рупорная антенна

В случае пирамидального рупора максимальное отклонение фазы напряженности поля будет в углах раскрыва рупора и определяется выражением:

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{\pi}{4\lambda_p} \left(\frac{\alpha_p^2}{R} + \frac{b_p^2}{R} \right) \quad (4)$$

Как видно из формул (3) и (4) $\Delta\varphi$ меняется как функция от a_p (b_p) по квадратичному закону относительно оси. Следует отметить, что при увеличении размера раскрыва рупора (по отношению к λ) фазовая скорость электромагнитной волны в рупоре приближается к скорости света в свободном пространстве. Поэтому, можно принять, что фазовая скорость в раскрыве рупора приближается к скорости света в свободном пространстве и в соответствующие формулы для расчета $\Delta\varphi_{\max}$ вместо λ_p можно подставить длину волны в свободном пространстве. Нарушение синфазности излучающей поверхности приводит к искажению диаграммы направленности (ДН) и уменьшению коэффициента направленного действия (КНД) в главном направлении.

На рисунке 4 «Диаграммы направленности при различных значениях фазовых ошибок» приведены диаграммы направленности при различных значениях фазовых ошибок. Как видно из рисунка, исчезают нули между лепестками ДН, уровень боковых лепестков увеличивается, главный лепесток расширяется, и при больших $\Delta\psi$ лепестки полностью поглощаются расширяющимся главным лепестком. При $\psi \geq \pi$ появляются два направления максимального излучения, происходит раздвоение главного лепестка.

Сплошная линия соответствует равномерному закону распределения амплитуд поля в раскрыве, а пунктирная - косинусоидальному закону. При равномерном амплитудном распределении искажение ДН в плоскости Е больше, чем при косинусоидальном в плоскости Н. Поэтому, в рупорной антенне для плоскости Е допускаются меньшие фазовые ошибки, чем в плоскости Н. Обычно, за величину допустимых фазовых ошибок принимают величину $\frac{\pi}{2}$ для плоскости Е и $\frac{3}{4}\pi$ - плоскости Н.

Коэффициент направленного действия поверхностных антенн, к которым относится рупорная антенна, определяется по формуле:

$$D = \chi \frac{4\pi}{\lambda^2} S \quad (5)$$

где S - площадь геометрической поверхности антенны, χ - коэффициент использования поверхности раскрыва (КИП). Для рупорных антенн χ может достигать значения от 0,65 до 0,8. Очевидно, что при $R \rightarrow \infty$ фазовый фронт в раскрыве рупора станет плоским, эффективная площадь - равной геометрической, а $\chi = 1$. На практике, длину рупора выбирают исходя из допустимых фазовых ошибок в раскрыве. Длина рупора растет пропорционально a_p^2 (b_p^2). Такой быстрый рост длины рупора является существенным

недостатком рупорных антенн, устранение которого может быть достигнуто путем коррекции фазовых искажений, установкой линз в раскрыве рупора.

Расчетное задание

1. Рассчитать вручную и построить в декартовой системе координат нормированную ДН рупорной антенны в плоскости Е по формуле

$$F_E(U) = \left[\frac{\sin U}{U} \right],$$

где $U = \frac{kl}{2} \sin \theta$; θ - угол, образованный нормалью к поверхности раскрыва и направлением в точку наблюдения; l - линейный размер раскрыва $l = b_p$ для плоскости Е и $l = a_p$ для плоскости Н); $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число; λ – длина волны в свободном пространстве.

Расчет производить в пределах: $-90^\circ < \theta < 90^\circ$, через каждые 10° .

Определить также положение первого и второго нулей ДН (величину угла θ_0) по формуле:

$$\frac{kl}{2} \sin \theta_0 = N\pi, (N = 1; 2).$$

Данные для расчета берутся из табл. 1 в соответствии с вариантом, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале.

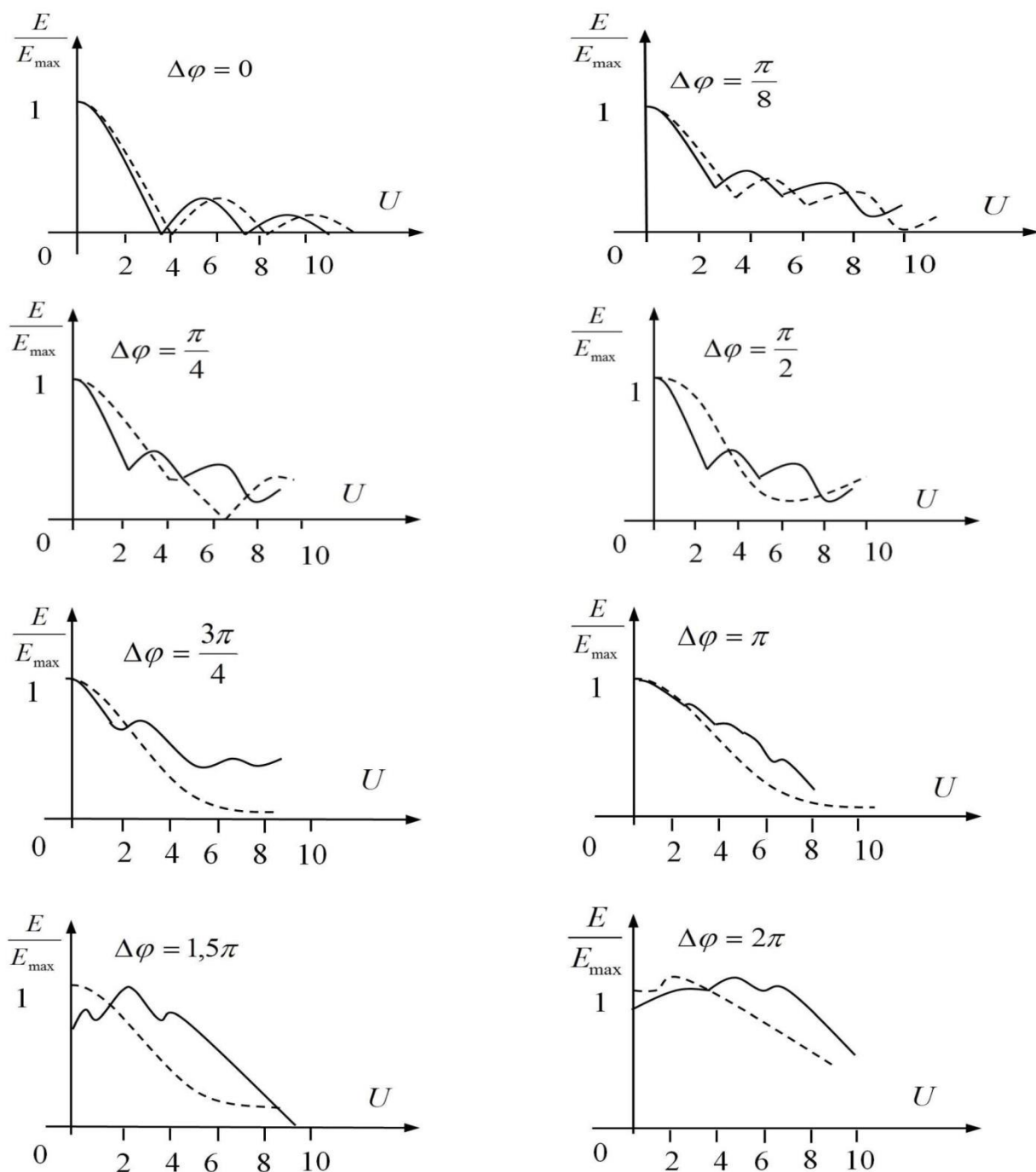


Рисунок 4. Диаграммы направленности при различных значениях фазовых ошибок

2. Рассчитать закон распределения фаз в раскрые секториальных рупоров по формуле

$$\Delta\varphi_{\max} = \frac{\pi}{4} \frac{x_p^2}{\lambda R},$$

где x_p - координата точки в раскрые рупора, отсчитываемая для Н - секториального рупора вдоль плоскости Н, а для Е - секториального рупора - вдоль плоскости Е. Закон распределения фаз в раскрые является функцией от x_p , $\Delta\varphi = f(x_p)$, где $0 \leq x_p \leq a_p$ и $0 \leq x_p \leq b_p$, соответственно, для Н и Е векториального рупора. Построить кривые для следующих значений аргумента:

$x_p = 0; 0,2(a_p, b_p); 0,4(a_p, b_p); 0,6(a_p, b_p); 0,8(a_p, b_p); 1(a_p, b_p)$.

3. Занести полученные результаты в табл.2.

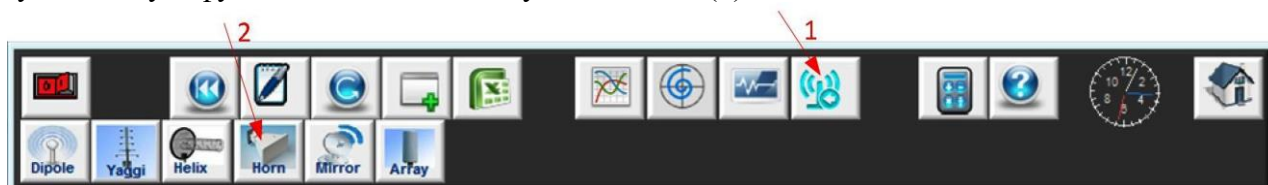
Таблица 1

Вариант				1	2	3	4	5	6	7	8
Размер раскрыва в плоскости H , a_p (см)			a_p	17	15	15	13	1	10,5	5	20
Размер раскрыва в плоскости E , b_p (см)			b_p	15	25	15	9	1.5	15	7	17
Длина рупора, R (см)			R	30	30	28	16	3	18	10	9
Длина волны, λ (см)			λ	3,2	5	6	4,5	0,8	7,5	1,5	7
9		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
a_p	0,8	4	40	40	50	50	15	8	7	9	30
b_p	1	3	30	30	50	40	25	6	8	12	30
R	2	5	35	38	40	50	32	7	6	10	12
λ	0,3	1	13	19	21	27	5,1	2	3,3	7,7	15

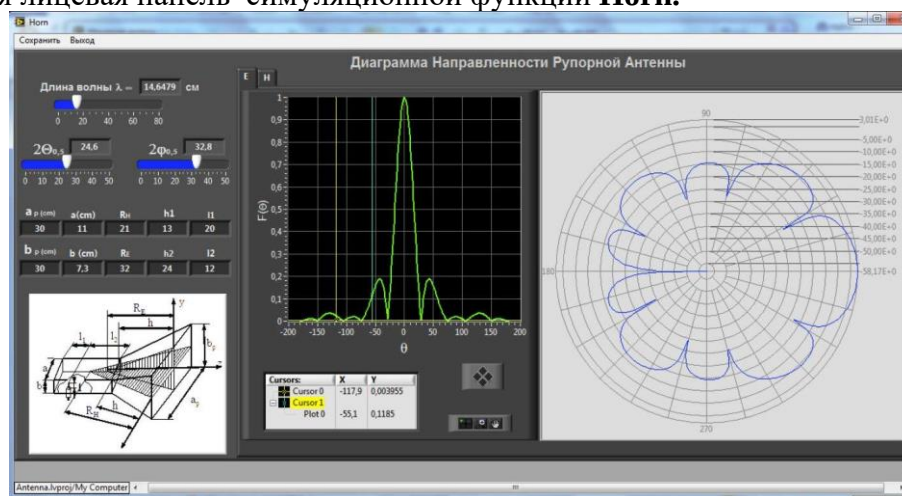
Таблица 2

Вариант номер	a_p	b_p	R	λ	$2\theta_{0,5}$	Положение первого нуля, градус	Положение второго нуля, градус	Уровень первого бокового лепестка, отн. ед./дБ

1. Для упрощения расчетов в практикуме предлагается возможность компьютерного расчета. На панели управления щелкните по иконке (1), после чего запустите симуляционную функцию **Horn**, щелкнув по иконке (2).



Откроется лицевая панель симуляционной функции **Horn**.



2. Данные для расчета берутся из табл. 3 в соответствии с вариантом, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале.

Таблица 3

Вариант				1	2	3	4	5	6	7	8
$2\theta_{0,5}$, градус			$2\theta_{0,5}$	30	30	28	36	25	42	25	50

$2\varphi_{0,5}$, градус			$2\varphi_{0,5}$	27	20	25	30	25	32	25	40
Длина волны, λ (см)			λ	3,2	5	6	4,5	0,8	7,5	1,5	7
9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
$2\theta_{0,5}$	45	35	35	38	40	50	32	27	36	19	50
$2\varphi_{0,5}$	40	32	30	28	30	45	28	25	34	15	44
λ	0,3	1	13	19	21	27	5,1	2	3,3	7,7	15

Данные вводить в лицевую панель программы, рисунок 5. После этого на графиках появятся нормированные ДН в плоскости Е и Н в декартовой и полярной системах координат.

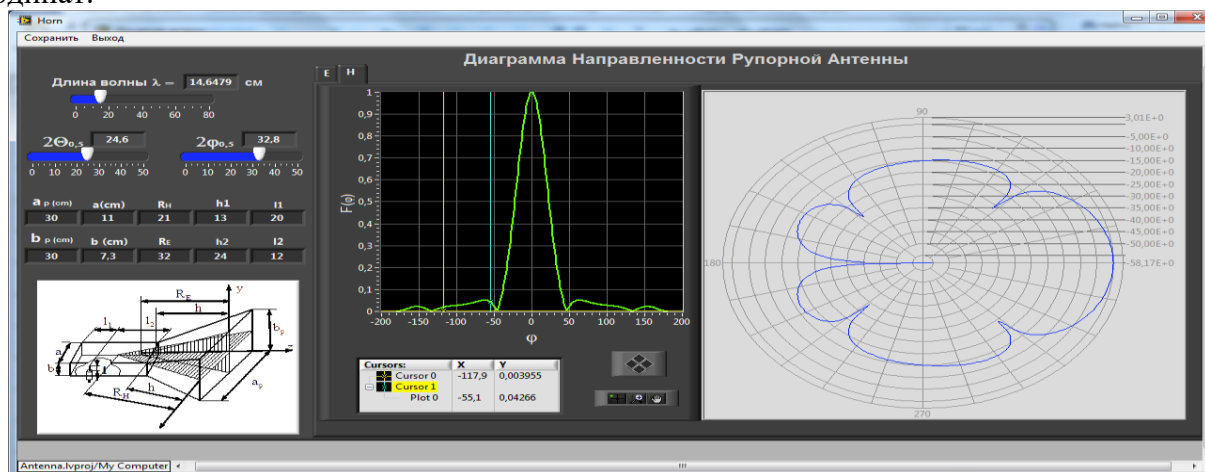


Рисунок 5. Лицевая панель программы

Определить, какими должны быть размеры рупора для случая рассчитанной нормированной ДН в плоскости E и H . Определить также уровень первого бокового лепестка в относительных единицах и в децибелах. При необходимости, воспользоваться разъяснениями в разделе 9.2 «Определение углового сектора $2\theta_{0,5}$ ($2\varphi_{0,5}$) и уровня первого бокового лепестка диаграммы направленности», стр.26. технического описания лабораторной установки или материалами лабораторной работы 1.

3. Результаты внести в табл. 4.

Таблица 4

Вариант, номер	$2\theta_{0,5}$	$2\varphi_{0,5}$	λ	a	b	a_p	b_p	R_n	R_e	Уровень первого бокового лепестка, отн. ед./дБ

4. Запомнить результаты всех расчетов и рисунки расчетных ДН. Выйти из симуляционной программы.

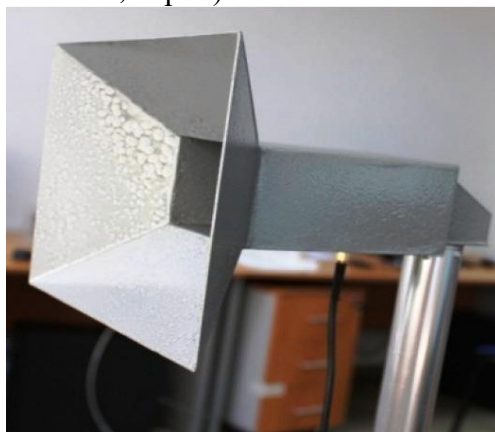
2. Измерение ДН в плоскости Е

1. Установить штыревую антенну (10) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6) на треногу для вспомогательной антенны (см. 6.2 *Сборка стенда*, стр. 12). Подсоединить ее к выходу RF OUT генератора N1 PX1e-5673E (см. 6.3 *Сборка контрольно-измерительного оборудования*, стр.13), Использовать коаксиальный кабель (14) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6). Вспомогательная антенна должна быть в вертикальном положении.



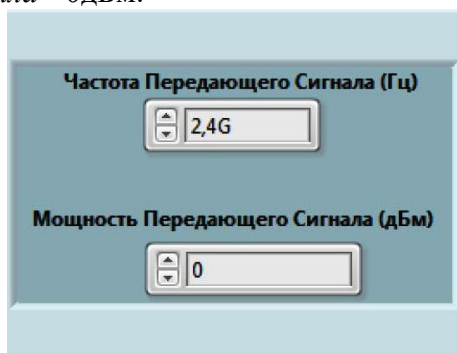
2. Установить рупорную антенну (6) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6) на опорно-поворотное устройство для испытуемой антенны (см. 6.2 *Сборка стенда*, стр. 12).

3. Подсоединить ее к входу RF IN анализатора N1 PX1e-5663E. Использовать коаксиальный кабель (15) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6).



Разнести испытуемую и вспомогательную антенны на расстояние $r = 2\text{ м}$, причем ориентировать антенны так, чтобы они были направлены друг на друга соосно. Важно также, чтобы точки подключения к фидерам испытуемой и вспомогательной антенн находились на одинаковой высоте.

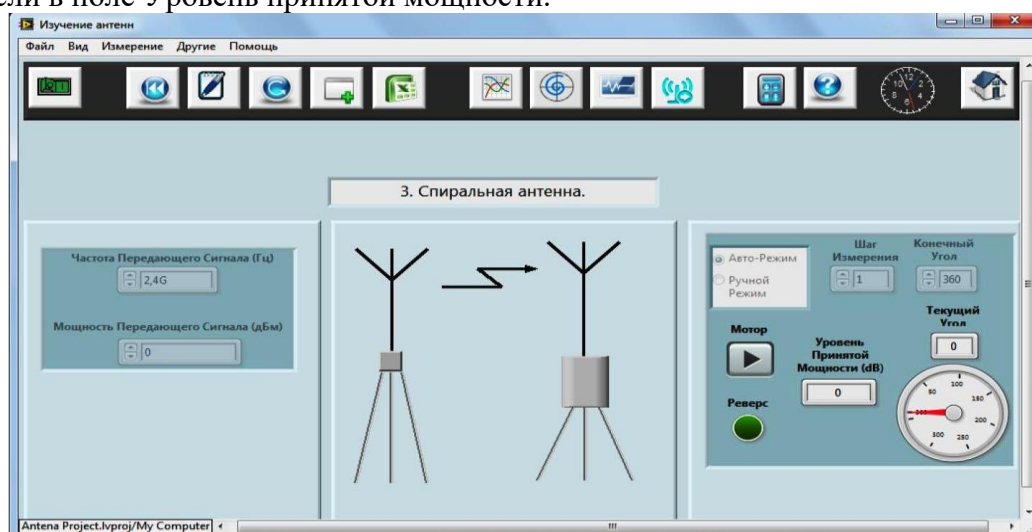
На лицевой панели в поле *Частота Передающего Сигнала* ввести $f = 2,4\text{ ГГц}$, а в поле *Мощность Передающего Сигнала* - 0дБм.



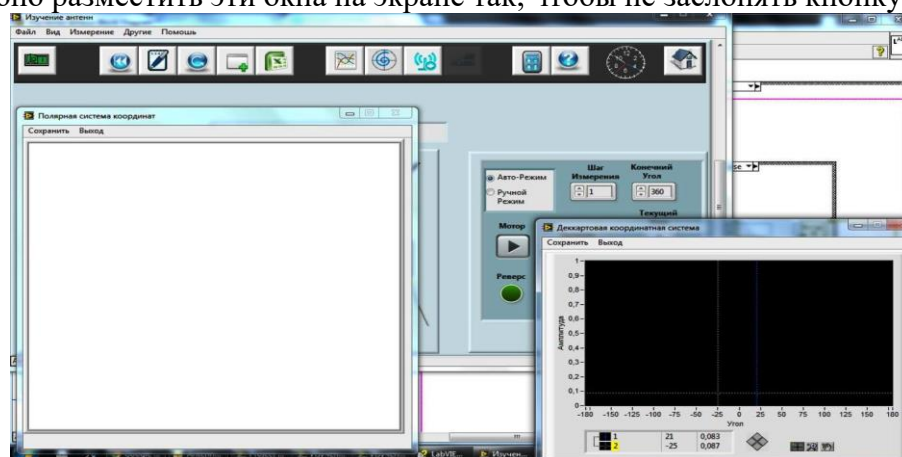
В поле *Шо́г измерения* ввести необходимое значение (по умолчанию 1), соответствующее шагу измерения, в градусах, а в поле *Конечный Угол* ввести значение (по умолчанию 360) соответствующее конечному положению антенны. При достижении антенной конечного угла автоматически включается реверс, и антенна возвращается в начальное положение.



6. Запустить генератор и анализатор кнопкой Старт на лицевой панели. Генерируемый сигнал, через выход RF OUT генератора N1 PX1e-5673E, будет излучаться вспомогательной антенной, а испытываемая антенна будет принимать этот сигнал. Через вход RF IN анализатора N1 PX1e-5663E измеряется уровень мощности, и значение в децибелах отображается на лицевой панели в поле Уровень принятой мощности.



7. На панели управления открыть поля декартовой и полярной системы координат, нажав   удобно разместить эти окна на экране так, чтобы не заслонять кнопку **Мотор**.



8. Проверить расположение двух антенн по пункту 4. Запустить движение опорно-поворотного устройства нажатием кнопки **Мотор** на лицевой панели. Антенна начнёт вращаться от 0° до значения, определяемого параметром *Конечный угол* и, соответственно зафиксированному в окне на лицевой панели шагу измерения (Шаг измерения), измеряются уровень принятой мощности в децибелах, нормированные результаты измерения графически записываются параллельно в двух окнах систем координат и в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel. Достигнув значения, определяемого параметром *Конечный угол*, ОПУ начинает реверсное вращение, в процессе которого снова измеряются значения мощности поля излучения. Кривые, полученные во время реверсного вращении, записываются в тех же

графических окнах, что и при первом витке вращения испытуемой антенны (в декартовой системе координат-другим цветом).

Для обеспечения достоверности результатов, пункт 8 повторить еще раз. В начале каждого следующего измерения необходимо нажимать кнопку **Новый сеанс**  на панели управления.

9. Сохранить измеренные графики четырех нормированных ДН в регистрационной папке студента.

10. Экспериментальные результаты автоматически перенесутся в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel, в виде двух таблиц, чередующих друг друга.

Открыть *Excel*, нажимая кнопку шаблон Excel  на панели управления.

12. Обязательно сохранить полученные табличные данные измерений в плоскости E.

3. Измерение ДН в плоскости H

1. Подготовиться к измерениям ДН испытуемой рупорной антенны в плоскости H, повернув вспомогательную вибраторную антенну на 90° по отношению к вертикали.



2. Повторите вышеуказанные п.п. 4-11.

Обязательно сохраните полученные табличные данные измерений в плоскости H.

Обработка результатов измерений

1. Просчитать усредненные результаты четырёх измерений ДН в обеих плоскостях рупорной антенны, зафиксированных в шаблонном файле формата *Excel*. Записать полученные значения в том же файле, заполнив табл. 5 и табл. 6. Рекомендуется внимательно проследить при заполнении таблиц за значениями функций и аргумента θ (при реверсном повороте углы изменяются в убывающем порядке).

Таблица 5

θ	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	σ
						$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	

Таблица 6

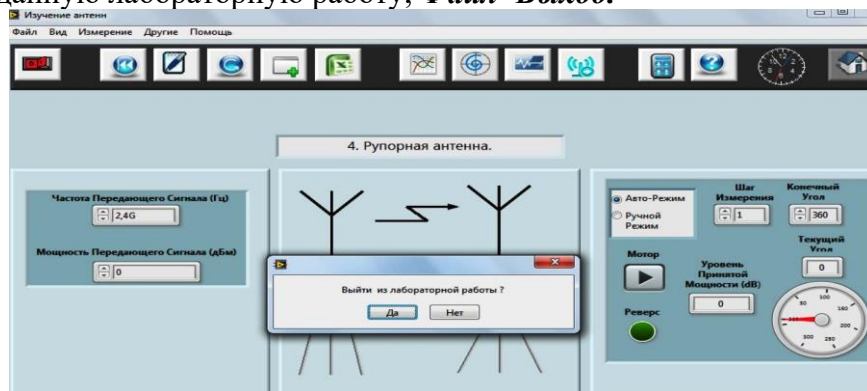
φ	$f_{H1}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H1}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$	σ
						$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	

2. Определить погрешность результатов измерений в обеих плоскостях по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cp})^2}. \text{ Оценить точность измерений.}$$

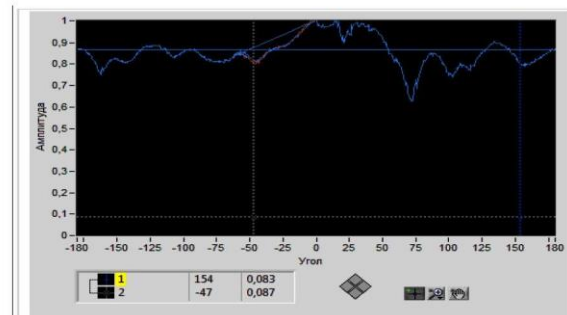
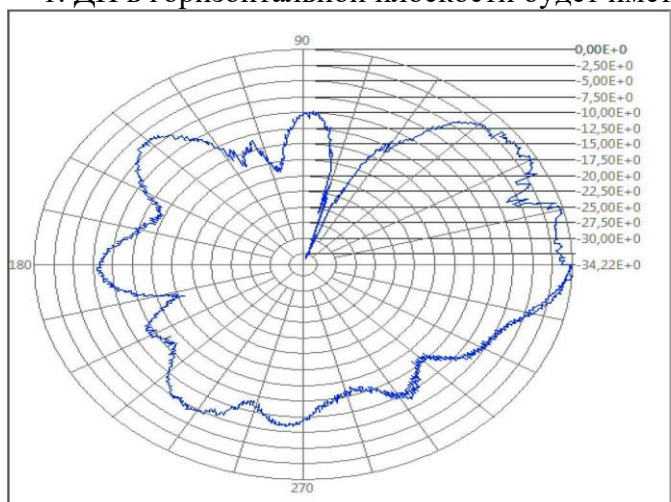
3. Построить ДН рупорной антенны в обеих плоскостях по усредненным значениям функций (см. табл. 5 и табл. 6).

4. Нажать кнопку **Стоп**.
5. Закончить данную лабораторную работу, **Файл>Выход**.

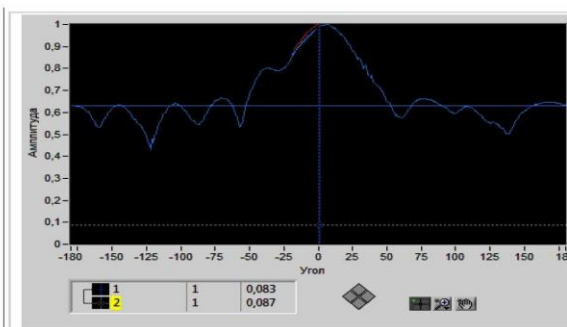
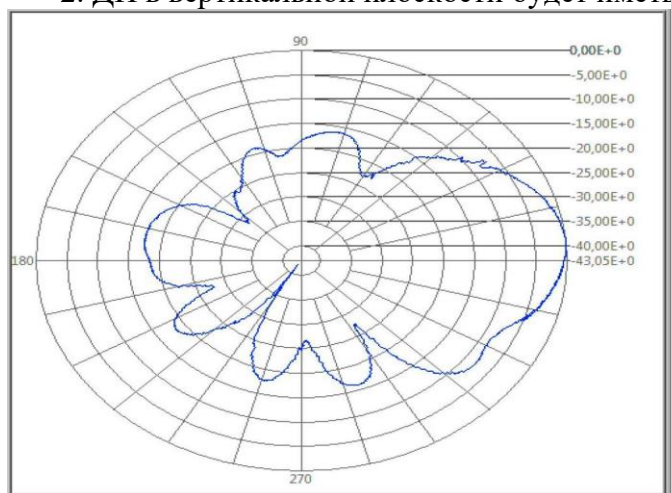


После выполнения опыта:

1. ДН в горизонтальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



2. ДН в вертикальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



Оборудование и материалы

1. Учебный класс с лабораторным стендом по исследованию антенн.

Указания по технике безопасности

1. К проведению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.
2. Включение лабораторных установок (компьютеров) осуществляется только с разрешения преподавателя.
3. При проведении лабораторной работы не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.

4. Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов лабораторных установок (компьютеров).

5. При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.

6. В аудитории запрещается пользоваться источниками открытого огня. При возгорании оборудования его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.

7. Стенд необходимо эксплуатировать в помещении, не подверженном воздействию факторов, повышающих опасность поражения электрическим током (повышенная влажность, отсутствие шины заземления, и т. д.).

8. Запрещается включение установки в сеть в атмосфере, содержащей горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости.

9. Корпус лабораторной установки должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Соблюдайте общие правила техники безопасности применимые к приборам, имеющим питание от сети переменного тока.

10. При возникновении непредвиденных лабораторной работой неисправностей, а также в случае появлении запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу с установкой, выключив ее из сети и обратиться к обслуживающему персоналу.

11. Для исключения возможности СВЧ облучения запрещается стоять в непосредственной близости от раскрыта передающей антенны.

12. Лабораторный стенд имеет низковольтное питание. Питание подается от модулей N1 PXI.

13. Запрещается подключать к рабочему стенду другие блоки питания или производить какие-либо внешние подключения.

14. По окончании работы с лабораторным оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание по выполнению лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал по учебному вопросу 1.
2. Выполнить практическое задание по учебным вопросам 2 и 3.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета по лабораторной работе:

1. Титульный лист (образец представлен в Приложении 1).
2. Цель занятия.
3. Основные теоретические положения, изучаемого материала. Выводы по ним, подчеркивающих суть, изучаемого вопроса.
4. Перечень практических заданий. По каждому заданию представляются расчеты, обоснования (результаты исследований) и выводы по ним.
5. Расчетные данные (табл. 2 - табл. 4) и графики расчетных ДН в обеих плоскостях, а также кривые закона распределения фаз в обеих плоскостях.
6. Результаты экспериментальных исследований и их обработку (табл. 5 и табл. 6) и графики ДН.

Все результаты должны быть оформлены в виде таблиц и графиков.

Примечание: Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть лабораторной работы. Основанием для снижения оценки являются:

- наличие ошибок, не искажающих сути, рассматриваемого вопроса;
- небрежный отчет.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- неправильные расчеты (ошибки допущенные при проведении исследований);
- не обоснованные (ошибочные) выводы;
- не полностью выполненная работа.

Контрольные вопросы:

1. Какова структура поля в E - плоскостном секториальном рупоре?
2. Какова структура поля в H - плоскостном секториальном рупоре?
3. Какими факторами определяется ширина ДН рупорной антенны?
4. Каков закон распределения амплитуды напряженности поля на излучающей поверхности рупора?
5. Каков закон распределения фазы напряженности поля на излучающей поверхности рупора?
6. Как влияет амплитудное распределение в раскрыве антенны на форму ее ДН?
7. Как влияют фазовые искажения на форму ДН?
8. В какой плоскости (E или H) для рупора с квадратным раскрывом ($a=b$) ДН шире и почему?
9. Из каких соображений выбираются размеры излучающей поверхности и длина рупора?
10. Почему допускаемые фазовые искажения для E и H плоскостных рупоров имеют разную величину?
11. Чем определяется КНД рупорной антенны?

Список рекомендованной литературы:

1. Велигоша А.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Антенно-фидерные устройства», стр. 85 – 103.
2. Велигоша А.В. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».
3. Техническое описание лабораторного стенда по исследованию антенн.

Лабораторная работа 9.

Исследование зеркальной параболической антенны

Цель работы:

1. Ознакомление с теоретическими основами и принципом работы зеркальной параболической антенны.
2. Формирование умений по расчету и построению диаграмм направленности (ДН) и определение основных параметров направленного действия зеркальных параболических антенн с использованием специального программного обеспечения.
3. Формирование навыка измерения ДН зеркальных параболических антенн

Учебные вопросы:

1. Устройство и принцип работы зеркальной параболической антенны.
2. Измерение ДН в плоскости E .
3. Измерение ДН в плоскости H .

1. Устройство и принцип работы зеркальной параболической антенны.

Зеркальные антенны применяются в различных диапазонах волн: от оптического до УКВ. Широкое использование зеркальных антенн объясняется простотой их конструкции, возможностью получения различного типа диаграмм направленности, высоким КПД, малой шумовой температурой, хорошими диапазонными свойствами и. т.д.

Существуют различные типы зеркальных антенн: одно-, двух- и многозеркальные, с главным зеркалом параболической, сферической и других форм.

Параболические зеркальные антенны могут выполняться в виде параболоида вращения, параболического цилиндра, ограниченного параллельными проводящими плоскостями или сегментно-параболических (рисунок 1 Типы зеркальных параболических антенн).

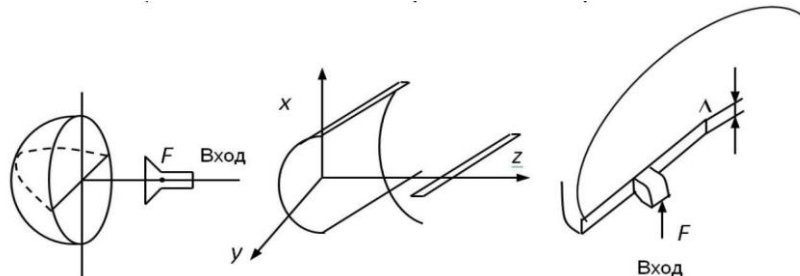


Рисунок 1. Типы зеркальных параболических антенн

Параболоид вращения возбуждается слабонаправленным облучателем (например, рупором или вибратором с рефлектором), помещенным в фокусе, и преобразовывает сферический фронт волны облучателя в плоский. Параболический цилиндр возбуждается линейной антенной, помещенной на фокальной линии, и преобразовывает цилиндрический фронт волны в плоский.

Парабола обладает свойством, при котором лучи, направленные из фокуса и отраженные от параболы, становятся параллельными оси параболы так, что длина пути от фокуса до параболы и затем до плоскости раскрыва одинакова для любого угла α .

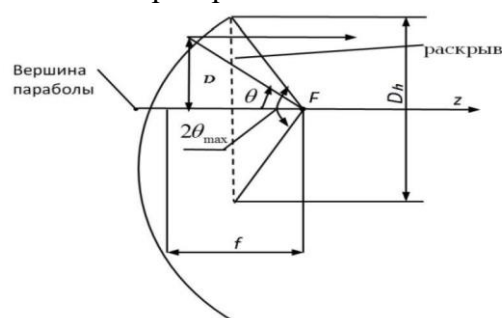


Рисунок 2. Вид зеркальной параболической антенны в раскрые

Таким образом, в раскрые параболы образуется синфазная поверхность, и излучение антенны оказывается остронаправленным.

В качестве облучателей применяются слабонаправленные антенны. Фазовый центр облучателя совмещается с точкой фокуса зеркала. При этом, облучатель должен создавать в пределах угла раскрыва зеркала сферическую или близкую к ней волну. Желательно, чтобы поперечные размеры облучателя были минимальными во избежание затенения раскрыва. ДН облучателя должна обеспечить требуемое амплитудное распределение в раскрые при малом переливании энергии через края зеркала, по возможности, обладать осевой симметрией и минимальным уровнем боковых и задних лепестков. Диапазонные свойства параболической антенны, в основном, зависят от облучателя. Облучатель и его тракт питания следует рассчитывать и конструировать таким образом, чтобы заданная мощность пропусклась без возможности пробоя диэлектрика.

Наряду с вибраторами и рупором применяются облучатели щелевые, спиральные, открытый конец волновода.

В данной лабораторной работе в качестве облучателя используется вибраторная антенна.

На ДН зеркальной антенны влияет также точность изготовления. При неточном исполнении антенны возникают фазовые ошибки. Обеспечение синфазности возбуждения раскрыва, обычно, считают достаточным при точности $\pm \frac{\pi}{8}$. При этом, потери коэффициента усиления антенны не превышают нескольких процентов.

Путем перемещения облучателя перпендикулярно фокальной оси можно изменить направление максимального излучения и управлять диаграммой направленности зеркальной антенны. Отклонение направления максимального излучения противоположно направлению смещения (рисунок 3 Диаграммы направленности зеркальной параболической антенны).

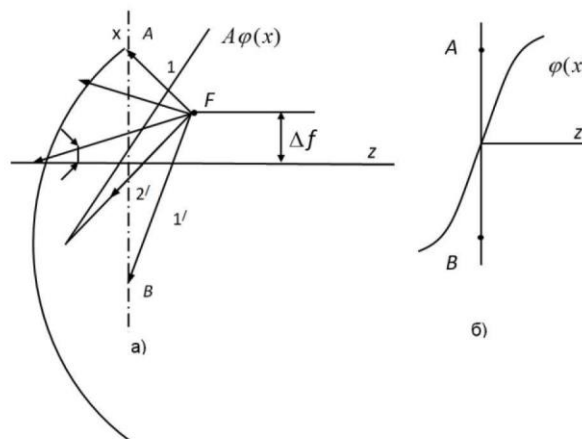


Рисунок 3. Диаграммы направленности зеркальной параболической антенны

Такое отклонение луча называется электромеханическим сканированием. Возможный угол электромеханического сканирования ограничен кубическими фазовыми ошибками в раскрые.

Главный лепесток при этом расширяется, становится несимметричным относительно своего максимума, уровень боковых лепестков со стороны, противоположной смещению ДН, резко возрастает (рисунок 3 Диаграммы направленности зеркальной параболической антенны, б). Возможность электромеханического сканирования больше у длиннофокусных антенн, но практически не превышает $(10^0 - 20^0)\theta_{0,5}$. Под большими углами ДН недопустимо искажается, а КНД - падает.

Расчетное задание

1. Вручную рассчитать ширину ДН параболической антенны по половинной мощности в Е и Н плоскостях по формулам

$$2\theta_{0.5}^E = 75^\circ \frac{\lambda}{D},$$

$$2\varphi_{0.5}^H = 70^\circ \frac{\lambda}{D}$$

где D - диаметр раскрыва антенны.

2. Рассчитать закон распределения фаз поля в раскрыве антенны при выносе облучателя вдоль оси на величину Δf по формуле:

$$\Delta\psi = k2\Delta f \left(1 - \frac{p_s^2}{[(2f)^2 + p_s^2]} \right)$$

где f - фокусное расстояние; p_s - текущая координата по z (изменяется от нуля до $p_s = \frac{D}{2}$ с

шагом $\Delta p_s = \frac{D}{10}$); $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число; Δf - смещение вдоль оси от зеркала ($\Delta f = 3$ см).

Данные для расчета берутся из табл.1 в соответствии с вариантом, номер которого соответствует порядковому номеру фамилии студента в журнале.

Таблица 1

Вариант				1	2	3	4	5	6	7	8
Длина волны λ , м		λ		0.32	0.05	0.1	0.15	0.2	0.22	0.25	0.2
Диаметр зеркала, D , м		D		5	1	12	6	30	62	100	2
Фокусное расстояние, f , м		f		0.5	0.3	4	3	5	10	20	1
Угол поворота ДН α , градус		α		5	5	5	5	5	5	5	5
9		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
λ	0.03	0.025	0.001	0.12	0.06	0.004	0.04	0.15	0.015	0.24	0.07
D	54	35	64	76	80	52	30	120	30	200	20
f	20	10	15	30	25	20	7	100	4	120	10
α	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5

3. Рассчитать смещение облучателя (Δ) при выносе облучателя поперек оси по формуле

$$\Delta = f \operatorname{tg} \alpha$$

где f - фокусное расстояние; α - угол поворота ДН при электромеханическом сканировании.

3. Рассчитать КУ антенны по формуле:

$$G = \frac{4\pi}{\lambda^2} S_{\text{эф.}} \eta$$

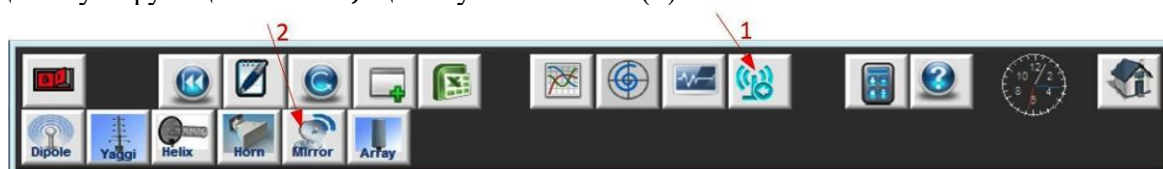
где $S_{\text{эф.}}$ - эффективная площадь антенны: $S_{\text{эф.}} = S_\chi$; η - коэффициент полезного действия ($\eta = 1$); χ - коэффициент использования поверхности ($\chi = 0,5$).

Занести полученные результаты в табл. 2.

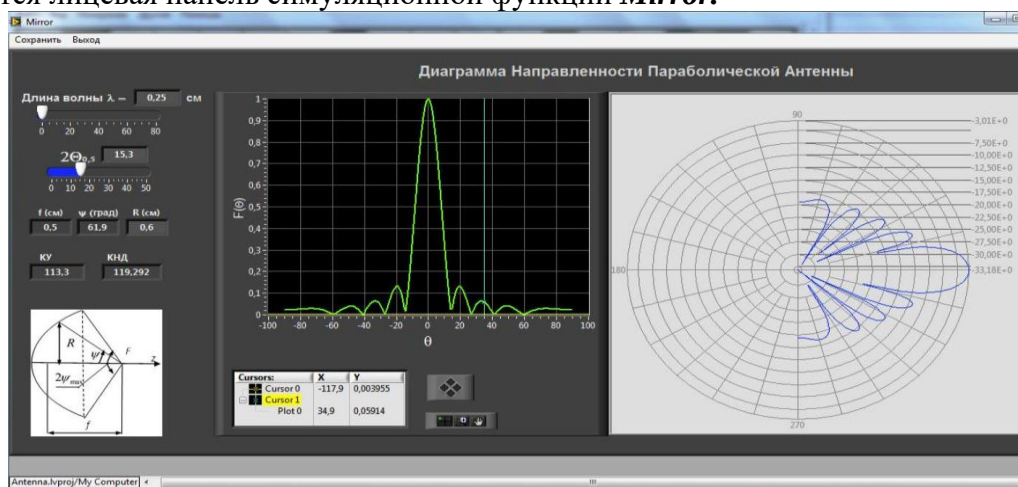
Таблица 2

Вариант номер	λ	D	f	α	$2\theta_{0,5}$, градус	$2\varphi_{0,5}$, градус	Δ	G

1. Для упрощения расчетов, в практикуме предлагается возможность компьютерного расчета. На панели управления щелкните по иконке (1), после чего запустите симуляционную функцию **Mirror**, щелкнув по иконке (2).



Открывается лицевая панель симуляционной функции **Mirror**.



2. Данные для расчета берутся из табл. 3 в соответствии с вариантом.

Таблица 3

Вариант				1	2	3	4	5	6	7	8
2θ _{0,5} , градус			2θ _{0,5}	15	25	24	18	10	35	15	40
Длина волны, λ (см)			λ	3,2	5	6	4,5	0,8	7,5	1,5	7
9		10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
2θ _{0,5}	7	8	45	47	50	50	22	5	4	7	30
λ	0,3	1	13	19	21	27	5,1	2	3,3	1,1	15

Данные вводить в лицевую панель программы, рисунок 4. После чего, на графике появится нормированная ДН в плоскости E в декартовой и полярной системах координат.

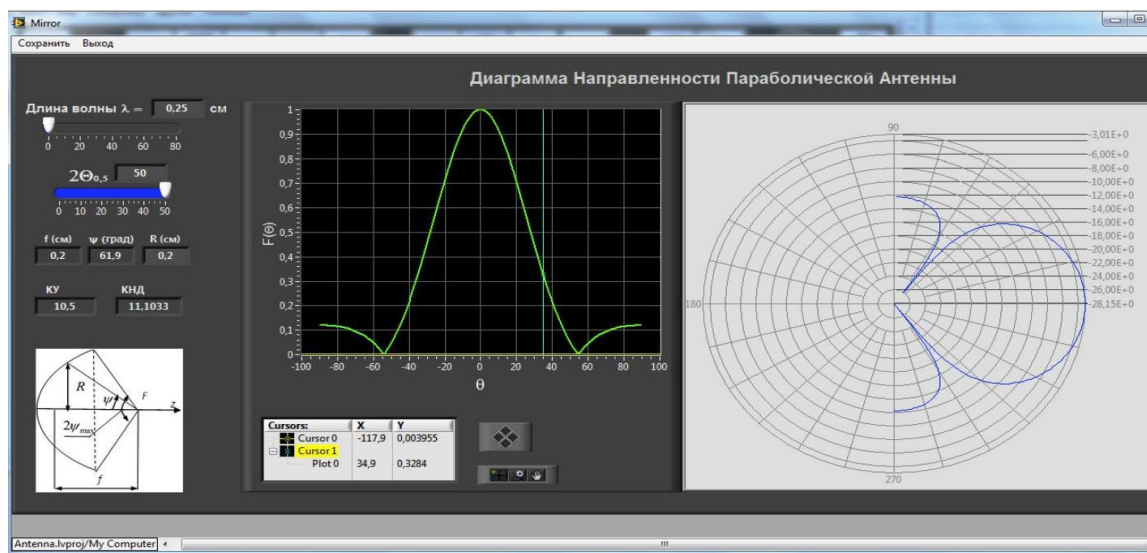


Рисунок 4. Лицевая панель программы

3. Определить, какими должны быть размеры зеркальной антенны для случая рассчитанной нормированной ДН. Определить также уровень первого бокового лепестка в относительных единицах и в децибелах. При необходимости, воспользоваться разъяснениями из раздела 9.2. Определить угловой сектор $2\theta_{0,5}$ ($2\varphi_{0,5}$) и уровня первого бокового лепестка диаграммы направленности, стр. 26 технического описания лабораторного стенда или материалами лабораторной работы 1.

4. Результаты внести в табл. 4.

Таблица 4

Вариант		R	f	Уровень первого бокового лепестка в относительных единицах	Уровень первого бокового лепестка в децибелах
λ					
$2\theta_{0,5}$					

5. Запомнить результаты всех расчетов и рисунки расчетных ДН. Выйти из симуляционной программы.

2. Измерение ДН в плоскости E

1. Установить штыревую антенну (10) (см. 4.1 Оборудование стенда, стр. 6) на треногу для вспомогательной антенны (см. 6.2 Сборка стенда, стр. 12).



2. Подсоединить ее к выходу RF OUT генератора N1 PX1e-5673E (см. 6.3 Сборка контрольно- измерительного оборудования, стр.13). Использовать коаксиальный кабель

(14) (см. 4.1 *Оборудование стенда*, стр. 6). Вспомогательная антенна должна быть в вертикальном положении.

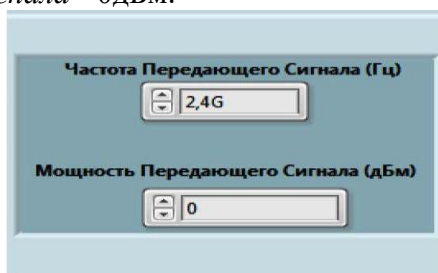
3. Установить зеркальную антенну на опорно-поворотное устройство для испытуемой антенны (см. 6.2 *Сборка стенда*, стр. 12). Важно проследить за положением облучателя параболического зеркала. Вибраторный облучатель испытуемой зеркальной антенны должен быть в вертикальном положении. Необходимо проследить, чтобы метки на облучателе и ответной части зеркала совпадали.



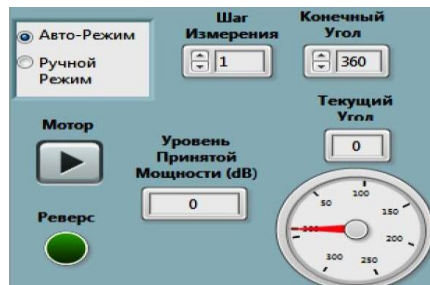
4. Подсоединить зеркальную антенну к анализатору. Использовать коаксиальный кабель (15) (см. 4.1. *Оборудование стенда*, стр. 6).

5. Разнести испытуемую и вспомогательную антенны на расстояние $r = 2$ м, причем, ориентировать антенны так, чтобы они были направлены друг на друга соосно. Важно также, чтобы точки подключения к фидерам облучателя испытуемой зеркальной антенны и вспомогательной антенны находились на одинаковой высоте.

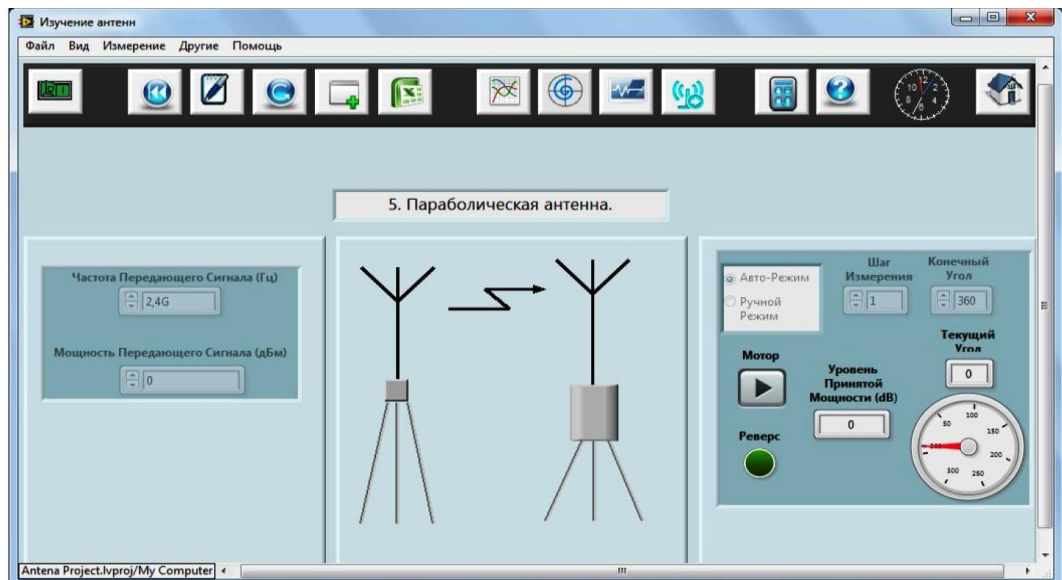
6. На лицевой панели в поле *Частота Передающего Сигнала* ввести $f = 2,4$ ГГц, а в поле *Мощность Передающего Сигнала* - 0 дБм.



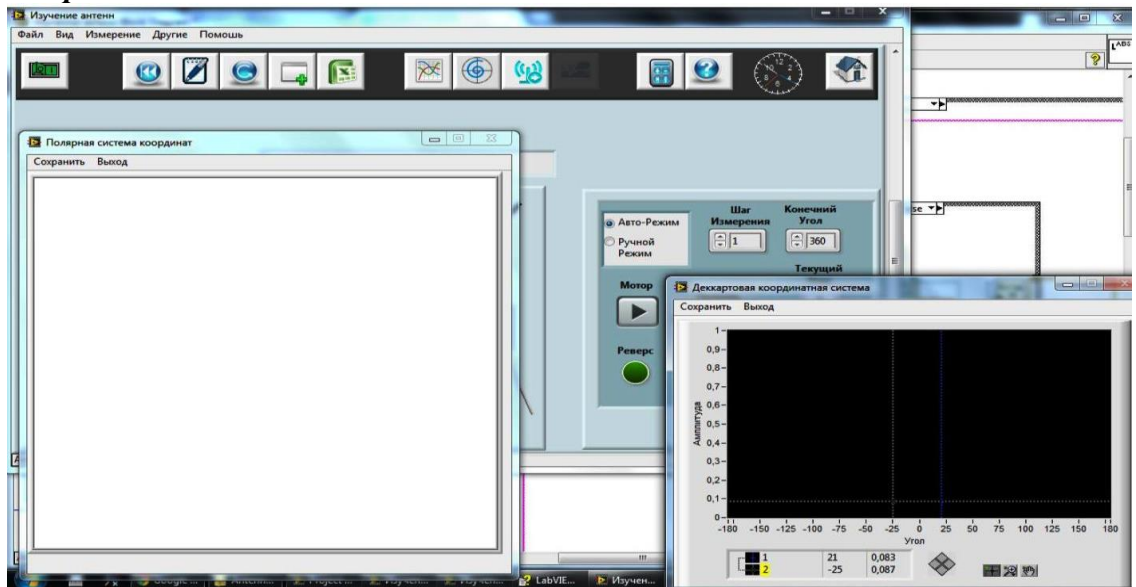
В поле *Шаг измерения* ввести необходимое значение (по умолчанию 1), соответствующее шагу измерения, в градусах, а в поле *Конечный Угол* ввести значение (по умолчанию 360) соответствующее конечному положению антенны. При достижении антенной конечного угла автоматически включается реверс, и антенна возвращается в начальное положение.



7. Запустить генератор и анализатор кнопкой *Старт* на лицевой панели. Генерируемый сигнал, через выход RF OUT генератора N1 PX1e-5673E, будет излучаться вспомогательной антенной, а испытуемая антенна будет принимать этот сигнал. Через вход RF IN анализатора N1 PX1e- 5663E измеряется уровень мощности, и значение в децибелах отображается на лицевой панели в поле *Уровень принятой мощности*.



8. На панели управления открыть поля декартовой и полярной системы координат, нажав кнопки   удобно разместить эти окна на экране так, чтобы не заслонять кнопку **Мотор**.



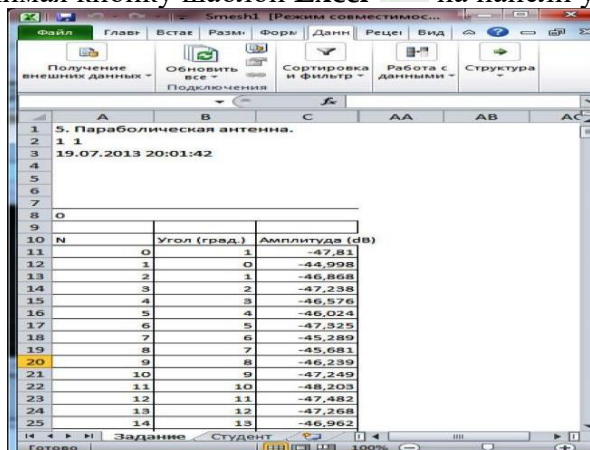
9. Проверить расположение двух антенн по пункту 5. Запустить движение опорно-поворотного устройства нажатием кнопки **Мотор** на лицевой панели. Антенна начнёт вращаться от 0° до значения, определяемого параметром *Конечный угол* и, соответственно зафиксированному в окне на лицевой панели шагу измерения (Шаг измерения), измеряются уровень принятой мощности в децибелах, нормированные результаты измерения графически записываются параллельно в двух окнах систем координат и в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel. Достигнув значения, определяемого параметром *Конечный угол*, ОПУ начинает реверсное вращение, в процессе которого снова измеряются значения мощности поля излучения. Кривые, полученные во время реверсного вращении, записываются в тех же графических окнах, что и при первом витке вращении испытуемой антенны (в декартовой системе координат - другим цветом).

10. Для обеспечения достоверности результатов, пункт 9 повторить еще раз. В начале каждого следующего измерения необходимо нажимать кнопку **Новый сеанс**  на панели управления.

11. Сохранить измеренные графики четырех нормированных ДН в регистрационной папке студента.

12. Экспериментальные результаты автоматически перенесутся в отдельный шаблонный файл в формате MS Excel, в виде двух таблиц, чередующих друг друга.

13. Открыть Excel, нажимая кнопку шаблон Excel  на панели управления.



The screenshot shows an Excel spreadsheet with the following data:

№	Угол (град)	Амплитуда (дБ)
1	0	-47,81
2	1	-44,998
3	2	-46,868
4	3	-47,238
5	4	-46,576
6	5	-46,024
7	6	-47,325
8	7	-45,289
9	8	-45,681
10	9	-46,239
11	10	-47,249
12	11	-48,203
13	12	-47,482
14	13	-47,268
15	14	-46,962

Обязательно сохранить полученные табличные данные измерений в плоскости.

3. Измерение ДН в плоскости Н

1. Подготовиться к измерениям ДН испытуемой зеркальной антенны в плоскости Н, повернув вспомогательную штативную антенну на 90° по отношению к вертикали.



2. Повторите вышеуказанные пункты 3-13.

3. Обязательно сохраните полученные табличные данные измерений в плоскости Н.

Измерение ДН с вынесенным из фокуса облучателем

1. Подготовиться к измерениям ДН испытуемой зеркальной антенны в случае вынесенного из фокуса облучателя, выдвинув несущую конструкцию облучателя на одно деление (1см), затем на два деления (2см) вперед, удаляя облучатель от поверхности зеркала.

2. Повторите п.п. 5-13 из **Измерение ДН в плоскости E** и п.п. 1-3 из **Измерение ДН в плоскости E** для каждого из положений облучателя.

3. Обязательно сохраните полученные табличные данные измерений с вынесенным облучателем.

Обработка результатов измерений

1. Просчитать усредненные результаты четырех измерений ДН во всех трех случаях измерений (облучатель находится в фокусе, облучатель вынесен из фокуса на одно деление, и облучатель вынесен на два деления), зафиксированных в шаблонном файле формата Excel. Записать полученные значения в том же файле, заполнив таблицы: табл. 5, табл. 6, табл. 7. Советуем внимательно проследить при заполнении таблиц за значениями функций и аргумента θ (при реверсном повороте углы изменяются в убывающем порядке).

Таблица 5

θ	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E1}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	σ

Таблица 6

φ	$f_{H1}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$	$f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H1}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H2}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H3}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	$f_{H4}(\theta)$ $f_{Hcp}(\theta)$	σ

Таблица 7

θ	$f_{E1}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$	$f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E1}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E2}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E3}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	$f_{E4}(\theta)$ $f_{Ecp}(\theta)$	σ

2. Определить погрешность результатов измерений в обеих плоскостях по формуле:

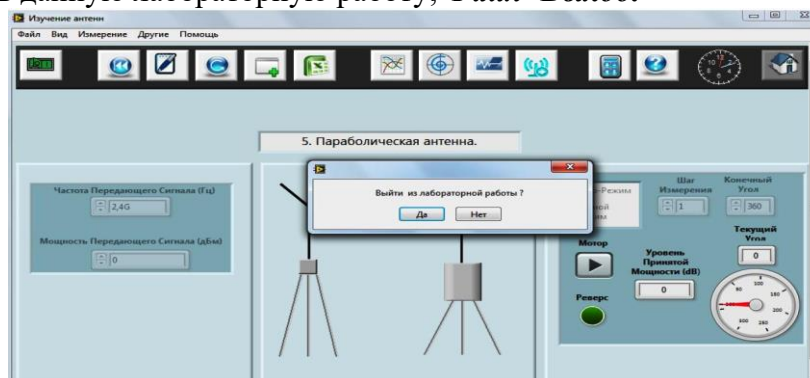
$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - f_{cp})^2}. \text{ Оценить точность измерений.}$$

3. Построить ДН антенны для всех случаев по усредненным значениям функций (табл. 5, табл. 6, табл. 7).

4. Сравнить усредненные результаты измерений в плоскости Е для случаев: облучатель находится в фокусе, облучатель вынесен из фокуса на одно деление и облучатель вынесен на два деления, сделать соответствующие выводы.

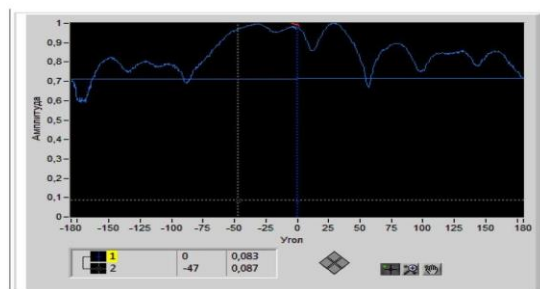
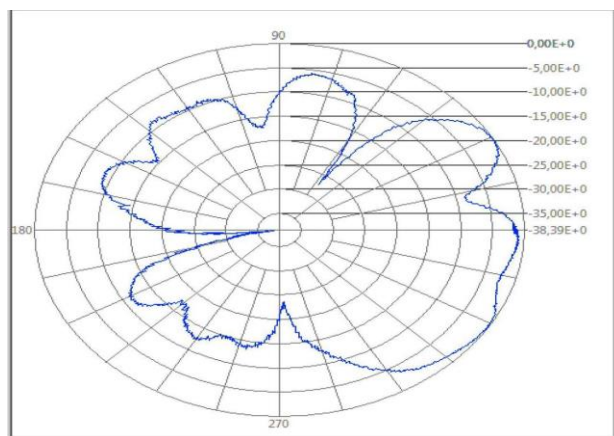
5. Нажать кнопку **Стоп**.

6. Закончить данную лабораторную работу, **Файл>Выход**.

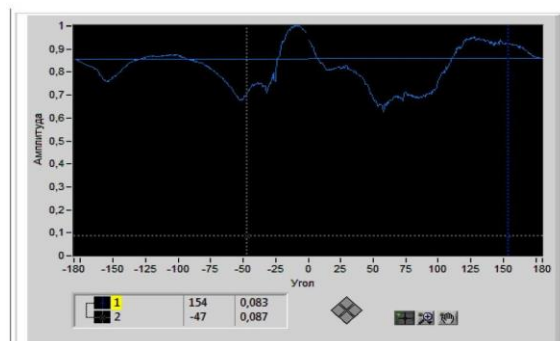
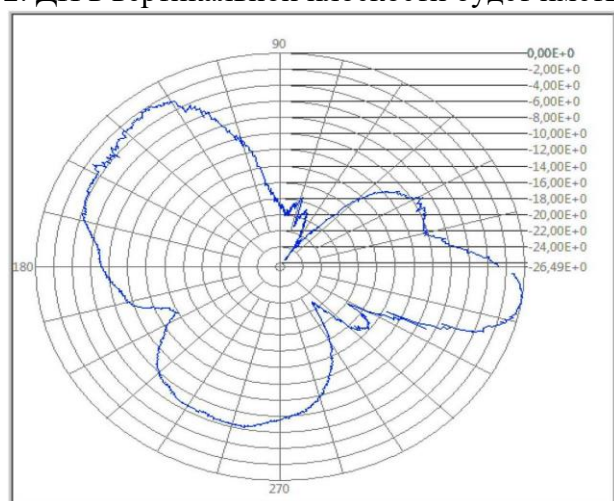


После выполнения опыта:

1. ДН в горизонтальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



2. ДН в вертикальной плоскости будет иметь примерно следующий вид:



Оборудование и материалы

1. Учебный класс с лабораторным стендом по исследованию антенн.

Указания по технике безопасности

1. К проведению лабораторных работ допускаются студенты, прошедшие требуемые инструктажи по охране труда.

2. Включение лабораторных установок (компьютеров) осуществляется только с разрешения преподавателя.

3. При проведении лабораторной работы не допускается использование приборов, оборудования, не предусмотренного планом проведения занятия.

4. Не разрешается при включенном оборудовании переключать кабели питания, соединительные кабели блоков и компонентов лабораторных установок (компьютеров).

5. При возникновении аварийных ситуаций необходимо немедленно отключить оборудование от питающей сети, сообщить об этом преподавателю и действовать по его указанию.

6. В аудитории запрещается пользоваться источниками открытого огня. При возгорании оборудования его необходимо немедленно обесточить, сообщить об этом преподавателю, принять меры по устранению возгорания и действовать по указанию преподавателя.

7. Стенд необходимо эксплуатировать в помещении, не подверженном воздействию факторов, повышающих опасность поражения электрическим током (повышенная влажность, отсутствие шины заземления, и т. д.).

8. Запрещается включение установки в сеть в атмосфере, содержащей горючие газы или легковоспламеняющиеся жидкости.

9. Корпус лабораторной установки должен быть заземлен. Сопротивление контура заземления не должно превышать 4 Ом. Соблюдайте общие правила техники безопасности применимые к приборам, имеющим питание от сети переменного тока.

10. При возникновении непредвиденных лабораторной работой неисправностей, а также в случае появлении запаха, свидетельствующего о возгорании электрических проводов или радиокомпонентов, следует незамедлительно прекратить работу с установкой, выключив ее из сети и обратиться к обслуживающему персоналу.

11. Для исключения возможности СВЧ облучения запрещается стоять в непосредственной близости от раскрыва передающей антенны.

12. Лабораторный стенд имеет низковольтное питание. Питание подается от модулей N1 PXI.

13. Запрещается подключать к рабочему стенду другие блоки питания или производить какие-либо внешние подключения.

14. По окончании работы с лабораторным оборудованием (компьютерами) его необходимо выключить установленным порядком.

Задание по выполнению лабораторной работы:

1. Изучить теоретический материал по учебному вопросу 1.
2. Выполнить практическое задание по учебным вопросам 2 и 3.
3. Ответить на контрольные вопросы.
4. Оформить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета по лабораторной работе:

1. Титульный лист (образец представлен в Приложении 1).
2. Цель занятия.
3. Основные теоретические положения, изучаемого материала. Выводы по ним, подчеркивающих суть, изучаемого вопроса.
4. Перечень практических заданий. По каждому заданию представляются расчеты, обоснования (результаты исследований) и выводы по ним.
5. Расчетные данные (табл. 2 - табл. 4) и кривую закона распределения фаз в раскрыве антенны.
6. Результаты экспериментальных исследований и их обработку (табл. 5 - табл. 7) и графики ДН.

Все результаты должны быть оформлены в виде таблиц и графиков.

Примечание: Максимальное количество баллов студент получает, если оформление отчета соответствует установленным требованиям, а отчет полностью раскрывает суть лабораторной работы. Основанием для снижения оценки являются:

- наличие ошибок, не искажающих сути, рассматриваемого вопроса;
- небрежный отчет.

Отчет может быть отправлен на доработку в следующих случаях:

- неправильные расчеты (ошибки допущенные при проведении исследований);
- не обоснованные (ошибочные) выводы;
- не полностью выполненная работа.

Контрольные вопросы

1. Что такое токовый и апертурный методы расчета ДН?
2. Как связана ширина ДН с размерами антенны?
3. Как связано распределение поля в раскрыве параболоида с ДН облучателя?
4. Изобразите распределение тока на поверхности короткофокусного и длиннофокусного параболоидов. Что такое перекрестная поляризация?
5. Какие существуют типы облучателей параболических зеркал?
6. Как влияет на характеристики излучения затенение раскрыва облучателем?
7. Как влияет на ДН смещение облучателя из фокуса вдоль оптической оси?
8. Как влияет на ДН смещение облучателя из фокуса перпендикулярно оптической оси?
9. Каков закон распределения фазы при смещениях облучателя поперек оптической оси?

10. Чем обусловлен уровень боковых лепестков зеркальной антенны и как можно его уменьшить?

11. Какова зависимость КИП от отношения $\frac{D/2}{f}$ (при неизменной ДН облучателя)?

12. Как можно управлять ДН зеркальной антенны?

13. Как влияет наличие реакции зеркала на технические характеристики облучателя?

14. Каковы основные способы устранения реакции зеркала на облучатель?

15. Как влияет на ДН точность изготовления зеркала?

16. Назовите разновидности зеркальных антенн.

17. Как методом сравнения можно измерить коэффициент усиления?

18. Что такое электромеханическое сканирование?

Список рекомендованной литературы:

1. Велигоша А.В. Лабораторный практикум по дисциплине «Антенно-фидерные устройства», стр. 103 – 120.

2. Велигоша А.В. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студента по дисциплине «Антенно-фидерные устройства».

3. Техническое описание лабораторного стенда по исследованию антенн.

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
по организации и проведению самостоятельной работы
по дисциплине «Антенно-фидерные устройства»
для студентов направления подготовки
11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи»
Направленность (профиль)
«Интеллектуальная обработка данных в инфокоммуникационных
системах и сетях»

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ

1. Цель и задачи освоения дисциплины (модуля)

Цель освоения дисциплины: формирование у студентов профессиональных компетенций в области проектирования и эксплуатации антенно-фидерных устройств.

Задачи освоения дисциплины:

Формирование системы знаний, умений и навыков для решения профессиональных задач:

1) в технологической деятельности по применению основных положений и законов теории антенн для реализации технологических процессов обмена информацией на расстоянии с учетом требований по обеспечению электромагнитной совместимости и безопасности.

2) в проектной деятельности по компьютерному моделированию и экспериментальному исследованию антенно-фидерных устройств для реализации современных тенденций развития инфокоммуникационных технологий и систем.

2. Место дисциплины (модуля) в структуре образовательной программы

Дисциплина «Антенно-фидерные устройства» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)». Ее освоение происходит в 5 семестр.

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесённых с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-1. Способен к развитию коммутационных подсистем и сетевых платформ, сетей передачи данных, транспортных сетей и сетей радиодоступа, спутниковых систем связи	ИД-1ПК-1 понимает и ориентируется в принципах построения и работы сетей связи, в том числе их составляющих подсистем, и протоколов сигнализации, стандартах качества передачи данных, голоса и видео, применяемых в сетях связи, в Законодательстве Российской Федерации в области связи.	Ориентируется в принципах построения и работы радиосетей связи, в том числе антенно-фидерных устройств.
	ИД-3ПК-1. анализирует статистику основных показателей эффективности радиосистем и систем передачи данных, разрабатывает мероприятия по их поддержанию на требуемом уровне, выполняет расчет пропускной способности сетей телекоммуникаций.	Анализирует статистику основных показателей эффективности антенно-фидерных устройств радиосистем и систем передачи данных.

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
ПК-3. Способен проводить расчеты по проекту сетей, сооружений и средств инфокоммуникаций в соответствии с техническим заданием с использованием как стандартных методов, приемов и средств автоматизации проектирования, так и самостоятельно создаваемых оригинальных программ	ИД-3пк-3 проводит расчеты параметров и характеристик сети и средств инфокоммуникаций, анализирует их качественные показатели на основе данных статистики и радиоизмерений, использует специализированное программное обеспечение для проектирования.	Проводит расчеты параметров и характеристик антенно-фидерных устройств, анализирует их качественные показатели на основе данных статистики и радиоизмерений, использует специализированное программное обеспечение для проектирования.
	ИД-4пк-3 выявляет и анализирует преимущества и недостатки вариантов проектных решений, оценивает риски, связанные с реализацией проекта.	Выявляет и анализирует преимущества и недостатки вариантов проектных решений, оценивает риски, связанные с реализацией проекта.
	ИД-5пк-3 осуществляет сбор исходных данных для проектирования сети и средств инфокоммуникаций, определения оптимальной конфигурации и топологии транспортной сети; вырабатывает технические решения по реализации системы связи (телекоммуникационной системы) и ее компонентов.	Осуществляет сбор исходных данных для проектирования антенно-фидерных устройств; вырабатывает технические решения по реализации антенно-фидерной системы и ее компонентов.
ПК-5. Способность осуществлять монтаж, настройку, регулировку	ИД-1пк-5 понимает действующие отраслевые нормативы, определяющие требования к	Понимает действующие отраслевые нормативы, определяющие

Код, формулировка компетенции	Код, формулировка индикатора	Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю), характеризующие этапы формирования компетенций, индикаторов
тестирование оборудования, отработку режимов работы, контроль проектных параметров работы и испытания оборудования связи, обеспечение соответствия технических параметров инфокоммуникационных систем и /или их составляющих, установленным эксплуатационно-техническим нормам	параметрам работы оборудования, каналов и трактов; методики проведения проверки технического состояния оборудования, трактов и каналов передачи.	требования к параметрам работы антенно-фидерных устройств; методики проведения проверки технического состояния антенно-фидерных устройств.
	ИД-2пк-5 соблюдает технологии выполнения работ по настройке, регулировке и испытаниям оборудования связи (телекоммуникаций), правила эксплуатации и методики применения измерительного и тестового оборудования.	Соблюдает правила эксплуатации и методики применения измерительного и тестового оборудования.
	ИД-3пк-5 выполняет настройки, регулировки и испытания оборудования связи (телекоммуникаций) с помощью технической и технологической документации; ведет техническую и технологическую документацию по установленным формам; осуществляет проверку качества работы оборудования и средств связи.	Осуществляет проверку качества работы антенно-фидерных устройств.
	ИД-4пк-5 проводит входной контроль оборудования, подготовку испытательного оборудования, измерительной аппаратуры, приспособлений; тестирование оборудования и отработку режимов работы оборудования.	Проводит входной контроль антенно-фидерных устройств, подготовку измерительной аппаратуры; тестирование антенно-фидерных устройств.
	ИД-5пк-5 выбирает и использует соответствующее тестовое и измерительное оборудование, использует программное обеспечение оборудования при его настройке.	Выбирает и использует соответствующее тестовое и измерительное оборудование, использует программное обеспечение оборудования при его настройке.

4. Объем учебной дисциплины (модуля) и формы контроля*

Объем занятий:	З.е.	Астр. ч.	Из них в форме практической подготовки
Всего:	4	108	
Из них аудиторных:		54	
Лекций		27	
Лабораторных работ		27	27
Практических занятий		-	
Самостоятельной работы		54	
Формы контроля:			
Зачет с оценкой в 5 семестре			

Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием количества часов и видов занятий

5.1. Тематический план дисциплины (модуля)

№	Раздел (тема) дисциплины и краткое содержание	Формируемые компетенции, индикаторы	очная форма			
			Контактная работа обучающихся с преподавателем, часов			Самостоятельная работа, часов
			Лекции	Практические занятия	Лабораторные работы	
5 семестр						
1	Распространение радиоволн над поверхностью земли с учетом влияния реальной неоднородной атмосферы. Механизмы распространения радиоволн. Распространение радиоволн в свободном пространстве. Распространение земной волны.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -			1.50
2	Распространение УКВ на наземных радиоприемниках. Множитель ослабления при поднятых антеннах для плоской земли. Множитель ослабления при поднятых антеннах для сферической земли. Особенности распространения радиоволн в городе.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5}	1.50 / -		3.00 / 3.00	4.50

	Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн при поднятых антеннах.	ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}				
3	Распространение тропосферных волн. Рефракция в тропосфере. Эффекты, сопровождающие распространение радиоволн в тропосфере. Множитель ослабления тропосферных волн. Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн на тропосферной радиолинии.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -		3.00 / 3.00	4.50
4	Распространение коротких волн. Эффекты, сопровождающие распространение радиоволн в ионосфере. Множитель ослабления ионосферных волн.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -			1.50
5	Распространение УКВ на спутниковых радиолиниях. Потери в тракте распространения на космических радиолиниях. Энергетические соотношения на космических радиолиниях. Особенности распространения средних и длинных волн.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -			1.50
6	Параметры, характеризующие направленные и поляризационные свойства передающих антенн. Роль и место АФУ в системах радиосвязи. Классификация антенн. Параметры и характеристики антенно-фидерных устройств систем радиосвязи. Исследование лабораторной установкой по исследованию антенн.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -		3.00 / 3.00	4.50
7	Теория симметричных вибраторов.	ПК-1	1.50 / -		3.00 / 3.00	4.50

	Антенна как открытый колебательный контур. Поле излучения и направленные свойства симметричного вибратора. Параметры симметричного вибратора. Исследование симметричных и несимметричных вибраторных антенн.	ИД-1_{ПК-1} ИД-3_{ПК-1} ПК-3 ИД-3_{ПК-3} ИД-4_{ПК-3} ИД-5_{ПК-3} ПК-5 ИД-1_{ПК-5} ИД-2_{ПК-5} ИД-3_{ПК-5} ИД-4_{ПК-5} ИД-5_{ПК-5}				
8	Основы теории приемных антенн. Фазированные антенные решетки. Схемы возбуждения фазированных антенных решеток.	ПК-1 ИД-1_{ПК-1} ИД-3_{ПК-1} ПК-3 ИД-3_{ПК-3} ИД-4_{ПК-3} ИД-5_{ПК-3} ПК-5 ИД-1_{ПК-5} ИД-2_{ПК-5} ИД-3_{ПК-5} ИД-4_{ПК-5} ИД-5_{ПК-5}	1.50 / -			1.50
9	Линейные антенные решетки. Общая характеристика методов получения узких диаграмм направленности. Линейные антенные решетки с равноамплитудным распределением. Непрерывный линейный излучатель.	ПК-1 ИД-1_{ПК-1} ИД-3_{ПК-1} ПК-3 ИД-3_{ПК-3} ИД-4_{ПК-3} ИД-5_{ПК-3} ПК-5 ИД-1_{ПК-5} ИД-2_{ПК-5} ИД-3_{ПК-5} ИД-4_{ПК-5} ИД-5_{ПК-5}	1.50 / -			1.50
10	Плоские антенные решетки и раскрыты. Плоские антенные решетки. Излучение возбужденных поверхностей. Исследование синфазной антенной решетки.	ПК-1 ИД-1_{ПК-1} ИД-3_{ПК-1} ПК-3 ИД-3_{ПК-3} ИД-4_{ПК-3} ИД-5_{ПК-3} ПК-5 ИД-1_{ПК-5} ИД-2_{ПК-5} ИД-3_{ПК-5} ИД-4_{ПК-5} ИД-5_{ПК-5}	1.50 / -		3.00 / 3.00	4.50
11	Фазированные антенные решетки. Антенные решетки с управляемой диаграммой направленности. Антенные решетки с обработкой сигнала.	ПК-1 ИД-1_{ПК-1} ИД-3_{ПК-1} ПК-3 ИД-3_{ПК-3}	1.50 / -			1.50

		ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}				
12	Антенные решетки из вибраторных антенн. Антенные решетки поперечного излучения. Антенные решетки продольного излучения. Исследование антенны волновой канал. Исследование спиральной антенны.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -		6.00 / 6.00	7.50
13	Апертурные антенны. Линзовые антенны. Зеркальные параболические антенны. Рупорные и рупорно-параболические антенны. Исследование рупорных антенн. Исследование зеркальной параболической антенны.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -		6.00 / 6.00	7.50
14	Антенны коротких волн. Методы расширения диапазонности вибраторных антенн. Антенны с логопериодической структурой.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -			1.50
15	Проволочные антенны с бегущей волной тока. Однопроводная антенна с бегущей волной тока и методы улучшения ее характеристик. Сложные антенны с бегущей волной тока.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5}	1.50 / -			1.50

		ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}				
16	Антенны длинных и средних волн. Вибраторные антенны в режиме удлинения. Методы улучшения характеристик вибраторных антенн в режиме удлинения.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -			1.50
17	Фидерные тракты. Согласующие и симметрирующие устройства. Антенные коммутаторы.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -			1.50
18	Основы технической эксплуатации антенно-фидерных устройств: измерение параметров, регулировка и испытания. Измерение характеристик антенно-фидерных устройств. Эксплуатация антенно-фидерных устройств.	ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	1.50 / -			1.50
	ИТОГО за 5 семестр		27.00 / -		27.00 / 27.00	54.00

1. ХАРАКТЕРИСТИКА САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

Все виды самостоятельной работы по дисциплине "Антенно-фидерные устройства" приведены в таблице «Технологическая карта самостоятельной работы». В основу самостоятельной работы студентов по дисциплине положено конспектирование лекций и рекомендуемых источников, подготовка к компьютерному тестированию знаний, оформление и подготовка к защите отчетов по лабораторным работам. По каждому виду самостоятельной работы предусмотрены определённые формы отчетности, которые студенты предъявляют преподавателю в ходе лабораторных занятий или в часы индивидуальных консультаций.

Таблица 1 - Технологическая карта самостоятельной работы.

Коды реализуемых компетенций, индикаторов	Вид деятельности студентов	Итоговый продукт самостоятельной работы	Средства и технологии оценки	Объем часов, в том числе		
				СРС	Контактная работа с преподавателем	Всего
5 семестр						
ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	Подготовка к лабораторной работе	Отчеты по лабораторным работам	Зачетное задание (контрольная точка), выполнение индивидуальных (групповых) заданий из лабораторных работ	25.65	1.35	27.00
ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	Самостоятельное изучение литературы	Конспект	Собеседование по вопросам для собеседования	14.25	0.75	15.00
ПК-1 ИД-1 _{ПК-1} ИД-3 _{ПК-1} ПК-3 ИД-3 _{ПК-3} ИД-4 _{ПК-3} ИД-5 _{ПК-3} ПК-5 ИД-1 _{ПК-5} ИД-2 _{ПК-5} ИД-3 _{ПК-5} ИД-4 _{ПК-5} ИД-5 _{ПК-5}	Самотестирование, подготовка к тестированию	Результаты контрольного компьютерного тестирования	Тестирование с помощью компьютерных тестовых заданий	11.40	0.60	12.00
Итого за семестр				51.30	2.70	54.00
Всего				51.30	2.70	54.00

Для успешного освоения дисциплины, необходимо выполнить указанные в таблице 1 виды самостоятельной работы, используя рекомендуемые источники информации.

Основная литература:

Велигоша А.В. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства: Курс лекций / А. В. Велигоша; Сев.-Кав. федер. ун-т. - Ставрополь: СКФУ, 2016. - 471 с., экземпляров неограниченно.

Лабораторный практикум по дисциплине «Антенно-фидерные устройства»: Направление подготовки 11.03.02 (210700.62) «Инфокоммуникационные технологии и системы связи». Профиль подготовки Сети связи и системы коммутации Квалификация выпускника - бакалавр / сост. А. В. Велигоша; ФГАОУ ВПО Сев.-Кав. федер. ун-т. - Ставрополь: СКФУ, 2014. - 115 с.: ил. - ISBN 978-5-86722-590-9, экземпляров неограниченно.

Жуков В.М. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства систем радиосвязи / В.М. Жуков; А.Н. Сысоев. - Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2013. - 81 с., экземпляров неограниченно.

Дополнительная литература:

Андрусевич Л.К. Антенно-фидерные устройства. Электронный ресурс: учебно-методическое пособие / А.Н. Телешева / А.А. Ищук / Л.К. Андрусевич. - Новосибирск: Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2013. - 53 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks, экземпляров неограниченно.

Буянов Ю.И. Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства. Электронный ресурс: учебное пособие / Г.Г. Гошин / Ю.И. Буянов. - Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2013. - 300 с. - Книга находится в базовой версии ЭБС IPRbooks, экземпляров неограниченно.

Бухтияров Д.А. Проектирование дипольных и директорных антенн с концевым питанием возбудителя Электронный ресурс / Бухтияров Д.А., Горбачев А.П.: учеб. пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2018. - 107 с. - Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия. - ISBN 978-5-7782-3475-8, экземпляров неограниченно.

Петрушанский М. Г. Основы конструирования антенных решеток Электронный ресурс / Петрушанский М.Г.: учебное пособие. - Оренбург: ОГУ, 2017. - 115 с. - ISBN 978-5-7410-1839-2, экземпляров неограниченно

Алексейцев С.А. Двухдиапазонные антенны дипольного вида с концевым питанием Электронный ресурс / Алексейцев С.А., Горбачев А.П.: учебное пособие. - Новосибирск: НГТУ, 2020. - 64 с. - Утверждено Редакционно-издательским советом университета в качестве учебного пособия. - ISBN 978-5-7782-4155-8, экземпляров неограниченно.

2. МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА

При самостоятельном изучении тем лекционных занятий и заданной литературы студентам рекомендуется:

- в день проведения занятий проработать, изученный на занятии учебный материал по конспекту. При этом необходимо выделить вопросы, на которые следует обратить большее внимание при дальнейшем изучении текущей темы. После проработки учебного материала необходимо ответить на, рекомендуемые контрольные вопросы;
- с целью качественного закрепления изученного материала в последующем следует более детально проработать учебный материал с использованием рекомендованной литературы. Студентам рекомендуется выделить вопросы, требующие более детальной проработки с помощью преподавателя;
- накануне проведения лекции студенту рекомендуется закрепить ранее изученный теоретический материал, подготовить вопросы, требующие уточнения у преподавателя.

Рекомендации по организации работы с литературой

Для овладения, закрепления и систематизации знаний студентам рекомендуется самостоятельная работа с рекомендованной литературой и конспектом лекций. При самостоятельной работе с рекомендованной литературой студентам рекомендуется проводить конспектирование учебного материала, изложенного в рекомендованных источниках.

Конспектирование источников проводится при детальном изучении темы, при этом студентам рекомендуется:

- дополнять конспект лекционного занятия путем его расширения по наиболее важным вопросам, рассмотренным на занятии. Конспектирование источников заключается в дополнении конспекта следующими положениями:
- основные определения и их физический смысл;
- основные математические соотношения с раскрытием их физического смысла;
- выводы по учебным вопросам, изучаемой темы занятий.

Контроль этого вида самостоятельной работы осуществляется на учебных занятиях путем проверки преподавателем конспекта лекций и собеседования.

При конспектировании источников студенты должны исходить из рационального объема, конспектируемого материала. Конспект должен быть кратким и понятным при его использовании после изучения текущей темы.

При конспектировании источников рекомендуется отдельные рисунки, наиболее важные их фрагменты, наиболее важные формулы выделять цветом. При ведении конспекта на занятии рекомендуется заполнять две трети страницы листа тетради по вертикали, а свободную часть использовать при дополнении конспекта, по изучаемому вопросу.

Для успешного освоения дисциплины, необходимо самостоятельно детально изучить представленные темы по рекомендуемым источникам информации.

Конспектирование источников оценивается удовлетворительно и неудовлетворительно. Работа по конспектированию источников оценивается удовлетворительно если:

- конспект имеет достаточный объем детализации по, изучаемой теме, обеспечивающий заданный уровень освоения теоретического материала дисциплины;
- конспект оформлен аккуратно, изучаемый материал изложен последовательно в соответствии с порядком изучения дисциплины, содержит обобщающие выводы по каждой теме.

Работа по конспектированию источников оценивается неудовлетворительно, если не выполнены требования на оценку удовлетворительно.

3. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Методические указания при подготовке к лабораторной работе

Подготовку к лабораторной работе рекомендуется проводить в следующей последовательности:

- уяснить тему и цель, предстоящей лабораторной работы;
- изучить теоретический материал в соответствии с темой лабораторной работы (рекомендуется использовать рекомендованную литературу, конспект лекций, учебное пособие (практикум по лабораторным работам));
- ознакомиться с оборудованием и материалами, используемыми на лабораторной работе (при использовании специализированного оборудования или программного обеспечения необходимо изучить порядок и правила его использования).

Методические указания при выполнении лабораторной работы

При выполнении лабораторной работы студенты должны строго соблюдать, установленные требования безопасности.

При выполнении лабораторной работы студентам рекомендуется:

- уяснить цель, выполняемых заданий и способы их решения;

- задания, указанные в лабораторной работе выполнять в той последовательности, в которой они указаны в лабораторном практикуме;
- при выполнении практического задания и изучении теоретического материала использовать помощь преподавателя;
- оформить отчет по лабораторной работе;
- ответить на контрольные вопросы.

Методические указания при подготовке к защите лабораторной работы

При подготовке к защите лабораторной работы студентам рекомендуется:

- подготовить отчет по лабораторной работе;
- подготовить обоснование, сделанных выводов;
- закрепить знания теоретического материала по теме лабораторной работы (рекомендуется использовать контрольные вопросы);
- знать порядок проведения расчетов (проводимых исследований);
- уметь показать и пояснить порядок исследований при использовании специализированного оборудования или программного обеспечения.

Защита лабораторной работы осуществляется путем собеседования студента с преподавателем. При собеседовании студент представляет на проверку отчет по лабораторной работе. Собеседование со студентом, претендующим на оценку «отлично» проводится по вопросам и практическим заданиям повышенного уровня обучения. Собеседование со студентом, не претендующим на оценку «отлично» проводится по вопросам и практическим заданиям базового уровня обучения.

4. ВОПРОСЫ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОМУ ИЗУЧЕНИЮ ЛИТЕРАТУРЫ

Базовый уровень

Тема 1. Распространение радиоволн над поверхностью земли с учетом влияния реальной неоднородной атмосферы.

1. Механизмы распространения радиоволн.
2. Распространение радиоволн в свободном пространстве.

Тема 2. Распространение УКВ на наземных радиолиниях.

3. Множитель ослабления при поднятых антеннах для плоской земли.
4. Особенности распространения радиоволн в городе.

Тема 3. Распространение тропосферных волн.

5. Рефракция в тропосфере.
6. Эффекты, сопровождающие распространение радиоволн в тропосфере.

Тема 4. Распространение коротких волн.

7. Эффекты, сопровождающие распространение радиоволн в ионосфере.

Тема 5. Распространение УКВ на спутниковых радиолиниях.

8. Потери в тракте распространения на космических радиолиниях.
9. Особенности распространения средних и длинных волн.

Тема 6. Параметры, характеризующие направленные и поляризационные свойства передающих антенн.

10. Роль и место АФУ в системах радиосвязи.
11. Классификация антенн.

Тема 7. Теория симметричных вибраторов.

12. Антенна как открытый колебательный контур.
13. Параметры симметричного вибратора

Тема 8. Основы теории приемных антенн.

14. Фазированные антенные решетки.
- Тема 9. Линейные антенные решетки.
15. Общая характеристика методов получения узких диаграмм направленности.

16. Непрерывный линейный излучатель.
Тема 10. Плоские антенные решетки и раскрывы.
17. Плоские антенные решетки.
Тема 11. Фазированные антенные решетки.
18. Антенные решетки с управляемой диаграммой направленности.
Тема 12. Антенные решетки из вибраторных антенн.
19. Антенные решетки поперечного излучения.
Тема 13. Апертурные антенны.
20. Линзовые антенны.
21. Рупорные и рупорно-параболические антенны.
Тема 14. Антенны коротких волн.
22. Антенны с логопериодической структурой.
Тема 15. Проволочные антенны с бегущей волной тока.
23. Однопроводная антенна с бегущей волной тока и методы улучшения ее характеристик.
Тема 16. Антенны длинных и средних волн.
24. Вибраторные антенны в режиме удлинения.
Тема 17. Фидерные тракты.
25. Согласующие и симметрирующие устройства.
Тема 18. Основы технической эксплуатации антенно-фидерных устройств:
измерение параметров, регулировка и испытания.
26. Измерение характеристик антенно-фидерных устройств.
Повышенный уровень:
Тема 1. Распространение радиоволн над поверхностью земли с учетом влияния реальной неоднородной атмосферы.
27. Распространение земной волны.
Тема 2. Распространение УКВ на наземных радиоперелиниях.
28. Множитель ослабления при поднятых антеннах для сферической земли.
Тема 3. Распространение тропосферных волн.
29. Множитель ослабления тропосферных волн.
Тема 4. Распространение коротких волн.
30. Множитель ослабления ионосферных волн.
Тема 5. Распространение УКВ на спутниковых радиоперелиниях.
31. Энергетические соотношения на космических радиоперелиниях.
Тема 6. Параметры, характеризующие направленные и поляризационные свойства передающих антенн.
32. Параметры и характеристики антенно-фидерных устройств систем радиосвязи.
Тема 7. Теория симметричных вибраторов.
33. Поле излучения и направленные свойства симметричного вибратора.
Тема 8. Основы теории приемных антенн.
34. Схемы возбуждения фазированных антенных решеток.
Тема 9. Линейные антенные решетки.
35. Линейные антенные решетки с равноамплитудным распределением.
Тема 10. Плоские антенные решетки и раскрывы.
36. Излучение возбужденных поверхностей.
Тема 11. Фазированные антенные решетки.
37. Антенные решетки с обработкой сигнала.
Тема 12. Антенные решетки из вибраторных антенн.
38. Антенные решетки продольного излучения.
Тема 13. Апертурные антенны.
39. Зеркальные параболические антенны.
Тема 14. Антенны коротких волн.

40. 1. Методы расширения диапазонности вибраторных антенн.
Тема 15. Проволочные антенны с бегущей волной тока.
41. Сложные антенны с бегущей волной тока.
Тема 16. Антенны длинных и средних волн.
42. Методы улучшения характеристик вибраторных антенн в режиме удлинения.
Тема 17. Фидерные тракты.
43. Антенные коммутаторы.
Тема 18. Основы технической эксплуатации антенно-фидерных устройств:
измерение параметров, регулировка и испытания.
44. Эксплуатация антенно-фидерных устройств.

Критерии оценивания компетенций:

Оценка «отлично» выставляется студенту, если студент дал полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, при этом показана совокупность осознанных знаний по теме дисциплины, доказательно раскрыты основные положения вопроса; в ответе прослеживается четкая структура, логическая последовательность, отражающая сущность раскрываемых понятий. Ответ изложен литературным языком с использованием технической терминологии. Могут быть допущены недочеты в определении понятий, исправленные студентом самостоятельно в процессе ответа. Ситуационная задача по теме решена правильно.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если студент дал полный, развернутый ответ на поставленный вопрос, при этом показано умение выделить существенные и несущественные признаки, причинно-следственные связи. Ответ четко структурирован, логичен, изложен литературным языком с использованием технической терминологии. Могут быть допущены 2-3 неточности или незначительные ошибки, исправленные студентом с помощью преподавателя. Ситуационная задача по теме решена правильно, но при ее решении допущено не более одной ошибки.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если студент дал недостаточно полный и недостаточно развернутый ответ. Логика и последовательность изложения имеют нарушения. Допущены ошибки в раскрытии понятий, употреблении терминов. Студент не способен самостоятельно выделить существенные и несущественные признаки и причинно-следственные связи. В ответе отсутствуют выводы. Умение раскрыть значение обобщенных знаний не показано. Речевое оформление требует поправок, коррекции. Ситуационная задача по теме решена правильно, но при ее решении допущено не более двух ошибок.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если ответ представляет собой разрозненные знания с существенными ошибками по вопросу. Присутствуют фрагментарность, нелогичность изложения. Студент не осознает связь обсуждаемого вопроса с другими вопросами темы. Отсутствуют выводы, конкретизация и доказательность изложения. Речь неграмотная, терминология не используется. Дополнительные и уточняющие вопросы преподавателя не приводят к коррекции ответа студента, или ответ на вопрос полностью отсутствует или студент отказался от ответа. Ситуационная задача по теме решена неправильно.

Описание шкалы оценивания

Оценка за ответы на вопросы в ходе собеседования определяется в соответствии с таблицей.

Оценка	Оценка за теоретический вопрос базового уровня	Оценка за теоретический вопрос повышенного уровня	Примечание
отлично	Отлично (хорошо)	Отлично	Оценка хорошо допускается только по вопросу базового уровня

хорошо	Хорошо (удовлетворительно)	Хорошо	Оценка удовлетворительно допускается только по вопросу базового уровня
удовлетворительно	Удовлетворительно	Удовлетворительно	
неудовлетворительно	По одному или двум вопросам получена оценка неудовлетворительно		

Согласно рейтинговой системы текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставляемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя собеседование по двум теоретическим вопросам из числа перечисленных. Один вопрос относится к базовому уровню, а второй – к повышенному. В ходе собеседования студент имеет право пользоваться собственным конспектом.

Предлагаемые студенту вопросы позволяют проверить профессиональные компетенции ПК-1, ПК-3, ПК-5. Принципиальные отличия заданий базового уровня от повышенного заключаются в сложности вопросов по уровню обученности «понимание».

Для подготовки к данному оценочному мероприятию необходимо 9 часов семестре (*примерно 1 час на каждую тему*). Студент должен подготовить письменные ответы на перечисленные теоретические вопросы в виде конспекта учебного материала и на их основании подготовиться к указанным в методических материалах вопросам для обсуждения.

При проверке задания, оцениваются активное участие в работе; уверенное владение материалом; умение четко и логично излагать свои мысли; умение творчески подходить к решению основных вопросов темы; самостоятельность мышления, полное соответствие конспекта установленным требованиям; самостоятельная устная речь, полностью раскрывающая суть сути проблематики собеседования.

Оценочный лист

№ п/п	Фамилия, имя студента.	Вид работы						Итог
		Работа с дополните льными источника ми информаци и	Ответы на промежу точные вопросы	Логика и научнос ть изложе ния	Формулир ование выводов и доказатель ств	Выступл ение с результат ами работы	Участие в дискуссии , умение вести диалог	
1								
2								
...								

5. ВОПРОСЫ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ ПРИ ПРОВЕРКЕ ГОТОВНОСТИ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ

Базовый уровень

Лабораторная работа 1. Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн при поднятых антеннах.

- 1) Требования безопасности при выполнении лабораторной работы.
- 2) Порядок моделирования и исследования в программе «Mathcad» характеристик плоской электромагнитной волны и среды ее распространения.
- 3) Порядок моделирования и исследования в программе «Mathcad» пространственно-временного распределения векторов напряженностей плоской электромагнитной волны.
- 4) Расчет энергетических параметров радиоволны в точке приема.
- 5) Лабораторная работа 2. Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн на тропосферной радиолинии.
- 6) Требования безопасности при выполнении лабораторной работы.
- 7) Порядок моделирования и исследования в программе «Mathcad» характеристик плоской электромагнитной волны на тропосферной радиолинии.
- 8) Порядок моделирования и исследования в программе «Mathcad» процесса распространения радиоволн на тропосферной радиолинии.
- 9) Расчет энергетических параметров радиоволн на тропосферной радиолинии.
- 10) Лабораторная работа 3. Исследование лабораторной установкой по исследованию антенн.
- 11) Требования безопасности при выполнении лабораторной работы и эксплуатации антенно-фидерных устройств.
- 12) Расчет характеристик антенн в программе «Mathcad».
- 13) Порядок моделирования антенн с использованием специализированного программного обеспечения.
- 14) Методика проведения экспериментальных испытаний антенн.
- 15) Лабораторная работа 4. Исследование симметричных и несимметричных вибраторных антенн.
- 16) Требования безопасности при выполнении лабораторной работы и эксплуатации антенно-фидерных устройств.
- 17) Расчет направленных характеристик и энергетических параметров вибраторных антенн в программе «Mathcad».
- 18) Порядок моделирования вибраторных антенн с использованием специализированного программного обеспечения MMANA.
- 19) Методика проведения экспериментальных испытаний вибраторных антенн.
- 20) Порядок технической эксплуатации вибраторных антенн.
- 21) Порядок настройки и регулировки вибраторных антенн.
- 22) Лабораторная работа 5. Исследование синфазной антенной решетки.
- 23) Требования безопасности при выполнении лабораторной работы и эксплуатации антенно-фидерных устройств.
- 24) Расчет направленных характеристик и энергетических параметров антенных решеток в программе «Mathcad».
- 25) Порядок моделирования антенных решеток с использованием специализированного программного обеспечения MMANA.
- 26) Методика проведения экспериментальных испытаний антенных решеток.
- 27) Порядок технической эксплуатации антенных решеток.
- 28) Порядок настройки и регулировки антенных решеток.

- 29) Лабораторная работа 6. Исследование антенны волновой канал.
- 30) Требования безопасности при выполнении лабораторной работы и эксплуатации антенно-фидерных устройств.
- 31) Расчет направленных характеристик и энергетических параметров антенны Волновой канал в программе «Mathcad».
- 32) Порядок моделирования антенны Волновой канал с использованием специализированного программного обеспечения MMANA.
- 33) Методика проведения экспериментальных испытаний антенны Волновой канал.
- 34) Порядок технической эксплуатации антенны Волновой канал.
- 35) Порядок настройки и регулировки антенны Волновой канал.
- 36) Лабораторная работа 7. Исследование спиральной антенны.
- 37) Требования безопасности при выполнении лабораторной работы и эксплуатации антенно-фидерных устройств.
- 38) Расчет направленных характеристик и энергетических параметров спиральной антенны в программе «Mathcad».
- 39) Порядок моделирования спиральной антенны с использованием специализированного программного обеспечения MMANA.
- 40) Методика проведения экспериментальных испытаний спиральной антенны.
- 41) Порядок технической эксплуатации спиральной антенны.
- 42) Порядок настройки и регулировки спиральной антенны.
- 43) Лабораторная работа 8. Исследование рупорных антенн.
- 44) Требования безопасности при выполнении лабораторной работы и эксплуатации антенно-фидерных устройств.
- 45) Расчет направленных характеристик и энергетических параметров рупорной антенны в программе «Mathcad».
- 46) Порядок моделирования рупорной антенны с использованием специализированного программного обеспечения SABOR.
- 47) Методика проведения экспериментальных испытаний рупорной антенны.
- 48) Порядок технической эксплуатации рупорной антенны.
- 49) Порядок настройки и регулировки рупорной антенны.
- 50) Лабораторная работа 9. Исследование зеркальной параболической антенны.
- 51) Требования безопасности при выполнении лабораторной работы и эксплуатации антенно-фидерных устройств.
- 52) Расчет направленных характеристик и энергетических параметров зеркальной антенны в программе «Mathcad».
- 53) Порядок моделирования зеркальной антенны с использованием специализированного программного обеспечения SABOR.
- 54) Методика проведения экспериментальных испытаний зеркальной антенны.
- 55) Порядок технической эксплуатации зеркальной антенны.
- 56) Порядок настройки и регулировки зеркальной антенны.

Повышенный уровень

Лабораторная работа 1. Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн при поднятых антеннах.

57) Смоделировать в программе «Mathcad» плоскую электромагнитную волну в заданной среде распространения и провести исследование ее характеристик.

58) Смоделировать в программе «Mathcad» и провести исследование пространственно-временного распределения векторов напряженностей плоской электромагнитной волны.

Лабораторная работа 2. Моделирование и исследование процесса распространения радиоволн на тропосферной радиолинии.

59) Смоделировать в программе «Mathcad» плоскую электромагнитную на тропосферной радиолинии и провести исследование ее характеристик.

60) Смоделировать в программе «Mathcad» и провести исследование распространения радиоволн на тропосферной радиолинии.

Лабораторная работа 4. Исследование симметричных и несимметричных вибраторных антенн.

61) Смоделировать в программе «Mathcad» и проанализировать симметричный вибратор заданной геометрии в горизонтальной плоскости для излучения (приема) радиосигналов заданной частоты.

62) Смоделировать и проанализировать с помощью программы «Mathcad» несимметричный вибратор заданной геометрии в вертикальной плоскости для излучения (приема) радиосигналов заданной частоты.

Лабораторная работа 5. Исследование синфазной антенной решетки.

63) Смоделировать в программе «Mathcad» линейную эквидистантную антенну решетку заданной геометрии в горизонтальной плоскости для излучения (приема) радиосигналов заданной частоты.

64) Провести в программе «Mathcad» анализ линейной эквидистантной антенной решетки заданной геометрии в горизонтальной плоскости для излучения (приема) радиосигналов заданной частоты.

Лабораторная работа 6. Исследование антенны волновой канал.

65) Рассчитать в программе «Mathcad» геометрию заданной антенны волновой канал.

66) Смоделировать в программе «Mathcad» заданную антенну волновой канал.

67) Смоделировать в программе «MMANA» заданную антенну волновой канал.

Лабораторная работа 7. Исследование спиральной антенны.

68) Смоделировать в программе «Mathcad» спиральную антенну осевого излучения.

69) Смоделировать в программе «MMANA» спиральную антенну наклонного излучения.

Лабораторная работа 8. Исследование рупорных антенн.

70) Смоделировать в программе «Mathcad» прямоугольный волновод.

71) Смоделировать в программе SABOR прямоугольную рупорную антенну.

72) Смоделировать в программе SABOR круглую рупорную антенну.

Лабораторная работа 9. Исследование зеркальной параболической антенны.

73) Смоделировать в программе SABOR параболическую зеркальную антенну.

74) Смоделировать в программе SABOR гиперболическую зеркальную антенну.

Критерии оценивания:

Критерии оценивания компетенций:

Оценка «отлично» выставляется, если студент продемонстрировал высокое умение применять полученные знания на практике через выполнение конкретного задания повышенного уровня, свободно без затруднений справился с поставленной задачей, показав владение разносторонними приемами и навыками ее выполнения, не допустил ошибок и неточностей.

Оценка «хорошо» выставляется, если студент продемонстрировал умение применять полученные знания на практике через решение конкретного задания повышенного уровня, справился с поставленной задачей, показав владение необходимыми приемами и навыками ее выполнения, при этом допустил не более одной ошибки, исправленной после указания преподавателя.

Оценка «удовлетворительно» выставляется, если студент продемонстрировал посредственное умение применять полученные знания на практике через решение конкретного задания повышенного уровня, с трудом справился с поставленной задачей, при этом допустил не более двух ошибок, исправленных после указания преподавателя, либо успешно выполнил задание базового уровня.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется, если студент не продемонстрировал умение применять полученные знания на практике через решение конкретного задания

базового уровня, не справился с поставленной задачей или допустил при ее выполнении серьезные ошибки.

Описание шкалы оценивания

Текущее контрольное мероприятие считается сданным, если студент получил за него не менее 60% от установленного для этого контроля максимального балла. Рейтинговый балл, выставяемый студенту за текущее контрольное мероприятие, сданное студентом в установленные графиком контрольных мероприятий сроки, определяется следующим образом:

Уровень выполнения контрольного задания	Рейтинговый балл (в % от максимального балла за контрольное задание)
Отличный	100
Хороший	80
Удовлетворительный	60
Неудовлетворительный	0

Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя:

— представление оформленного отчета по лабораторной работе с выполненными разноуровневыми заданиями;

— защиту путем выполнения указанного преподавателем разноуровневого задания, причем уровень выполняемого задания определяется студентом самостоятельно.

Предлагаемые студенту задания позволяют проверить профессиональные компетенции ПК-1, ПК-3, ПК-5

Для подготовки к данному оценочному мероприятию студенту отводится в семестре 27 часов в рамках его самостоятельной работы.

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования отчетом по лабораторной работе.

Оценочный лист

№ п/п	Фамилия, имя студента.	Вид работы						Итог
		Владение методикой выполнения задания	Правильность схематического моделирования	Работоспособность модели	Точность измерений и правильность расчетов параметров и характеристик	Правильность оформления схем, графиков характеристик	Формулирование выводов, их соответствие теории	
1								
2								
...								