

КАЗАНСКИЙ (ПРИВОЛЖСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ  
КАФЕДРА РАДИОАСТРОНОМИИ

**Галицкая Е.О., Стенин Ю.М., Корчагин Г.Е.**

**ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ  
ПО РАСПРОСТРАНЕНИЮ РАДИОВОЛН И  
АНТЕННАМ**

Казань - 2014

УДК 621.396.075

Принято на заседании кафедры радиоастрономии КФУ  
Протокол № 17 от 27 июня 2014 года

Рецензент:  
доцент кафедры радиофизики КФУ  
кандидат физико-математических наук Латыпов Р. Р.

Галицкая Е.О., Стенин Ю.М., Корчагин Г.Е. Лабораторные работы по распространению радиоволн и антеннам. – Казань: КФУ, 2014. – 40 с.  
Данное пособие предназначено для лабораторной поддержки дисциплин «Распространение радиоволн» и «Антенно-фидерные устройства», изучаемых в бакалавриате, а также дисциплины «Распространение радиоволн и антенны» в курсе магистратуры «Электромагнитные волны в средах» радиофизического направления Института физики КФУ. Для выполнения работ используется имеющийся на кафедре радиоастрономии антенно-измерительный комплекс, в состав которого входят антенны следующих типов: симметричные вибраторы, директорные, логопериодические. Описаны две лабораторные работы.

© Галицкая Е.О., Стенин Ю.М., Корчагин Г.Е., 2014  
© Казанский федеральный университет, 2014

## Оглавление

Введение .....	2
1. Теоретическая часть.....	3
1.1. Основные характеристики радиолиний .....	3
1.2. Основные свойства и характеристики симметричного вибратора.....	6
1.3. Поляризационные свойства антенн .....	13
1.4. Логопериодические антенны .....	14
1.5. Антенны типа «волновой канал» .....	18
2. Лабораторная работа 1: исследование характеристик направленности симметричных вибраторов.....	22
2.1. Описание лабораторной установки .....	22
2.2. Предварительная настройка комплекса .....	27
2.3. Исследование диаграмм направленности, поляризационных и диапазонных свойств антенн типа “симметричный вибратор” .....	29
2.4. Контрольные вопросы и задания к лабораторной работе 1([1]).....	33
3. Лабораторная работа 2: исследование характеристик направленности мультивибраторных антенн.....	35
3.1. Описание лабораторной установки .....	35
3.2. Предварительная настройка комплекса .....	38
3.3. Исследование диаграмм направленности и диапазонных свойств антенн типа “волновой канал” с различным числом элементов .....	41
3.4. Исследование характеристик логопериодических антенн .....	44
3.5. Контрольные вопросы и задания ([1]) .....	45
4. Содержание отчета по результатам выполнения лабораторной работы .....	47
Список используемой литературы.....	48

## Введение

Антенны являются обязательным элементом любой системы радиосвязи, радиовещания, телекоммуникаций, то есть любых радиотехнических систем, которые используют свободное распространение электромагнитных волн для передачи информации. Благодаря антенным комплексам, происходит бурное развитие средств связи. Главным качественным отличием развития связи в последнее время является резкое увеличение объемов передаваемой информации. Передача различных видов информации может быть осуществлена с помощью как проводных линий (оптоволоконная связь), так и с помощью радиосвязи. При этом одной из ключевых проблем создания высокоэффективных линий радиосвязи является исследование и разработка антенно-фидерных устройств.

Антенно-фидерные устройства являются неотделимой частью любой радиотехнической системы. Всякая область применения радиоволн (радиолокация, радиосвязь, телевидение, радионавигация, радиоуправление, радиоастрономия и другие) не может быть реализована без антенн. В каждой радиолинии имеется приемная и передающая станции, связь между которыми осуществляется с помощью электромагнитных волн.

Задачами работы являются изучение теории антенно-фидерных устройств, приобретение навыков работы с антенными комплексами, описание характеристик антенн, анализ и оценка функционирования и

работоспособности антенн, сравнение полученных характеристик используемых антенн и обобщение результатов экспериментальной работы. Имеющийся на кафедре антенно-измерительный комплекс позволяет обучить студентов основам работы с достаточно распространенными типами используемых на практике антенн. В состав комплекса входят две антенны типа «симметричный вибратор» (одна из них - с рефлектором), антенна «волновой канал» и логопериодическая антенна. За основу было взято описание лабораторного практикума в работе [1], где используется сходный антенный комплекс.

## 1. Теоретическая часть

### 1.1. Основные характеристики радиолиний

**Антенна** - это радиотехническое устройство, которое предназначено для излучения или улавливания электромагнитных волн ([2]). Антенна является одним из самых важных элементов любой радиотехнической системы, связанной с излучением или приемом радиоволн. К таким системам относятся: системы радиосвязи, радиовещания, телевидения, радиоуправления, радиорелейной связи, радиолокации, радиоастрономии, радионавигации и др. ([3]).

Стоит заметить, что процесс радиосвязи принципиально невозможен без использования радиоволн и, следовательно, без таких устройств, которые обеспечивали бы их излучение и прием. Эти функции выполняют антенны. В любой радиолинии всегда есть передающая и приемная станции, связь между которыми осуществляется с помощью электромагнитных волн. В процессе организации связи, звукового и телевизионного вещания широко применяются радиосредства, обеспечивающие излучение и прием радиоволн. Упрощенная структурная схема радиолинии представлена на рис. 1.1.

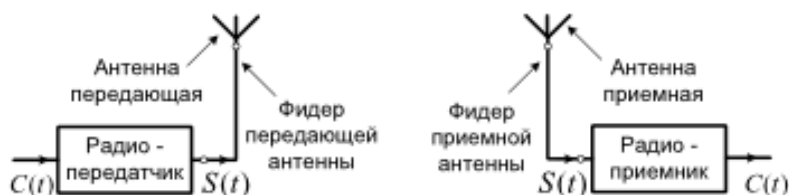


Рис. 1.1. Схема радиолинии

Элементами схемы являются: радиопередатчик, фидер передающей антенны, передающая антенна, приемная антенна, фидер приемной антенны и радиоприемник.

**Передающая антенна** — это устройство, преобразующее подведенную фидером энергию высокой частоты, выработанную передатчиком, в энергию электромагнитных волн и обеспечивающее излучение в заданном направлении.

**Приемная антенна** — это устройство, улавливающее и преобразующее энергию приходящих свободных электромагнитных волн в энергию направляемых электромагнитных волн, которые передаются фидером в радиоприемник. Такая антенна служит для приема электромагнитных волн.

**Фидер** — это электрическая цепь и вспомогательные устройства (на рис. 1.1 не показаны), с помощью которых энергия радиочастотного сигнала подводится от радиопередатчика к антенне или от антенны к радиоприемнику.

Рассмотрим работу линии радиосвязи (рис.1.1). Исходный (первичный) сигнал электросвязи  $C(t)$ , отображающий передаваемое сообщение, поступает на вход передатчика. В передатчике происходит его преобразование в радиочастотный сигнал  $S(t)$ . Этот сигнал с помощью фидера подводится к передающей антенне.

Часть энергии радиоволн, излученных передающей антенной, достигает приемной антенны и возбуждает в ней слабый радиочастотный сигнал  $S(t)$ . Этот сигнал по фидеру приемной антенны подается на вход приемника, где происходит его обработка и формирование копии исходного сигнала электросвязи  $C(t)$ . В фидерах радиочастотные сигналы распространяются в виде направляемых электромагнитных волн, которые связаны с зарядами и токами. В открытом пространстве излученные электромагнитные волны становятся свободными — радиоволнами.

Таким образом, на передающей стороне линии радиосвязи передающая антенна преобразует связанные электромагнитные волны в свободные электромагнитные волны (радиоволны), а на приемной стороне линии радиосвязи происходит обратный процесс: приемная антенна преобразует радиоволны в связанные электромагнитные волны, которые по фидеру подаются на вход радиоприемника.

Реальный процесс радиоприема гораздо сложнее — это связано с тем, что перед радиоприемником стоит задача о выделении полезного радиосигнала в условиях действия помех различного происхождения. Почти вся энергия радиоволн, излученных передающей антенной, поглощается средой, в которой она распространяется, а также различными препятствиями и помехами. Приемной антенне удастся уловить из окружающей среды крайне малую часть той энергии, которая излучена передающей антенной. Тем не менее, в правильно спроектированной радиолинии энергии, принятой антенной, вполне достаточно для качественной работы приемного устройства ([4]).

При анализе антенны для описания поля ее излучения чаще всего используется сферическая система координат (рис. 1.2) ([6]), и когда это удобно — с привязкой к декартовой системе  $XYZ$ . Положение точки в сферической системе определяется тремя числами:

- радиус-вектором  $\mathbf{r}$ ;
- углами  $\phi$  и  $\varphi$ .

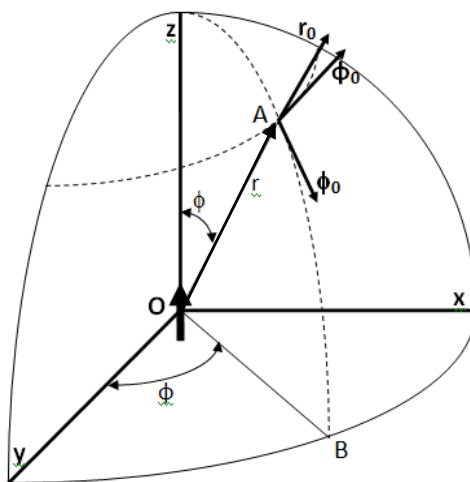


Рис. 1.2. Сферическая система координат

На рис. 1.2 показано определение координаты произвольной точки А. Обе системы координат имеют общий центр – точку О. Радиус-вектор  $\mathbf{r}$  соединяет точки А и О, а зенитный угол  $\phi$  определяется углом между осью  $z$  и  $\mathbf{r}$ . На рисунке показана проекция радиус-вектора  $\mathbf{r}$  на плоскость  $ХОУ$  – прямая ОВ. Величина угла  $\phi$  определяется углом между осью  $y$  и этой проекцией.

Векторы напряженности электрического поля  $\mathbf{E}$  и магнитного поля  $\mathbf{H}$  в сферической системе координат задаются тремя проекциями на единичные орты  $\mathbf{r}_0$ ,  $\phi_0$  и  $\Phi_0$ . Вектор  $\mathbf{E}$ , например, записывается следующим образом

$$\mathbf{E} = \mathbf{r}_0 E_r + \phi_0 E_\phi + \Phi_0 E_\Phi. \quad (1.1)$$

При анализе симметричного вибратора принято ориентировать его вдоль оси  $z$ . Тогда поле излучения на расстоянии  $r \gg \lambda$  описывается всего лишь двумя проекциями:

$$\mathbf{E} = \phi_0 E_\phi; \quad \mathbf{H} = \Phi_0 H_\Phi. \quad (1.2)$$

Область пространства, для которой выполнены условия  $r \gg \lambda$ , называется волновой зоной ([5]).

Требования к техническим характеристикам антенн вытекают из назначения радиосистемы, условий размещения, режима работы, допустимых затрат и т.д. Реализуемость необходимых направленных свойств, энергетических, частотных, помехозащищенности и других характеристик антенн во многом зависит от рабочего диапазона волн ([5]).

К антеннам современных радиосистем предъявляется много требований, среди которых решающее значение имеют следующие два. **Первое требование:** направленность действия, т. е. распределение электромагнитной мощности в пространстве (или реакция на приходящее электромагнитное поле при радиоприеме). В одних случаях требуется концентрировать излучение или осуществлять радиоприем в пределах достаточно узкого углового сектора, в других желательно обеспечить равномерность действия антенны по всем направлениям. **Второе требование:** излучение или прием должны сопровождаться минимальными

потерями электромагнитной мощности на нагрев элементов антенны. Таким образом, характеристики антенны определяют ряд основных параметров всей радиосистемы ([7]).

Тип конструкции антенны зависит от диапазона частот, в котором она должна будет работать. Чтобы эффективно излучать энергию, антенна должна иметь размеры, близкие к длине рабочей длины волны. В таком случае принимаемый сигнал будет максимален ([7]).

## 1.2. Основные свойства и характеристики симметричного вибратора

Одним из основных элементов антенны может быть симметричный вибратор (рис. 1.3).

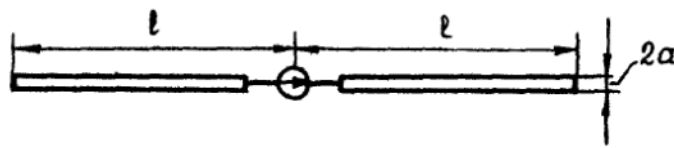


Рис. 1.3. Схема симметричного вибратора

Симметричный вибратор – это одна из наиболее простых антенн, которая состоит из двух длинных проводников (трубок) диаметром  $2a$ , разнесенных в противоположные стороны на расстояние  $2l$  (рис. 1.3), равное длине волны (волновой вибратор), половине длины волны (полуволновой вибратор) либо четверти (четвертьволновой вибратор).

Направленность действия является основной характеристикой антенн, которая определяет неодинаковость излучения (или приема) антенн в различных направлениях.

Свойства направленности антенны описывают **характеристикой (диаграммой) направленности**. Количественно эти свойства оценивают с помощью таких параметров, как ширина диаграммы направленности, уровень боковых лепестков и другие ([3]).

Под направленностью передающей антенны понимают её способность излучать радиоволны в определенных направлениях более эффективно, чем в других. Представление о направленности дает амплитудная характеристика направленности, которая определяет зависимость амплитуды напряженности излучаемого антенной поля (или величины, ей пропорциональной) от направления в пространстве при неизменном расстоянии до точки наблюдения А (рис. 1.2). Направление задается углами  $\phi$  и  $\varphi$  сферической системы координат.

Таким образом, амплитудная характеристика направленности описывается модулем некоторой функцией  $|f(\phi, \varphi)|$ . Формула для расчета модуля напряженности электрического поля антенны в произвольном направлении

$$|E|=M|f(\phi, \varphi)|, \quad (1.3)$$

где  $M$  - постоянный множитель, не зависящий от направления на точку наблюдения.

Наряду с амплитудной характеристикой направленности антенны существует понятие фазовой характеристики направленности  $\psi(\phi, \theta)$ , под которой понимается зависимость фазы напряженности поля, создаваемого антенной в точке наблюдения, от направления на эту точку. Знание фазовой характеристики направленности важно для решения вопроса, имеет ли данная антенна фазовый центр. Если  $\psi(\phi, \theta) = \text{const}$ , то такая антенна имеет фазовый центр в точке, с которой было совмещено начало координат при расчете фазовой характеристики направленности. Поле излучения антенны в этом случае представляет чисто сферическую волну, исходящую из фазового центра ([4]).

Но в большинстве случаев чаще пользуются амплитудными характеристиками направленности, т.е. распределением амплитуды напряженности поля.

Графическое изображение характеристики направленности называют **диаграммой направленности**. По своей сущности функция  $f(\phi, \theta)$  является аналитическим выражением некоторой поверхности. На рис. 1.4 приведены примеры представления диаграммы направленности элементарного вибратора: пространственная, представляющая собой тороид вращения (рис. 1.4а), и диаграмма направленности в двух плоскостях (рис. 1.4б).

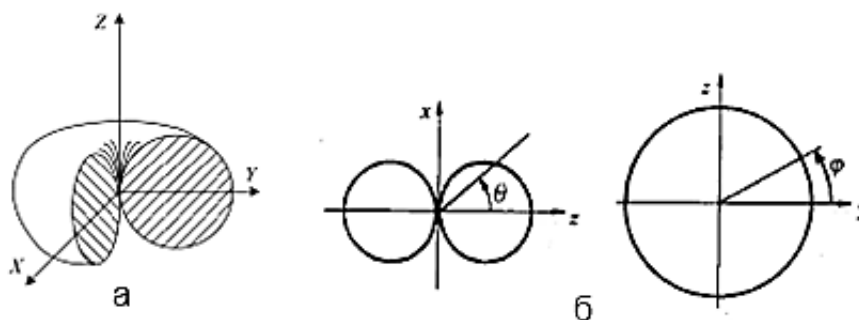


Рис. 1.4: а) пространственная диаграмма направленности элементарного вибратора; б) диаграммы направленности элементарного вибратора в меридиональной (слева) и экваториальной плоскостях

В общем случае построение графического изображения функции  $f(\phi, \theta)$  (объемной диаграммы направленности) неудобно. На практике обычно строится диаграмма направленности в какой-нибудь одной плоскости, в которой она изображается плоской кривой  $f(\phi)$  или  $f(\theta)$ . Диаграммы направленности в меридиональной и экваториальной плоскостях (рис. 1.4б) имеют при этом соответственно форму восьмерки и круга ([5]).

Когда речь идет о направленных свойствах антенны, то обычно имеется в виду характер зависимости напряженности поля от направления на точку наблюдения, а не абсолютное значение напряженности поля. Для этого используется понятие **нормированной** характеристики направленности (рис. 1.5) ([4]).



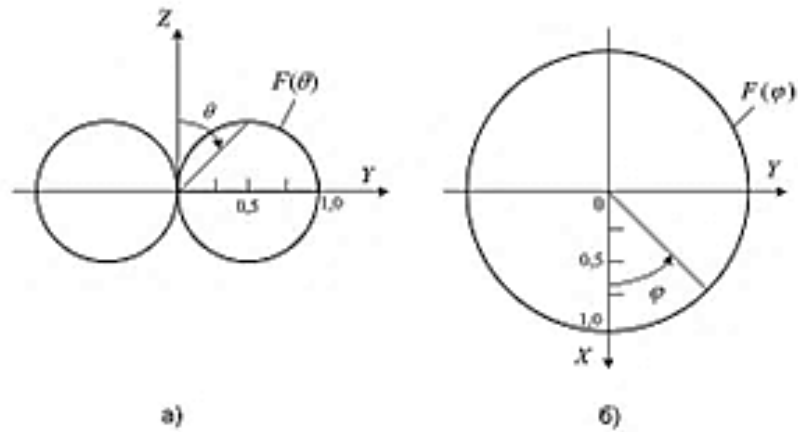


Рис. 1.5. Нормированные диаграммы направленности элементарного вибратора

При наличии четко выраженной направленности излучения на диаграмме различают главный, задний и боковые лепестки. Главным лепестком диаграммы направленности является тот, в пределах которого излучение антенны максимально. Лепесток диаграммы направленности, направление которого образует по отношению к направлению главного лепестка угол равный или близкий  $180^\circ$ , называется задним. Боковым лепестком диаграммы направленности является любой лепесток кроме главного и заднего. Пример диаграммы направленности с указанием названий лепестков приведен на рис. 1.6а ([4]).

Задний лепесток и боковые лепестки характеризуются своими уровнями. Под уровнем лепестка понимают отношение его максимума к максимуму главного лепестка. Численно уровень любого лепестка равен значению нормированной характеристики направленности в точке, соответствующей направлению его максимума ([4]).

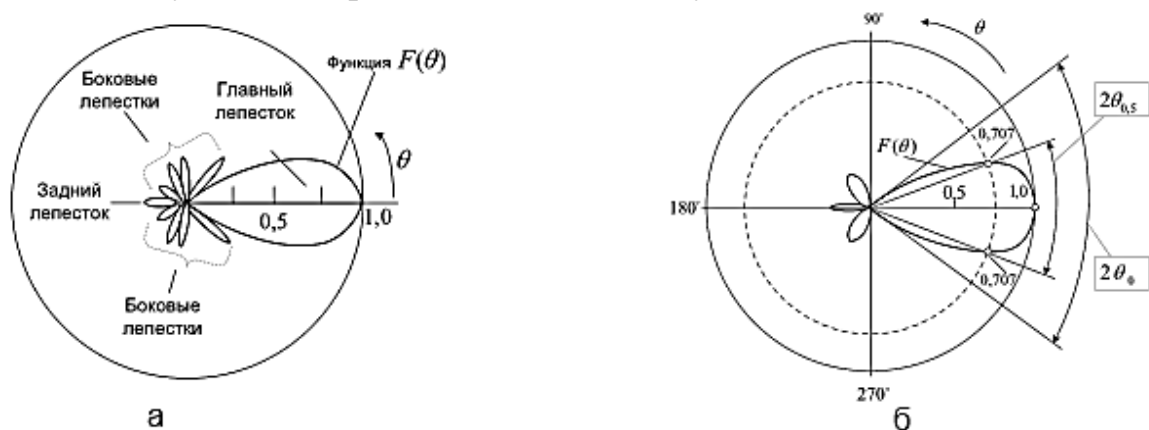


Рис. 1.6. Диаграмма направленности: а) с указанием названий лепестков; б) с указанием ширины главного лепестка

Примеры определения **ширины главного лепестка** по уровню половинной мощности  $2\phi_{0.5}$  приведены на рис.1.6б для диаграммы, представленной в полярной системе координат. Если рассматривать диаграмму направленности по полю, то значение  $2\phi_{0.5}$  соответствует углу

между направлениями диаграммы, которые ограничивают главный лепесток по уровню  $f(\phi) = 0,707$  ([4]).

Наряду с шириной луча очень важным параметром является **уровень боковых лепестков** антенны. Чаще всего уровень боковых лепестков характеризуют максимумом наибольшего бокового лепестка по отношению к значению главного максимума. Ширина луча и уровень боковых лепестков антенны являются параметрами, определяющими разрешающую способность и помехозащищенность радиосистем. Поэтому в технических заданиях на разработку антенн этим параметрам уделяется большое значение. Уровень боковых лепестков оказывает существенное влияние на основные параметры радиотехнических систем: помехозащищенность, вероятность ложного обнаружения и др. ([8]).

Одним из важнейших параметров антенн является коэффициент защитного действия (КЗД). КЗД определяет помехозащищенность антенны - отношение напряжения, получаемого от антенны на согласованной нагрузке при приеме с главного направления, к напряжению на той же нагрузке при приеме с заднего или бокового направлений. Часто коэффициент защитного действия выражают в логарифмических единицах

$$\text{КЗД} = 20 \lg(q_{\max} / q_{\min}), \quad (1.4)$$

где  $q_{\max}$  – показания измерительного прибора усилителя, соответствующие нулевому значению угла поворота антенны, а  $q_{\min}$  – показания измерительного прибора усилителя, соответствующие повороту антенны на  $180^\circ$  ([9]).

Важным параметром для антенны является ее **входное сопротивление**, характеризующее ее как нагрузку для генератора или фидера. Входным сопротивлением антенны называется отношение напряжения между точками питания антенны (зажимы антенны) к току в этих точках ([3]). Другими словами, это полное электрическое сопротивление цепи, измеренное на входных зажимах антенны. В общем случае входное сопротивление содержит как активную, так и реактивную составляющие, которые сложным образом зависят от частоты:

$$Z_{\text{BX}} = R_{\text{BX}} + iX_{\text{BX}}. \quad (1.5)$$

**Частотные характеристики** определяют изменение основных параметров антенн с частотой. Реально на практике радиосредства работают в некоторой полосе частот. Так, с изменением частоты меняются направленность действия антенны и энергетические характеристики. Обычно границы рабочей полосы частот определяются условием соответствия основных параметров (характеристика направленности, входное сопротивление и др.) определенным техническим требованиям ([5]).

Обычно рабочая полоса частот определяется тем параметром, значение которого при изменении частоты раньше других выходит из допустимых пределов. Очень часто таким параметром является входное сопротивление

антенны. Изменение его при изменении частоты приводит к рассогласованию антенны с фидером. В ряде случаев ширина рабочего диапазона определяется ухудшением одного из параметров, характеризующих направленные свойства: изменением направления максимального излучения, расширением диаграммы направленности и др. Относительно рабочей полосы частот различают антенны: а) настроенные; б) узкополосные (относительная рабочая полоса которых менее 10% от номинальной частоты); в) широкополосные (с рабочей полосой частот  $(10 \div 50)\%$  от номинальной) и г) сверхширокополосные (обладающие коэффициентом перекрытия - отношением максимальной рабочей частоты к минимальной - до нескольких десятков) ([3]).

Анализ и рассмотрение нормированных диаграмм направленности (рис. 1.6) показывают, что при любом отношении  $l/\lambda$  симметричный вибратор не излучает вдоль своей оси. Если длина симметричного вибратора  $l/\lambda < 0,5$ , то в направлении, перпендикулярном его оси ( $\phi = 90^\circ$ ,  $\phi = 270^\circ$ ), т. е. в экваториальной плоскости, поля всех элементарных вибраторов максимальны, синфазны и складываются арифметически. Поэтому поле в данном направлении является максимальным. Диаграмма направленности при  $0^\circ$  состоит из двух (главных) лепестков (рис. 8 а).

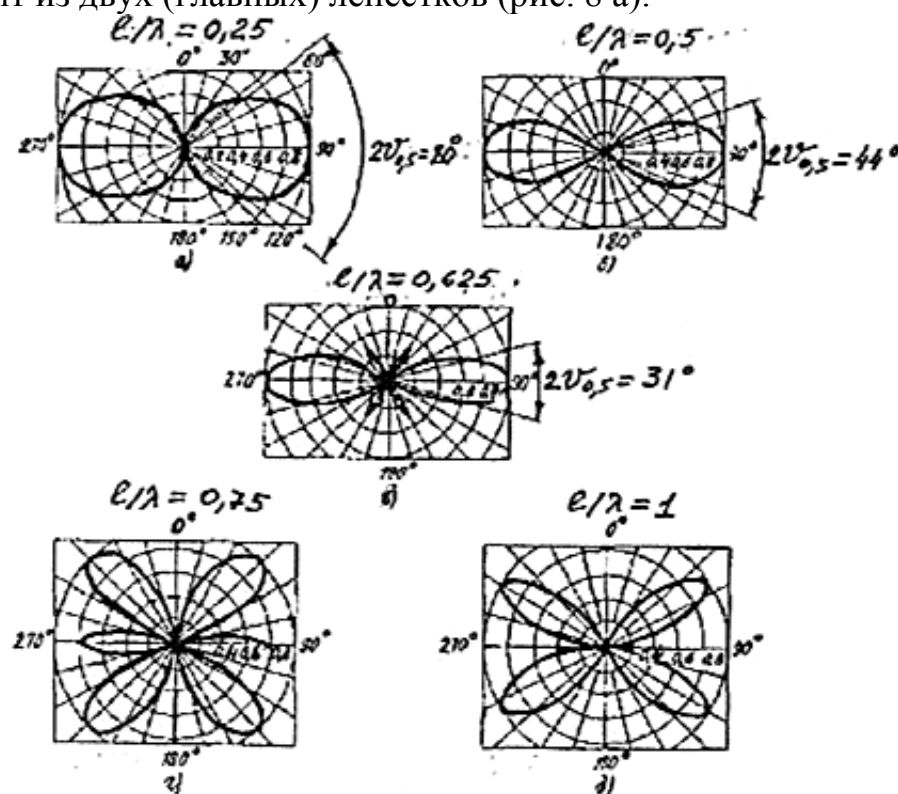


Рис. 1.7. Пример диаграмм направленности для различных отношений  $l/\lambda$

Увеличение длины вибратора до значения  $l/\lambda = 0,5$  сопровождается ростом излучения в направлении, перпендикулярном оси вибратора (главное направление излучения), за счет уменьшения излучения в других направлениях. При этом диаграмма направленности становится уже (рис. 1.7б). При увеличении  $l/\lambda$  до 0,625 излучение в главном направлении продолжает возрастать, но характеристика направленности проходит через нуль не только при  $\phi=0^\circ$  и  $\phi=180^\circ$ , но и при некоторых других значениях этого угла. Главные лепестки диаграммы становятся уже, но появляются боковые лепестки (рис. 1.7в). При дальнейшем увеличении  $l/\lambda$  излучение в главном направлении уменьшается, и возрастают боковые лепестки (рис. 1.7г,д). Уменьшение излучения в главном направлении объясняется следующим: результирующий сдвиг фаз полей, излучаемых элементарными

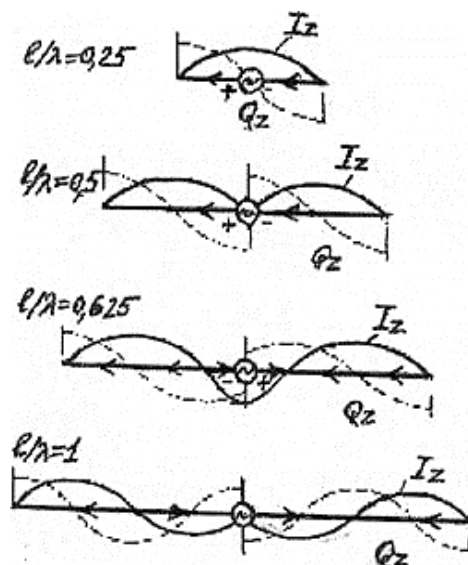


Рис. 1.8. Распределение амплитуд тока и заряда на вибраторах разной длины

вибраторами в данном направлении, определяется пространственным сдвигом фаз и сдвигом фаз токов, возбуждающих эти вибраторы; при  $l/\lambda > 0,5$  на вибраторе появляются участки с противофазными токами (рис. 1.8), длина которых растет по мере увеличения отношения  $l/\lambda$  ([10]).

Поэтому в данном случае, хотя в главном направлении пространственные сдвиги фаз равны нулю, поля, излучаемые отдельными элементами вибратора, складываются несинфазно. При  $l/\lambda=1$  излучение в главном направлении отсутствует, так как противофазные участки вибратора имеют одинаковую длину (рис. 1.7д) ([10]).

Рост соотношения  $l/\lambda$  сопровождается также увеличением боковых лепестков. Уже при  $l/\lambda=0,75$  напряженность поля в направлении максимума бокового лепестка становится больше напряженности поля в главном направлении. На практике применяются симметричные вибраторы, у которых  $l/\lambda \leq 0,7$  ([10]).

Радиолинию, показанную на рис. 1.1, можно рассматривать как линейный четырехполюсник, у которого одна пара полюсов — зажимы передающей антенны, а другая пара — зажимы приемной антенны (рис. 1.9) ([4]).

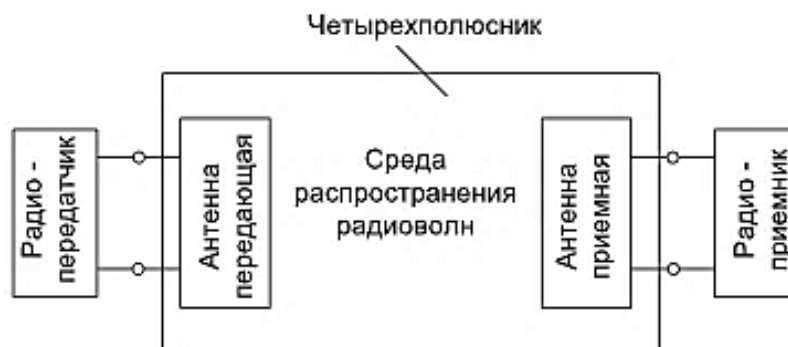


Рис. 1.9. Четырехполюсник

Для такого четырехполюсника справедлив принцип взаимности, который позволяет определить свойства и параметры приемной антенны, если известны свойства и параметры этой же самой антенны при работе её в качестве передающей. В частности, принцип взаимности позволяет доказать, что характеристика направленности любой приемной антенны совпадает с характеристикой направленности, получающейся при использовании её в качестве передающей, если приемник (нагрузка) подключается к тем же зажимам, к которым был подключен передатчик. Таким образом, из принципа взаимности вытекает обратимость процессов приема и передачи ([4]).

Изучение симметричного электрического вибратора представляет большой интерес, так как, во-первых, этот вибратор применяется как самостоятельная антенна и, во-вторых, он является составным элементом ряда сложных антенн.

Для получения нужной диаграммы направленности в горизонтальной и вертикальной плоскостях базовую антенну обычно используют совместно с одним или несколькими неактивными элементами - **рефлекторами**. Рефлектор представляет собой дополнительную антенну, размещенную рядом с основной, но не подключенную к фидеру. С основной антенной он связан только локальными полями. В данном случае возбуждается только одна антенна, а другая принимает энергию лишь от ее ближнего поля ([11]).

Неактивный элемент длиной в  $\lambda/2$ , расположенный на расстоянии в  $\lambda/4$  от полуволнового вибратора, будет работать как отражатель. Поле базовой антенны индуцирует в неактивном элементе заряды противоположного знака, но из-за расстояния в  $\lambda/4$  эти токи и заряды отстают от соответствующих токов и зарядов в базовой антенне приблизительно на  $1/4$  периода, т. е. ток в неактивном элементе опережает ток в базовой антенне приблизительно на  $90^\circ$ . Таким образом, диаграмма направленности данной антенной системы складывается из двух излучаемых волновых полей. Эти волны гасят друг друга по направлению к неактивному элементу и усиливают друг друга в противоположном направлении; таким образом, неактивный элемент работает как отражатель ([11]).

Диаграмма направленности для антенны с рефлектором представлена

на рис. 1.10.

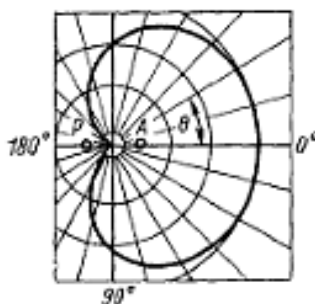


Рис. 1.10. Диаграмма направленности для антенны с рефлектором

Для того, чтобы получилась приведённая на рисунке кардиоидная диаграмма, амплитуды токов антенны и рефлектора должны быть одинаковыми, а ток в рефлекторе должен опережать по фазе ток в антенне на  $90^\circ$  (для рефлектора в виде вибратора это достигается его большей длиной по сравнению с активным вибратором).

### 1.3. Поляризационные свойства антенн

Электрическое поле графически можно охарактеризовать векторами, величина и направление которых изображают величину и направление электрических сил, действующих в различных точках пространства. Векторы  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$  радиоволн, излучаемых антенной в заданном направлении, имеют определенную пространственно-временную ориентацию или, как принято говорить, поляризацию в фиксированной точке пространства. Векторы электромагнитного поля, соответствующие плоской волне, и вектор плотности потока энергии (вектор Пойнтинга  $\mathbf{\Pi}$ ) связаны соотношением:

$$\mathbf{\Pi} = [\mathbf{E}, \mathbf{H}]. \quad (1.6)$$

Пространственная ориентация тройки векторов, соответствующих этой формуле, приведена на рис. 1.11 ([4]).

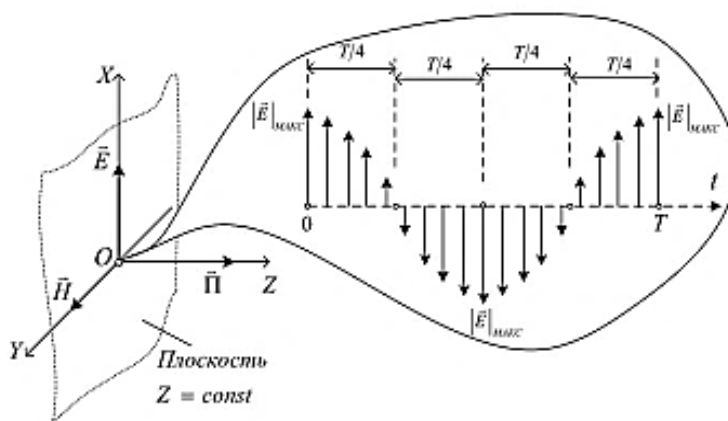


Рис. 1.11. Пространственная ориентация вектора Пойнтинга  $\mathbf{\Pi}$ , векторов  $\mathbf{E}$  и  $\mathbf{H}$

Существуют параметры, характеризующие **поляризационные** свойства антенны. При рассмотрении направленности действия необходимо учитывать поляризационную характеристику антенны, которая определяет поляризацию излучаемых и принимаемых ею волн. Антенна может излучать поле с вертикальной, горизонтальной, круговой или эллиптической (вращающейся) поляризацией ([5]). В случае излучения антенной волн линейной поляризации положение плоскости поляризации в пространстве остается неизменным. Если плоскость поляризации нормальна поверхности земли, то можно говорить о нормальной (или вертикальной) поляризации поля. В том случае, когда плоскость поляризации параллельна поверхности земли, речь идет о параллельной (или горизонтальной) поляризации поля.

Вибратор в горизонтальной (экваториальной) плоскости не обладает направленным действием, т.е. излучает во все стороны одинаково. Его характеристика направленности в этой плоскости изображается окружностью, центр которой совпадает с серединой вибратора (рис. 1.5б). Величина напряженности поля, получающаяся в том или ином направлении, пропорциональна длине радиуса, проведенного из центра к этой окружности. Если все радиусы одинаковы по длине, то диаграмма показывает отсутствие направленности ([12]).

#### 1.4. Логопериодические антенны

Одиночные вибраторы применяются только в тех случаях, когда нужно ненаправленное или почти ненаправленное излучение. Если нужно получить узкие диаграммы направленности или однонаправленное излучение, используются антенны, состоящие из двух или более вибраторов, которые располагаются на расстоянии друг от друга, меньшем длины волны. Такие вибраторы заметно влияют друг на друга, вследствие этого их называют связанными. Взаимодействие синфазных вибраторов аналогично взаимодействию связанных колебательных контуров с сосредоточенными постоянными. Так, поле одного вибратора наводит в другом некоторую ЭДС, и это эквивалентно изменению входного сопротивления вибратора. Поле, создающееся системой вибраторов, является результатом сложения полей, которые создают отдельные вибраторы ([3]).

Логопериодические антенны относят к классу сверхширокополосных антенн с логарифмической периодичностью параметров в зависимости от частоты. Общий вид логопериодической антенны представлен на рис. 1.12, где  $n$  - номер вибратора;  $N$  — общее число вибраторов;  $R_n$  — расстояние от первого вибратора до вибратора с номером  $n$ ;  $l_n$  — длина вибратора с номером  $n$  ([13]).

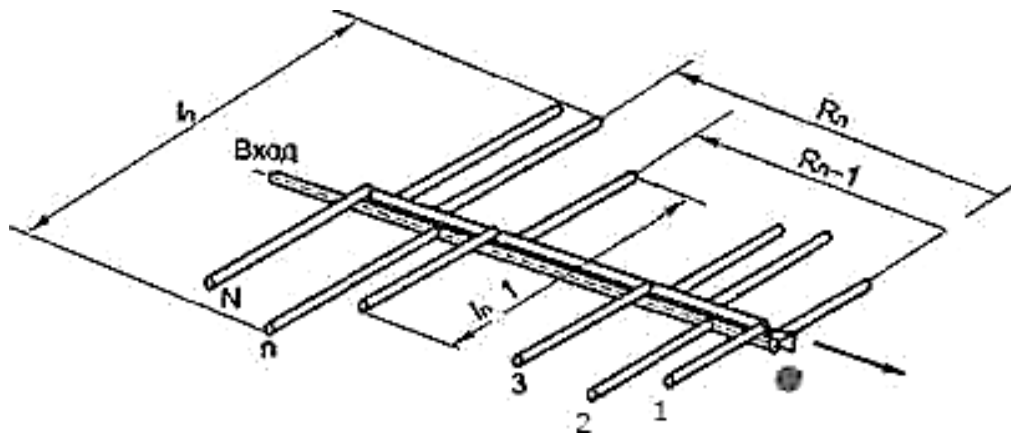


Рис. 1.12. Логопериодическая антенна

Типовые диаграммы направленности логопериодической антенны в плоскостях Е и Н показаны на рис. 1.13. Здесь плоскость Е – это плоскость, содержащая вибраторы, а плоскость Н – плоскость, перпендикулярная осям вибраторов.

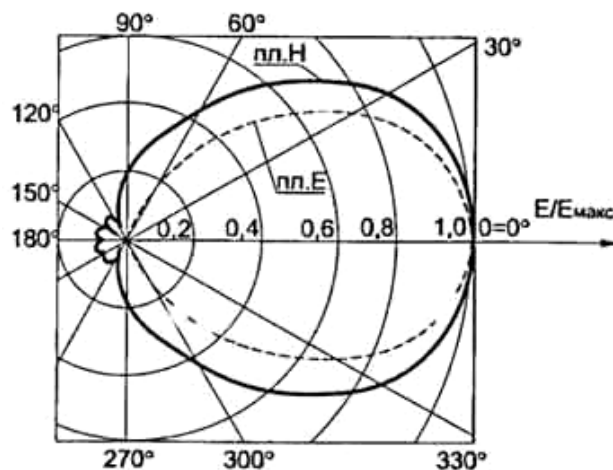


Рис. 1.13. Типовые диаграммы направленности логопериодической антенны

В основу конструкций логопериодических антенн положен принцип электродинамического подобия. В соответствии с этим принципом электрические характеристики антенны остаются постоянными при изменении рабочей длины волны в  $n$  раз, если при этом в  $n$  раз меняются геометрические размеры антенны ([14]).

Рассмотрим следующую конструкцию логопериодической антенны.



Рис. 1.14. Конструкция логопериодической антенны



Из рисунка 1.14 видно, что к двухпроводной линии присоединяются симметричные вибраторы, длина которых, так же как и расстояние между которыми, растут по мере удаления от начала антенны, поэтому все вибраторы являются подобными ([15]). Коэффициент подобия, или безразмерный период структуры антенны  $\tau$  равен

$$\tau = l_i / l_{i+1} = x_i / x_{i+1}, \quad (1.7)$$

где  $l_i$  - длина плеча  $i$ -го вибратора,  $x_i$  - расстояние от вершины до  $i$ -го вибратора ([16]).

Также коэффициент подобия  $\tau$  может быть вычислен по формуле

$$\tau = \sqrt[N-1]{0,6 (\lambda_{\min} / \lambda_{\max})}. \quad (1.8)$$

Котангенс угла  $\alpha$  равен

$$\operatorname{ctg} \alpha = (1 - 2,5 (1 - \tau)) / (1 - \tau). \quad (1.9)$$

Длина первого вибратора определяется соотношением

$$d_1 = 0,15 \lambda_{\min}. \quad (1.10)$$

Длины остальных находятся по формуле

$$d_2 = d_1 / \tau; \quad d_3 = d_2 / \tau; \quad d_4 = d_3 / \tau; \quad d_5 = d_4 / \tau; \quad d_6 = d_5 / \tau; \quad d_7 = d_6 / \tau. \quad (1.11)$$

Расстояния  $b_n$  между  $n$ -м и  $(n+1)$ -м вибраторами определяются следующими соотношениями

$$b_n = \operatorname{ctg} \alpha (d_{n+1} - d_n). \quad (1.12)$$

Точками входа антенны являются зажимы первого, самого малого по размерам вибратора. К этим зажимам подключен фидер. Вибраторы логопериодической антенны возбуждаются двухпроводным фидером, который подключается со стороны коротких вибраторов. Этот фидер образован с помощью двух параллельных трубок, внутри одной из которых проложен коаксиальный кабель. Внешний проводник кабеля присоединен к трубке, внутри которой он проложен, а внутренний проводник кабеля - к другой трубке. Подобная конструкция антенны очень удобна, так как не требует применения специального симметрирующего устройства. Линии, соединяющие концы вибратора, образуют угол полотна антенны  $\alpha$  ([10]).

Рассмотрим принцип действия логопериодической вибраторной антенны ([17]).

Электромагнитная волна распространяется в распределительной линии от малых вибраторов к большим и возбуждает вибраторы различно.

Вибраторы, длина которых оказываются много меньше половины длины волны ( $2l \ll \lambda/2$ ), возбуждаются слабо и вследствие этого практически не излучают, поскольку их входные сопротивления характеризуются малой активной составляющей и достаточно большой отрицательной реактивной составляющей. Затухания электромагнитной волны в распределительной линии в области малых вибраторов почти нет.

Вибраторы, длины которых оказываются приблизительно равными половине длины волны ( $2l \approx \lambda/2$ ) интенсивно возбуждаются, так как их входное сопротивление характеризуется небольшой активной составляющей и весьма малой реактивной составляющей. Эти вибраторы излучают электромагнитные волны, так как в них возбуждаются большие токи.

Вибраторы, длина которых оказываются много больше половины длины волны ( $2l \gg \lambda/2$ ), возбуждаются сравнительно слабо из-за большой реактивной составляющей входного сопротивления.

При этом в приеме участвуют вибратор, длина которого близка к резонансной, и несколько ближайших к нему вибраторов, которые образуют активную область антенны. При увеличении длины волны активная область смещается в сторону более длинных вибраторов, а при уменьшении – в сторону более коротких ([10]).

Следовательно, на определенной частоте интенсивно излучают только 3 – 6 вибраторов, длины которых приблизительно равны половине длины волны. Диаграмма направленности антенны определяется, в основном, амплитудно-фазовым распределением токов в вибраторах активной зоны. Оно оказывается подобным амплитудно-фазовому распределению токов в вибраторах директорной антенны. Поэтому диаграмма направленности логопериодической антенны подобна диаграмме направленности директорной антенны ([10]). О диаграмме направленности директорных антенн будет говориться ниже.

Понятно, что вибраторы, расположенные дальше резонансного (более длинные), работают в режиме рефлекторов, а расположенные ближе к точкам питания – в режиме директоров. Фазы токов в вибраторах должны отставать в направлении излучения, а напряженность поля излучения максимальна в направлении оси антенны в сторону малых вибраторов ([10]).

Увеличение  $\tau$  (в некоторых пределах) при неизменном  $\alpha$  сужает диаграмму направленности из-за того, что увеличивается число вибраторов, входящих в активную область. Это объясняется тем, что чем больше  $\tau$ , тем меньше отличаются по длине соседние вибраторы друг от друга и потому и токи вибраторов по мере их удаления от резонансного затухают слабее. Однако при больших значениях  $\tau$  направленные свойства начинают ухудшаться, так как при этом ширина активной области уменьшается ([10]).

Уменьшение угла  $\alpha$  (при неизменном  $\tau$ ) до некоторого определенного значения, зависящего от  $\tau$ , сужает диаграмму направленности, потому что при этом увеличивается расстояние между соседними вибраторами, то есть активная область расширяется.

Таким образом, логопериодическая вибраторная антенна является

линейно-поляризованной антенной, которая сохраняет свои электрические параметры почти неизменными в широкой полосе частот, границы которой определяются размерами крайних вибраторов ([10]).

### 1.5. Антенны типа «волновой канал»

Антенны «волновой канал» широко используются и в системах коллективного приема, и при индивидуальном приеме. Это можно объяснить тем, что они обеспечивают большое усиление при сравнительно небольших габаритах. В зарубежной литературе антенну такого типа называют антенной Уда-Яги в честь впервые описавших ее японских изобретателей ([18]).

Антенны этого типа состоят из активного вибратора (обычно это петлевой вибратор), рефлектора и нескольких директоров, которые расположены на общей несущей стреле параллельно друг другу. Для примера возьмем четырехэлементную антенну типа «волновой канал», изображенную на рисунке 1.15, где 1, 2 – директоры, 3 – рефлектор, 4 – активный петлевой вибратор, 5 – мачта.

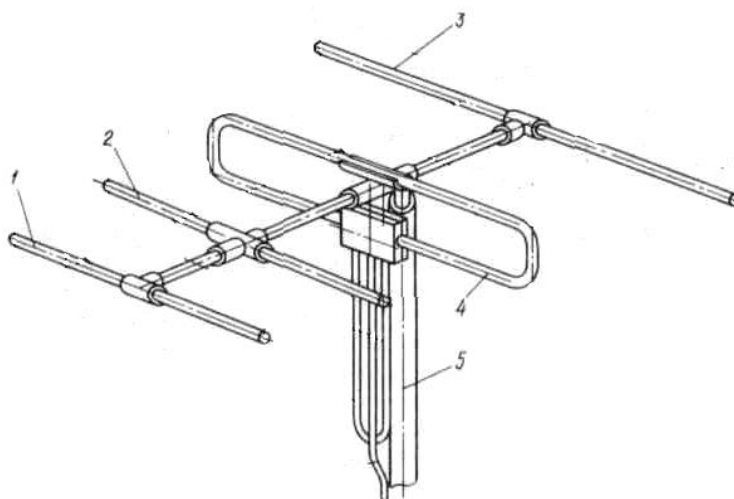


Рис. 1.15. Четырехэлементная антенна типа «волновой канал»

Петлевая, или шлейф-антенна, предложенная А. А. **Пистолькорсом** (рис. 1.16), обладает большими преимуществами. Она представляет собой два близко расположенных параллельных полуволновых вибратора, замкнутых друг с другом на концах, с питанием током в пучности одного из них. Токи обоих вибраторов совпадают по направлению, и поэтому такая антенна эквивалентна одному вибратору с удвоенным током ([12]).

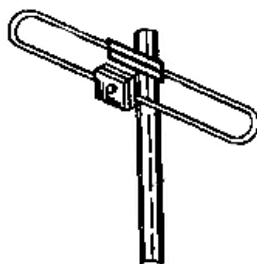


Рис. 1.16. Петлевой вибратор А. А. Пистолькорса

Чтобы получить более острую направленность (например, по сравнению с симметричным вибратором), часто используют антенну с рефлектором и активным директором, а также с несколькими пассивными директорами (рис. 1.17), называемую антенной типа «волновой канал», или директорной антенной.

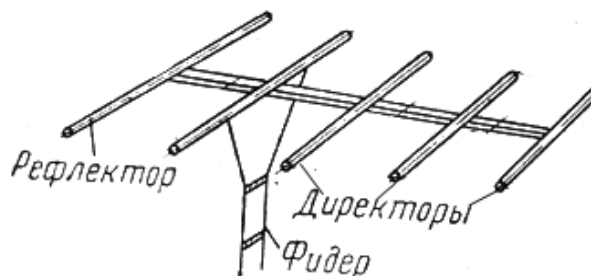


Рис. 1.17. Директорная антенна

Остановимся подробнее на описании и свойствах пяти- и семиэлементных антеннах типа «волновой канал», поскольку они исследуются в одной из лабораторных работ.

**Пятиэлементная антенна** типа «волновой канал» состоит из рефлектора, он же основной пассивный вибратор, активного вибратора и трех директоров, которые являются пассивными элементами. Все вибраторы расположены в одной плоскости параллельно друг другу и закрепляются в центре тяжести на общей стреле, в качестве которой используется тонкостенная трубка. Если активный полуволновый вибратор, который имеет симметричную диаграмму направленности в виде восьмерки, подключить к источнику высокочастотных колебаний, то он будет излучать электромагнитную энергию как в направлении рефлектора, так и в сторону директоров. Под воздействием электромагнитной энергии в рефлекторе наводятся токи, которые будут являться источниками вторичного излучения. Длина рефлектора и расстояние от него до активного вибратора подобраны так, что излучение рефлектора ослабляет излучение активного вибратора в его сторону и усиливает в направлении директоров. Следовательно, рефлектор служит экраном, который усиливает излучение в одном направлении за счет его ослабления в другом. Для получения эффекта экранирования необходимо, чтобы ток, который течет по рефлектору, опережал по фазе ток, текущий по активному вибратору. Необходимая длина

рефлектора на 5...10% превышает половину длины волны. Амплитуда тока в рефлекторе немного меньше, чем в активном вибраторе. Поэтому излучение в направлении рефлектора будет компенсироваться не полностью. Часть энергии, которую излучает активный вибратор, «просачивается» через рефлектор. Именно это является причиной появления задних и боковых лепестков диаграммы направленности ([19]).

С помощью директоров происходит усиление излучения антенны в главном направлении, так как директоры возбуждаются, как и рефлектор, под воздействием электромагнитного поля, которое наводится активным вибратором. Для сложения полей директоров необходимо, чтобы в каждом последующем вибраторе ток отставал по фазе на такой же угол, на какой отстает волна, распространяющаяся в пространстве. Этого можно достичь подбором расстояний между директорами и их размеров. Максимальная концентрация излучения в главном направлении получается обычно при постепенном уменьшении длин директоров в направлении от активного вибратора ([10]).

Такое расположение директоров и их конструкция благоприятствует тому, что электромагнитная волна, которая возбуждается активным вибратором, распространяется главным образом вдоль оси антенны, из-за чего она и называется «волновым каналом».

**Семиэлементная антенна** типа «волновой канал» имеет один вибратор, расположенный на конце стрелы (рефлектор), активный вибратор Пистолькорса и пять неразрезных вибраторов (директоров). Все вибраторы укрепляются параллельно друг другу на горизонтальной стреле, создавая антенную систему «волновой канал». Петлевой вибратор крепится в точке нулевого потенциала. Настройка и регулировка семиэлементной антенны является сложным процессом. Нужно учитывать, что изготовление элементов антенны и ее сборка должны осуществляться с учетом повышенных требований к настройке антенны. Требования к точности подстройки антенны вызваны теми недостатками, которые характерны в основном семиэлементным антеннам, но являются общими для всех антенн типа «волновой канал». Рефлектор обеспечивает получение однолепестковой диаграммы направленности. Длина рефлектора и его расстояние от активного вибратора рассчитываются так, чтобы поля, создаваемые рефлектором и активным вибратором в главном направлении, складывались. Система директоров (из пяти вибраторов), значительно сужает ширину диаграммы направленности. Длины директоров и расстояния между ними и от них до активного вибратора рассчитываются так, чтобы обеспечить сложение электромагнитных полей, создаваемых директорами и активным вибратором в главном направлении. Сложение электромагнитных полей активного вибратора, рефлектора и пяти директоров образует объемную диаграмму направленности семиэлементной антенны, которая вытянута в сторону главного направления. Чем больше количество директоров, тем уже диаграмма направленности ([19]).

Диаграмма направленности зависит от конструкции антенны. На рис. 1.18 приведена диаграмма направленности антенны «волновой канал» в полярной системе координат, где 1 – главный лепесток, 2 – боковые лепестки, 3 – задний лепесток.

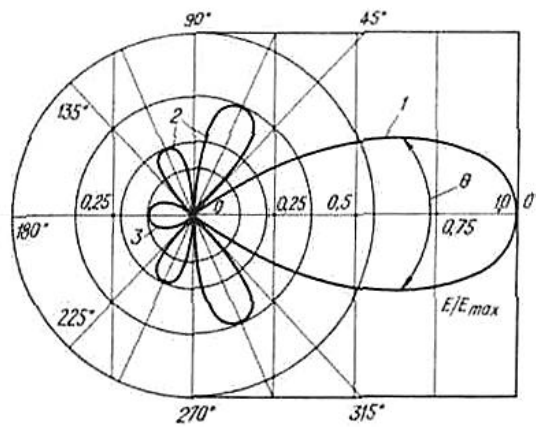


Рис. 1.18. Диаграмма направленности антенны типа «волновой канал» в полярной системе координат

По параметрам главного и боковых лепестков можно сравнивать диаграммы между собой. По ширине основного лепестка  $\phi_{0,5}$  можно оценить антенну по направленным свойствам. Уровень помехозащищенности антенны зависит от параметров заднего и боковых лепестков ([4]).

## 2. Лабораторная работа 1: исследование характеристик направленности симметричных вибраторов

### 2.1. Описание лабораторной установки

Функциональная схема лабораторной установки показана на рис. 2.1 ([1]).

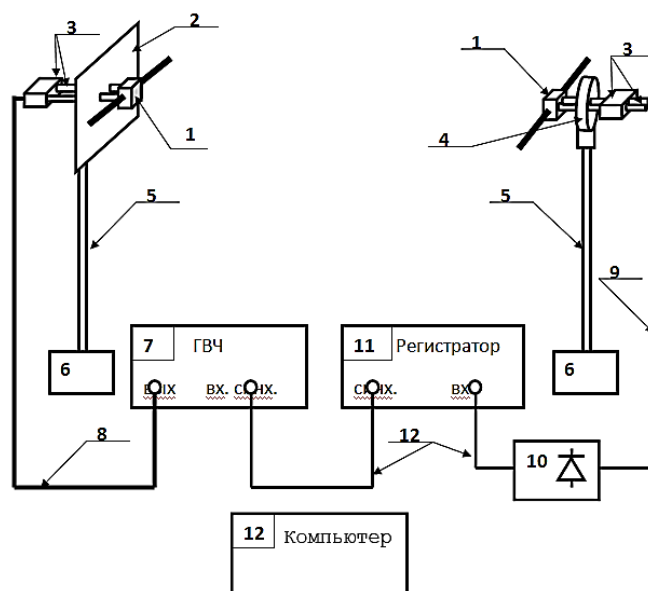


Рис. 2.1. Функциональная схема лабораторной установки

Она включает в себя две антенны – передающую и приемную, которые образуют радиолинию. Антенны обеспечивают работу в диапазоне 500 - 1000 мГц.

Передающая антенна представляет собой симметричный четвертьволновый вибратор (1) с плоским рефлектором (2) и устройством симметрирования и согласования (3). У приемной антенны рефлектор отсутствует. Обе антенны крепятся к диэлектрическим штангам (5), нижний конец которых фиксируется в поворотно-наклонных устройствах (6). Сигнал от ГВЧ - генератора высокой частоты (7) на передающую антенну подается по ВЧ-кабелю (8). Приемная антенна с помощью ВЧ кабеля (9) соединяется с детекторной секцией (10). Продетектированный сигнал поступает на вход регистратора (11). Выход синхронизирующего сигнала регистратора соединяется с входом синхронизации ГВЧ. Компьютер управляет поворотным механизмом подключенной к нему антенны.

Вид используемых в лабораторной работе антенн приведен на рис. 2.2.

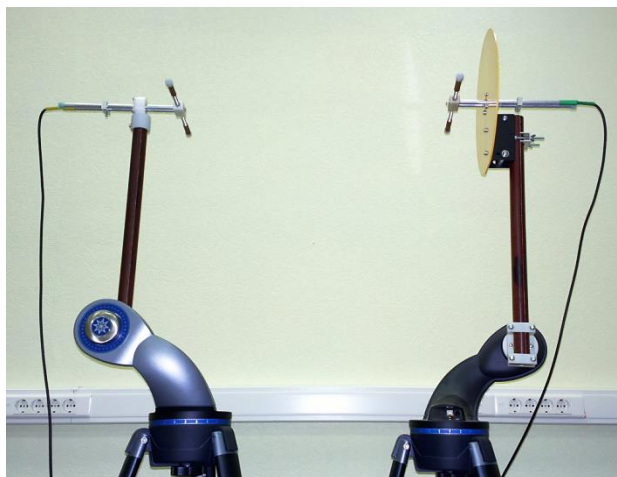


Рис. 2.2. Антенны лабораторной работы 1

На рис. 2.3 ([1]) приведен эскиз конструкции крепления симметричного

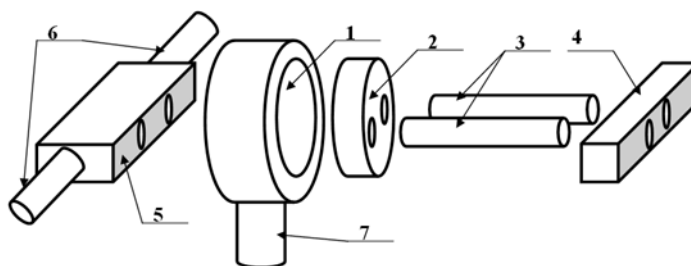


Рис. 2.3. Конструкция симметричного вибратора

вибратора. Основой является обойма (1), в которую вставлен подшипник трения (2). В нем имеются два отверстия, через которые проходят полые алюминиевые трубки (3) устройства симметрирования и согласования. В одной из этих трубок проложен кабель питания. Дополнительную жесткость конструкции обеспечивает короткозамыкатель (4), перемещаемый по трубкам. Положение короткозамыкателя на трубках фиксируется двумя винтами. Вид используемой в работе антенны приведен на рис. 2.4.

В соединитель (5) ввернуты оси плеч вибраторов (6) так, что они составляют прямой угол с трубками и имеют с ними омический контакт. Плечи вибраторов наворачиваются по резьбе на оси (6). Предусмотрена возможность изменения общей с осью длин плеч вибраторов, что позволяет менять их резонансные частоты. В комплектацию входят два плеча вибратора, длины которых соответствуют  $\lambda/4$ .

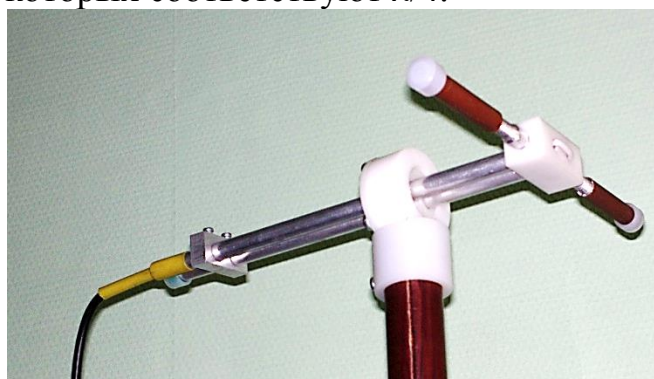


Рис. 2.4. Общий вид используемого симметричного вибратора



Приемный симметричный вибратор крепится к диэлектрической штанге (5) с помощью втулки (7).

Вид передающей антенны с рефлектором приведен на рис. 2.5. В целом конструкция сходна с конструкцией приемной антенны – отличие в креплении к диэлектрической штанге.

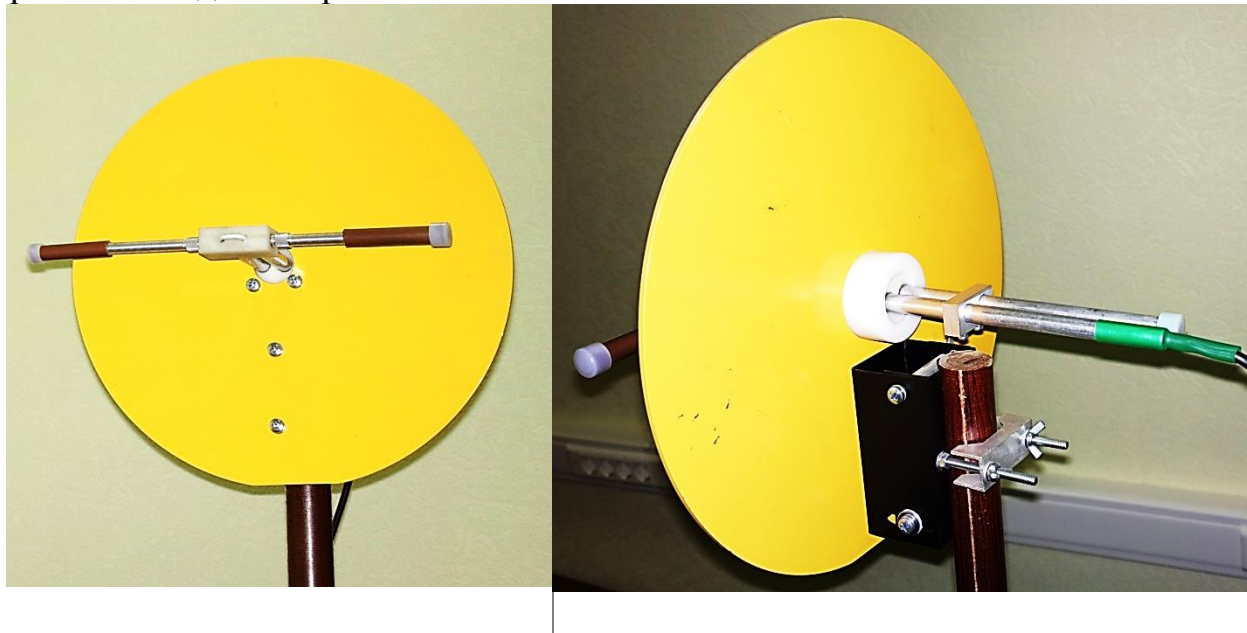


Рис. 2.5. Вид передающей антенны (с рефлектором)

Антенны располагаются на наклонно-поворотных устройствах с электронным управлением (рис. 2.6). Устройство позволяет менять наклон антенны в вертикальной плоскости (можно поворачивать и вручную ослаблением лимба – средняя часть рисунка), а также по сигналам с компьютера вращать антенны вокруг своей оси. Это позволяет снимать диаграммы направленности в двух ортогональных плоскостях Н и Е. На правой части рис. 2.6 показано подключение питания к поворотному механизму (правый кабель, гнездо AUX), а также соединение с компьютером по USB-кабелю.



Рис. 2.6. Наклонно-поворотное устройство

На рис. 2.7 приведен вид детекторной секции, служащей для регистрации принимаемого антенной сигнала.



Рис. 2.7. Общий вид детекторной секции

Основой детекторной секции является латунный корпус, внутренность которого образует оболочку коаксиальной линии. В корпус ввернута блочная часть разъема СР-50 (на рисунке справа), к которому подключается кабель от приемной антенны. Внутри верхнего цилиндра помещен детекторный диод, анод которого соединяется с центральным проводником блочной части разъема СР-50. Последний ввернут по резьбе в крышку на цилиндре и соединяется с кабелем от регистратора. Катод диода соединяется с центральным проводником коаксиальной линии. Для настройки детекторной секции на заданную частоту служит короткозамыкатель, обеспечивающий режим стоячей волны в коаксиальной линии. При его продольном смещении вдоль линии происходит перемещение узлов и пучностей распределения электромагнитного поля относительно детекторного диода. Детекторная секция считается настроенной тогда, когда диод помещен в пучность электрического поля. Конструкция короткозамыкателя показана на рис. 2.8 ([1]).

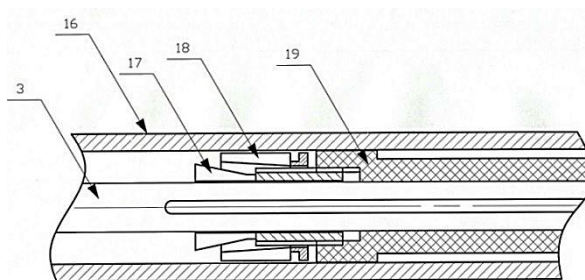


Рис. 2.8. Конструкция короткозамыкателя

Он состоит из цангового зажима, образованного внутренней (17) и внешней (18) частями. Через отверстие в зажиме проходит центральный проводник коаксиальной линии (3). Внутренняя часть (17) с помощью резьбы соединена с диэлектрическим удлинителем (19). Наворачивание удлинителя (19) по резьбе приводит к тому, что внешняя часть цангового зажима прижимается к внешнему проводнику коаксиала (16), а внутренняя – к центральному проводнику (3). Для ослабления зажима и его продольного

перемещения необходимо отвернуть по резьбе удлинитель (19) и нажать на него по направлению к основанию детектора, чтобы обеспечить освобождение частей цанги.

Для измерения уровня мощности электромагнитной волны, поступающей на приемную антенну, служит регистратор (блок 11 на рис. 2.1). Входным сигналом для него является ток диода в детекторной секции. Значение этого тока пропорционально мощности электромагнитной волны, поступающей на приемную антенну.

На рис. 2.9 представлен вид лицевой панели регистратора.



Рис. 2.9. Вид лицевой панели регистратора

На лицевой панели расположен кнопочный переключатель пределов измерения. Включение определенного предела производится нажатием соответствующей кнопки.

Ток детекторного диода подводится к регистратору по соединительному кабелю, который подключается к разъему с надписью «ВХОД». Величина регистрируемого сигнала отображается на табло «УРОВЕНЬ СИГНАЛА». Разъем с надписью «СИНХР.» служит для подключения модулирующего сигнала к генератору СВЧ. В качестве такого сигнала используется прямоугольный меандр с частотой 7 кГц. Включение регистратора производится тумблером «СЕТЬ» на лицевой панели.

На рис. 2.10 приведен вид лицевой панели генератора ВЧ комплекса. Разъем «ВЫХОД ВЧ» с помощью кабеля подключается к передающей антенне. Разъем «ВНЕШ.» соединяется с разъемом «СИНХР.» на регистраторе. Тумблер «НГ – ВНЕШН.» в положении «ВНЕШН.». Генерируемая частота устанавливается ручками «ГРУБО» и «ТОЧНО» и отображается на табло. Включение генератора производится тумблером «СЕТЬ».



Рис. 2.10. Вид лицевой панели генератора

**NB.** Фиксацию результатов измерений и последующее построение графиков рекомендуется выполнять с помощью программы Excel, входящей в состав комплекса Microsoft Office (можно использовать и среду MatLab).

## 2.2. Предварительная настройка комплекса

Поскольку у генератора, входящего в состав комплекса, отсутствует регулировка уровня выходного сигнала, необходимо вначале получить амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) используемого генератора в рабочем диапазоне частот. Для этого выход ВЧ генератора подключается к входу регистратора через детекторную секцию непосредственно (минуя антенны). Гнездо «СИНХР.» регистратора соединяется с гнездом «ВНЕШН.» генератора.

Ввиду возможного разброса характеристик имеющихся генераторов рекомендуется все последующие исследования выполнять на одном конкретном генераторе.

1. Проверить наличие соединений между элементами комплекса:

- кабельный разъем передающей антенны соединен с выходом генератора;
- кабельный разъем приемной антенны соединен с детекторной секцией;
- выход детекторной секции соединен с входом регистратора;
- выход синхросигнала регистратора соединен с входом синхронизации генератора.

2. Установить кнопочный переключатель пределов чувствительности регистратора в положение 200 мВ, включить тумблер «СЕТЬ» на его лицевой панели.

3. Включить генератор. Для этого выполнить следующие операции:

- включить тумблер «СЕТЬ»;
- установить по шкале генератора частоту, заданную преподавателем.

4. При необходимости изменяя чувствительность усилителя регистратора, добиться появления заметных показаний на цифровой шкале регистратора.

5. Отвернуть фиксирующую гайку короткозамыкателя детекторной секции (на рис. 2.7 слева) и, ослабив цанговый зажим и перемещая замыкатель в продольном направлении, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора.

**NB.** Практика показала, что частые механические перемещения внутри детекторной секции приводят к нарушению ее работоспособности, поэтому желательно проводить исследования, минуя предварительную настройку секции.

6. Вращая в небольших пределах фланец (3), связанный с передающей антенной, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора.



7. Вращая в небольших пределах фланец (3), связанный с приемной антенной, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора.

8. Добиться методом последовательных приближений максимальных показаний на цифровой шкале регистратора, повторяя при необходимости действия, предусмотренные пунктами 6 и 7.

9. Повернуть передающую антенну вручную в положение, соответствующее первому минимуму диаграммы направленности. Значение принимаемой мощности должно при этом надежно измеряться при максимальной чувствительности усилителя. Этим устанавливается мощность, излучаемая передающей антенной. В последующих измерениях параметров данной антенны изменять ее нельзя. При регулировке следует стремиться к установлению минимального уровня излучаемой мощности, при котором обеспечивается удобство измерений.

10. Включить питание поворотных устройств приемной и передающей антенны.

11. Включить питание ПК. На экране появится окно управления поворотными устройствами передающей и приемной антенн (рис. 2. 11).

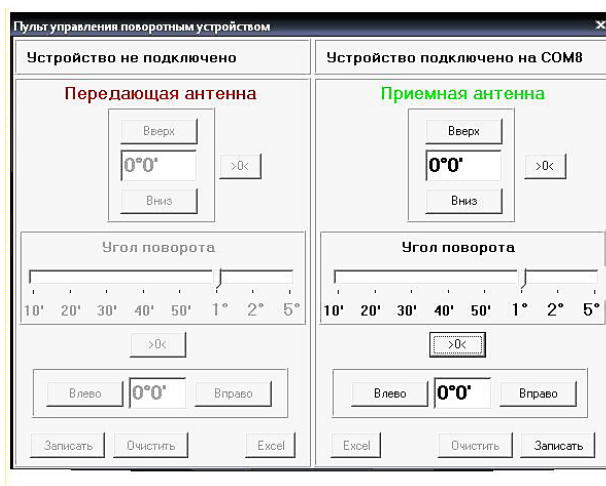


Рис. 2.11. Экран ПК с программой управления поворотными устройствами

В окне расположены кнопки управления двумя поворотными устройствами - пульт «Передающая антенна» и пульт «Приемная антенна». Эти пульта доступны только при включенном питании соответствующего поворотного устройства.

Каждый пульт содержит:

- две кнопки «Вверх», «Вниз» для изменения положения соответствующей антенны в вертикальной плоскости;
- две кнопки «Вправо», «Влево» для изменения положения соответствующей антенны в горизонтальной плоскости;
- шкалу «Угол поворота» с подвижной стрелкой, по которой устанавливается шаг изменения угла в вертикальной и горизонтальной плоскости при однократном нажатии на одну из четырех кнопок. Шаг задается перемещением стрелки вдоль шкалы;

- две кнопки «>0<» для вертикального и горизонтального перемещения антенны. При нажатии на одну из этих кнопок текущее значение угла в соответствующей плоскости принимается за нулевой отсчет. Текущее значение угла поворота антенны в вертикальной и горизонтальной плоскости отображается в соответствующем окне;
- кнопку «Записать». Измерение диаграммы направленности антенны производится в горизонтальной плоскости. После поворота антенны в новое положение в таблице, расположенной под графиком, появляется в новой ячейке значение этого угла и появляется возможность ввода с клавиатуры ПК численного значения показаний со шкалы регистратора. После нажатия на кнопку «Записать» значения угла и показаний регистратора запоминаются, и на графике появляется соответствующая отсчетная точка.

NB. В зависимости от программного обеспечения комплекса опция «Записать» может не работать.

12. Выполнить предварительную юстировку приемной и передающей антенны путем ориентации максимумов диаграмм направленности приемной и передающей антенн друг на друга и установки отсчета “0,0<sup>0</sup>” на шкалах поворотного устройства. Для этого необходимо выполнить следующие операции:

12.1. Включить питание генератора и регистратора и установить по шкале генератора частоту, заданную преподавателем.

12.2. Последовательно изменяя угловое положение приемной и передающей антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости, добиться появления заметных показаний на цифровой шкале регистратора.

12.3. Перемещая короткозамыкатель детекторной секции, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора (см. замечание в п. 5).

12.4. Последовательно изменяя угловое положение приемной и передающей антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора.

12.5. Установить значение нулевого отсчета по всем четырем шкалам, нажав четыре кнопки «>0<» на пультах «Передающая антенна» и «Приемная антенна».

## 2.3. Исследование диаграмм направленности, поляризационных и диапазонных свойств антенн типа “симметричный вибратор”

1. По средней частоте  $F$  диапазона, заданной преподавателем, вычислить геометрические размеры четвертьволнового вибратора  $L$

$$\lambda = c/F \ (c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}); \ L = \lambda/4. \quad (2.1)$$

2. По определенным в результате расчета геометрическим размерам установить длины вибраторов приемной и передающей антенны. В качестве передающей антенны используется симметричный четвертьволновый

вибратор с металлическим экраном - рефлектором. Изменение длин вибраторов осуществляется путем вворачивания или выворачивания трубок на оси (6) (рис. 2.3).

3. Получить диаграммы направленности исследуемой антенны в плоскости  $E$  и  $H$ . Для измерения диаграммы направленности в плоскости  $E$  выполнить следующие операции:

3.1. Сориентировать передающую и приемную антенну так, чтобы их плоскость  $E$  совпала с вертикальной, и произвести предварительную юстировку антенн.

3.2. Поворачивая приемную антенну вокруг вертикальной оси с помощью поворотного устройства, снять зависимость показаний  $q$  регистратора от угла поворота  $\alpha$ . Угол менять от 0 до 180 градусов, вращая антенну сначала по часовой стрелке, затем против часовой стрелки. Вращению по часовой стрелке соответствует положительное, а против часовой стрелки - отрицательное значение угла поворота. Данные измерений занести в таблицу 2.1. При выбранной ориентации антенны ее вращение вокруг вертикальной оси не должно приводить к изменению показаний прибора. Поэтому шаг изменения угла может быть выбран порядка 10 градусов.

Таблица 2.1

Диаграмма направленности симметричного четвертьволнового вибратора

$F=..., L=...$

$\alpha$ , град.						
$q$						
$q_n$						

3.3. В силу конструктивных особенностей реальной антенны, влияния отражений от окружающих предметов и многих других факторов диаграмма направленности симметричного вибратора отлична от круговой. Поэтому показания прибора  $q$  не остаются неизменными при вращении антенны. Из всех значений  $q$  следует выбрать максимальное  $q_{max}$  и произвести нормировку диаграммы направленности. Для этого определить нормированное значение мощности на выходе приемной антенны  $q_n$  по формуле

$$q_n = q / q_{max}. \quad (2.2)$$

Для антенны с плоским рефлектором диаграмма направленности имеет один выраженный максимум  $q_{max}$ , совпадающий с углом поворота  $\alpha = 0$ .

4. Получить диаграмму направленности вибраторной антенны в плоскости  $H$ . Для этого выполнить следующие операции:

4.1. Сориентировать передающую и приемную антенну так, чтобы их плоскость  $H$  совпала с вертикальной, и произвести предварительную юстировку антенн.

4.2. Отметить показания измерительного прибора усилителя  $q_{\max}$ , соответствующие нулевому значению угла поворота антенны.

4.2. Поворачивать приемную антенну с помощью поворотного устройства по часовой стрелке до тех пор, пока показания измерительного прибора не уменьшатся в два раза.

4.3. Отметить значение угла поворота антенны. Этот угол определяет ширину диаграммы направленности исследуемой антенны  $\alpha_{0.5}$ .

4.4. Повернуть антенну в положение, соответствующее нулевому отсчету угла (максимальные показания измерительного прибора усилителя).

4.5. Измерить ненормированную диаграмму направленности исследуемой антенны. Для этого снять зависимость показаний измерительного прибора  $q$  от угла поворота антенны  $\alpha$ . Угол изменять с постоянным шагом, выбрав его так, чтобы в пределах ширины диаграммы направленности уложились не менее 5 отсчетных точек. Измерения проводить, меняя угол от 0 до 180 градусов и вращая антенну по часовой стрелке. Результаты измерений занести в таблицу 2.2.

Таблица 2.2

Диаграмма направленности симметричного четвертьволнового вибратора

$F=\dots, L=\dots$

$\alpha$ , град.						
$q$						
$q_n$						

4.6. Отметить показания прибора  $q_{\min}$ , соответствующие повороту антенны на 180 градусов. Вычислить коэффициент защитного действия КЗД по формуле

$$\text{КЗД} = q_{\max} / q_{\min} . \quad (2.3)$$

4.7. Повторить измерения ненормированной диаграммы направленности антенны в соответствии с пунктом 4.5, вращая ее против часовой стрелки. Такому повороту соответствует отрицательное значение угла поворота.

4.8. Произвести нормировку диаграммы направленности. Для этого определить нормированное значение мощности на выходе приемной антенны  $q_n$  по формуле (2.2).

5. Произвести измерение диаграммы направленности симметричного вибратора с плоским рефлектором, которая используется в качестве передающей антенны. Повторить операции, предусмотренные пунктами 3 – 4, вращая с помощью поворотного устройства не приемную, а передающую антенну.

6. Произвести исследования поляризационных свойств симметричного четвертьволнового вибратора. Для этого выполнить следующие операции:

6.1. Сориентировать передающую и приемную антенну так, чтобы их плоскость  $H$  совпала с горизонтальной. Произвести предварительную



юстировку антенн. При этом приемная и предающая антенны ориентированы максимумами диаграммы направленности друг на друга, а отсчет по шкале поворотного устройства соответствует 0 градусов. Отметить показания измерительного прибора усилителя  $q_0$  и занести их в таблицу 2.3.

Таблица 2.3

Поляризационные свойства симметричного вибратора.  $L=\dots$

$\alpha$ , град.	0	....	180
$q_0$			
$q_{90}$			
$p$			

6.2. Повернуть приемную антенну вокруг горизонтальной оси на угол 90 градусов, удерживая ее от продольного перемещения. При этом с горизонтальной плоскостью уже совпадает плоскость Е приемной антенны.

6.3. Отметить показания измерительного прибора усилителя  $q_{90}$  и занести его в таблицу 2.2.

6.4. Вычислить коэффициент поляризации  $p$  по формуле

$$p = q_0 / q_{90}. \quad (2.5)$$

6.5. Изменяя угол поворота приемной антенны  $\alpha$  с шагом, заданным преподавателем, измерить зависимость коэффициента поляризации от  $\alpha$ . Угол менять в пределах от 0 до 180 градусов, вращая антенну по и против часовой стрелки. Измерения коэффициента поляризации проводить согласно методике, описанной выше. Данные измерений занести в таблицу 2.3.

7. Произвести измерения диапазонных свойств исследуемой антенны. Для этого выполнить следующие операции.

7.1. Изменяя в небольших пределах частоту генератора, добиться максимальных показаний измерительного прибора усилителя. Поскольку определение геометрических размеров антенны производилось по приближенным формулам, а также вследствие неточности сборки антенны, последняя оказывается не настроенной точно в резонанс. В этом пункте производится ее точная настройка и определение резонансной частоты  $F_{рез}$ , которой соответствуют максимальные показания прибора  $q_{max}$ . Как и ранее, показания прибора прямо пропорциональны принимаемой мощности.

При изменении частоты генератора может в небольших пределах изменяться мощность на его выходе. В принципе это можно учесть с помощью предварительно снятой АЧХ генератора.

7.2. Снять зависимость принимаемой мощности (показания регистратора  $q$ ) от частоты генератора  $F$ . Данные измерений занести в таблицу 2.4. Частоту генератора изменять до тех пор, пока показания прибора не уменьшатся в 2,5 раза. Изменение частоты производить сначала в сторону уменьшения, а затем - в сторону увеличения относительно  $F_{рез}$ . Для качественного исследования диапазонных свойств антенны необходимо получить не менее 10 отсчетных точек.

Таблица 2.4

Диапазонные свойства симметричного вибратора.  $L=\dots$ 

$F, \text{ МГц}$	$F_{рез}$	
$q$	$q_{max}$	
$q_n$	1	

Определять нормированное значение мощности на выходе приемной антенны  $q_n$  следует по формуле (2.2).

8.3. Построить зависимость нормированной мощности  $q_n$  от частоты  $F$ . По этой зависимости определить полосу пропускания антенны по уровню половинной мощности. Для определения полосы пропускания  $\Delta F$  на построенной зависимости отметить два значения частоты  $F_1$  и  $F_2$ , соответственно больше и меньше  $F_{рез}$ . Величина  $\Delta F$  определится по формуле

$$\Delta F = F_1 - F_2. \quad (2.6)$$

#### 2.4. Контрольные вопросы и задания к лабораторной работе 1([1])

1. Дайте определение симметричного электрического вибратора. Перечислите основные характеристики симметричного электрического вибратора. Опишите методику снятия диаграммы направленности.

2. Приведите конструкции симметричных полуволновых вибраторов. Для чего используется согласующе-симметрирующее устройство? К чему приводит его отсутствие?

3. Перечислите основные электрические характеристики симметричных вибраторов. Приведите зависимости входного сопротивления симметричного электрического вибратора от размеров  $l/\lambda$ . Опишите характерные точки для часто используемых в антенной технике соотношений размеров  $l/\lambda$ .

4. Приведите изменение формы диаграммы направленности в плоскости вектора электрического поля  $\mathbf{E}$  в зависимости от длины симметричного вибратора. Какую форму будет иметь диаграмма направленности вибратора в плоскости вектора магнитного поля  $\mathbf{H}$ ?

5. Как будет изменяться форма диаграммы направленности симметричного электрического вибратора при горизонтальной поляризации; при вертикальной поляризации - в случае расположения антенны над поверхностью Земли.

6. Дайте определение диаграммы направленности, коэффициента направленного действия и действующей длины для симметричного электрического вибратора. Какие характеристики антенны определяются из экспериментально снятой диаграммы направленности?

7. Дайте определение входного сопротивления и сопротивления излучения симметричного электрического вибратора. Приведите распределение амплитуды токов для симметричных вибраторов длиной  $0,5 \lambda$ ;  $1,5 \lambda$ ;  $6 \lambda$ .

8. Дайте определение вектора интенсивности излучения, коэффициента усиления антенны. Опишите метод сравнения при определении коэффициента усиления антенны.

9. Опишите устройство и принцип действия детекторной секции.

10. Опишите конструкцию симметричного электрического вибратора. Перечислите основные характеристики симметричного электрического вибратора и приведите зависимости коэффициента направленного действия от отношения  $l/\lambda$ . Почему в антенной технике широкое распространение получили симметричные полуволновые электрические вибраторы?

11. Определите волновое сопротивление и сопротивление излучения, если известны: частота  $f$ , длина плеча  $l$  и диаметр  $d=2r$  симметричного вибратора (табл. 2.5).

Таблица 2.5

Данные для расчетов

Вариант	1	2	3	4	5	6
$f$ , МГц	140	69,8	5,45	43,5	21,4	100
$l$ , м	0,5	1,16	16,5	3,8	8,4	0,8
$2r$ , мм	20	8,3	33	28	6	10

12. Определите входное сопротивление, если известны: длина волны  $\lambda$ , длина плеча  $l$  и радиус  $r$  симметричного вибратора (табл. 2.6).

Таблица 2.6

Данные для расчетов

Вариант	1	2	3	4	5	6
$\lambda$ , МГц	2,14	4,3	55	1,2	1,3	5
$l$ , м	0,5	1,16	16,5	0,5	0,5	1,5
$r$ , мм	10	4,15	1,5	5	10	8

13. Определите КНД симметричного вибратора, если известны: длина плеча  $l$  и длина волны  $\lambda$  (табл. 2.7).

Таблица 2.7

Данные для расчетов

Вариант	1	2	3	4	5	6
$\lambda$ , МГц	2,14	4,3	55	1,2	1,3	20
$l$ , м	0,5	1,16	16,5	0,5	0,5	7

### 3. Лабораторная работа 2: исследование характеристик направленности мультивибраторных антенн

#### 3.1. Описание лабораторной установки

Функциональная схема лабораторной установки показана на рис. 3.1.

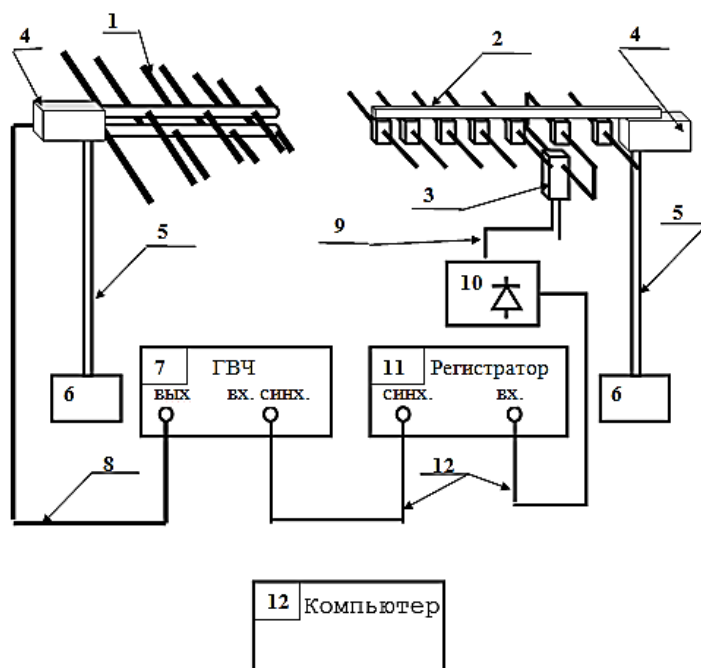


Рис. 3.1. Функциональная схема лабораторной установки

В качестве передающей используется логопериодическая антенна (1), а в качестве приемной – антенна «волновой канал» (2) с устройством симметрирования и согласования (3). Общий вид комплекса для выполнения лабораторной работы 2 (без детекторной секции и компьютера) приведен на рис. 3.2.



Рис. 3.2. Общий вид антенного комплекса

На рис. 3.3 приведен общий вид используемой логопериодической антенны, а на рис. 3.4 - эскиз ([1]), поясняющий ее конструкцию.

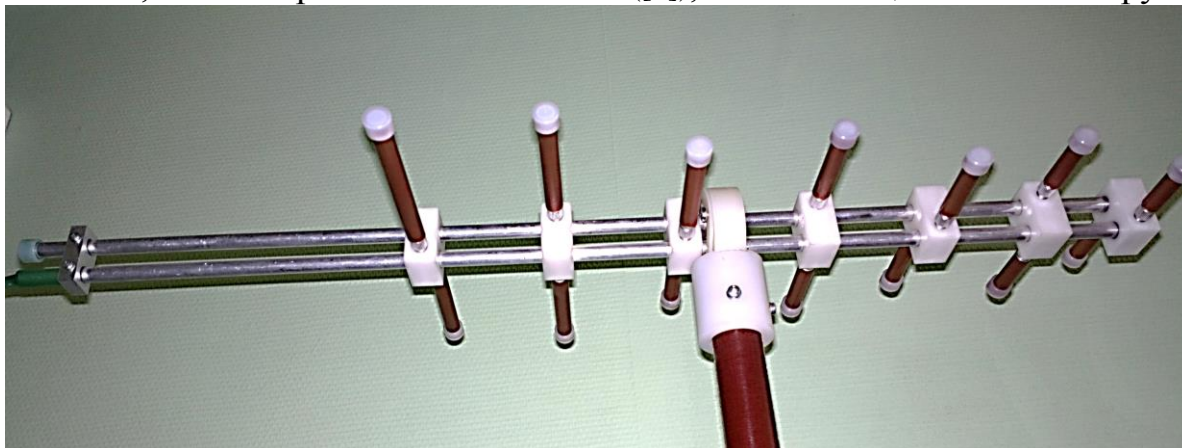


Рис. 3.3. Общий вид логопериодической антенны

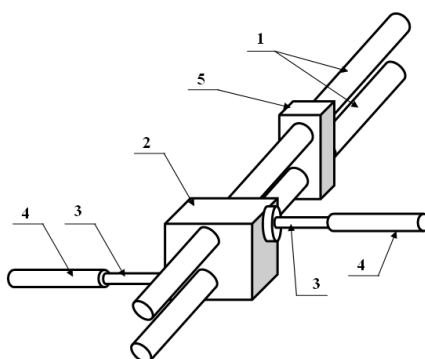


Рис. 3.4. Конструкция логопериодической антенны

Показана только часть антенны, включающая один симметричный вибратор и короткозамыкатель. Основой является двухпроводная соединительная линия, образованная полыми алюминиевыми трубками (1). В одной из этих трубок проложен кабель питания. Соединитель (2) изготовлен из диэлектрического материала. В нем выполнены отверстия, через которые проходят трубки двухпроводной линии. В боковых стенках соединителя также имеются два отверстия, в которые по резьбе ввернуты оси плеч вибраторов (3). Отверстия выполнены таким образом, что при вворачивании правая ось имеет омический контакт с верхней трубкой, а левая – с нижней. В соседних вибраторах положение осей изменено на противоположное (т.е. правая ось имеет контакт с нижней трубкой, левая – с верхней). Этим обеспечивается питание вибраторов с дополнительным сдвигом фаз, равным  $180^\circ$ .

Оси на конце, обращенном к соединителю, снабжены утолщением, которое позволяет ослабить крепление соединителя на трубках двухпроводной линии. Этим обеспечивается возможность передвижения соединителей вдоль линии и изменения геометрии антенны.

Плечи вибраторов (4) наворачиваются по резьбе на оси (3). Предусмотрена возможность изменения общей с осью длин плеч вибраторов,

что позволяет менять их резонансные частоты. Положение короткозамыкателя (5) на трубках фиксируется двумя винтами.

На рис. 3.5 приведен общий вид используемой антенны типа «волновой канал», а на рис. 3.6 - эскиз ([1]), поясняющий конструкцию антенны. Показана только часть антенны, включающая один директор и активный петлевой вибратор Пистолькорса.



Рис. 3.5. Общий вид антенны «волновой канал»

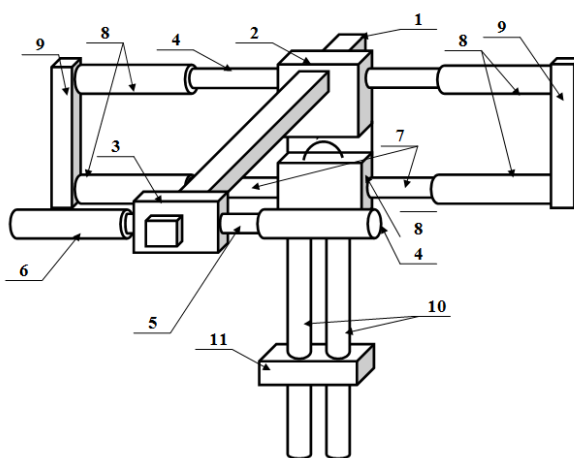


Рис. 3.6. Конструкция антенны «волновой канал»

Основой является алюминиевая траверса квадратного сечения (1). На ней располагаются диэлектрические фиксаторы (2) и (3) осей активного вибратора (4) и директора (5). Оси вибраторов (4) и (5) ввернуты в фиксаторы по резьбе таким образом, что обеспечивается омический контакт между ними. На оси директоров по резьбе наворачиваются плечи (6). Имеется возможность перемещения фиксаторов (3) с соответствующими элементами вдоль траверсы и изменения длин плеч вибраторов. Для этого оси на конце, обращенном к фиксатору, снабжены утолщением, которое позволяет ослабить его крепление на траверсе и обеспечить перемещение вдоль нее.

Активный петлевой вибратор дополнительно включает две оси (7), которые вместе с основной осью (4) крепятся к фиксатору (2). Длина петли активного вибратора может изменяться за счет перемещения вдоль осей (4) и (7) плеч (8), соединенных планкой (9). Положение осей фиксируется на осях винтом.

В фиксатор (2) по резьбе ввернуты две полых алюминиевых трубки (10), которые образуют двухпроводную линию устройства симметрирования и согласования. Между этими трубками и осями (7) имеется омический контакт. Через одну из трубок проложен кабель питания. С ней соединяется его оплетка. Центральный проводник кабеля соединен со второй трубкой. Для настройки устройства симметрирования и согласования используется короткозамыкатель (11). Он может перемещаться вдоль линии. Положение его фиксируется винтами.

Антенны располагаются на поворотных устройствах с электронным управлением. Поворотное устройство позволяет менять наклон антенны в вертикальной плоскости и вращать антенны вокруг своей оси, что позволяет снимать диаграммы направленности в двух ортогональных плоскостях Н и Е.

Описание других блоков установки совпадает с описанием их устройства и назначения, приведенным в лабораторной работе 1.

### 3.2. Предварительная настройка комплекса

1. Проверить соединения между элементами комплекса в соответствии с рис. 3.1:

- кабельный разъем передающей логопериодической антенны соединен с выходом генератора;
- кабельный разъем приемной антенны «волновой канал» соединен с детекторной секцией;
- выход детекторной секции соединен с входом регистратора;
- выход синхросигнала регистратора соединен с входом синхронизации генератора.

2. Установить кнопочный переключатель пределов чувствительности блока «Регистратор» в положение 200 мВ, включить тумблер «СЕТЬ» на его лицевой панели.

3. Включить генератор. Для этого выполнить следующие операции:

- включить тумблер «СЕТЬ»;
- установить по шкале генератора частоту, заданную преподавателем.

4. При необходимости изменяя чувствительность усилителя регистратора, добиться появления заметных показаний на цифровой шкале регистратора.

5. Отвернуть фиксирующую гайку короткозамыкателя детекторной секции (на рис. 2.7 слева) и, ослабив цанговый зажим и перемещая замыкатель в продольном направлении, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора.

NB. Практика показала, что частые механические перемещения внутри детекторной секции приводят к нарушению ее работоспособности, поэтому желательно проводить исследования, минуя предварительную настройку секции.

6. Вращая в небольших пределах фланец (3), связанный с передающей антенной, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора.

7. Вращая в небольших пределах фланец (3), связанный с приемной антенной, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора.

8. Добиться методом последовательных приближений максимальных показаний на цифровой шкале регистратора, повторяя при необходимости действия, предусмотренные пунктами 6 и 7.

9. Повернуть передающую антенну вручную в положение, соответствующее первому минимуму диаграммы направленности. Значение принимаемой мощности должно при этом надежно измеряться при максимальной чувствительности усилителя. В последующих измерениях параметров данной антенны изменять ее нельзя. При регулировке следует стремиться к установлению минимального уровня излучаемой мощности, при котором обеспечивается удобство измерений.

10. Включить питание поворотных устройств приемной и передающей антенны.

11. Включить питание ПК. На экране появится окно с кнопками управления поворотными устройствами передающей и приемной антенны (рис. 3.7).

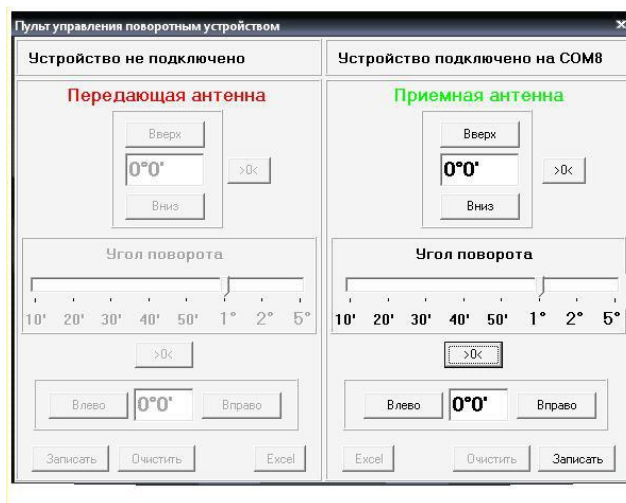


Рис. 3.7. Экран ПК с программой управления поворотными устройствами

В окне расположены кнопки управления двумя поворотными устройствами - два пульта: «Передающая антенна» и «Приемная антенна». Эти пульты доступны только при включенном питании соответствующего поворотного устройства. При включенном питании справа от окна появляется заготовка для построения диаграммы направленности



соответствующей антенны в полярной системе координат. Под заготовкой появляется таблица, в которую заносятся значения углов и соответствующие им показания регистратора.

**Внимание.** Вращение приемной и передающей антенны в вертикальной плоскости ограничено и не превышает угла  $15^0$ .

Каждый пульт содержит:

- две кнопки «Вверх», «Вниз» для изменения положения соответствующей антенны в вертикальной плоскости;
- две кнопки «Вправо», «Влево» для изменения положения соответствующей антенны в вертикальной плоскости;
- шкалу «Угол поворота» с подвижной стрелкой, по которой устанавливается шаг изменения угла в вертикальной и горизонтальной плоскости при однократном нажатии на одну из четырех кнопок. Шаг задается перемещением стрелки вдоль шкалы;
- две кнопки «>0<» для вертикального и горизонтального перемещения антенны. При нажатии на одну из этих кнопок текущее значение угла в соответствующей плоскости принимается за нулевой отсчет. Текущее значение угла поворота антенны в вертикальной и горизонтальной плоскости отображается в соответствующем окне (рис. 3.7);
- кнопку «Записать». Измерение диаграммы направленности антенны производится в горизонтальной плоскости. После поворота антенны в новое положение в таблице, расположенной под графиком, появляется в новой ячейке значение этого угла и появляется возможность ввода с клавиатуры ПК численного значения показаний со шкалы регистратора. После нажатия на кнопку «Записать» значения угла и показаний регистратора запоминаются, и на графике появляется соответствующая отсчетная точка.

NB. В зависимости от программного обеспечения комплекса опция «Записать» может не работать.

12. Произвести предварительную юстировку приемной и передающей антенны. Результатом ее является ориентация максимумов диаграмм направленности приемной и передающей антенн друг на друга и установка отсчета “0,0<sup>0</sup>” на шкалах поворотного устройства. Для этого выполнить следующие операции:

12.1. Включить питание генератора и регистратора и установить по шкале генератора частоту, заданную преподавателем.

12.2. Последовательно изменяя угловое положение приемной и передающей антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости, добиться появления заметных показаний на цифровой шкале регистратора.

12.3. Перемещая короткозамыкатель детекторной секции, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора.

12.4. Последовательно изменяя угловое положение приемной и передающей антенны в горизонтальной и вертикальной плоскости, добиться максимальных показаний на цифровой шкале регистратора.

12.5. Установить значение нулевого отсчета по всем четырем шкалам, нажав четыре кнопки «>0<» на пультах «Передающая антенна» и «Приемная антенна».

### 3.3. Исследование диаграмм направленности и диапазонных свойств антенн типа “волновой канал” с различным числом элементов

При выполнении данной лабораторной работы в качестве передающей антенны используется логопериодическая антенна. Ее характеристики остаются стабильными во всем диапазоне частот перестройки антенны «волновой канал». Поэтому можно считать, что уровень излучаемой мощности определяется только генератором.

Как уже упоминалось выше, геометрические размеры антенны могут быть нормированы относительно длины волны излучения  $\lambda$ . В таблицах 3.1, 3.2, 3.3 приведены такие нормированные размеры для трех-, пяти- и семиэлементной антенны. Они были определены в результате анализа экспериментальных данных, приведенных в литературе. Индекс  $n$  соответствует номеру элемента. Директоры пронумерованы индексами  $n = 1, 2, 3 \dots$ , активному вибратору соответствует  $n = 0$ , рефлектору –  $n = -1$ .

Таблица 3.1

Нормированные размеры трехэлементной антенны «волновой канал»

$n$	-1	0	1
$b_n$	0,591	0,487	0,413
$d_n$	0,159	---	0,106

Таблица 3.2

Нормированные размеры пятиэлементной антенны «волновой канал»

$n$	-1	0	1	2	3
$b_n$	0,552	0,487	0,443	0,439	0,429
$d_n$	0,212	---	0,129	0,124	0,131

Таблица 3.3

Нормированные размеры семиэлементной антенны «волновой канал»

$n$	-1	0	1	2	3	4	5
$b_n$	0,616	0,503	0,479	0,474	0,469	0,463	0,456
$d_n$	0,229	---	0,118	0,150	0,170	0,198	0,216

1. Используя расчетные соотношения, приведенные в теоретической части данного описания, вычислить геометрические размеры директоров, активного вибратора, рефлектора и расстояний между ними. Средняя частота диапазона, в котором работает антенна, задается преподавателем.

2. По определенным в результате расчета геометрическим размерам собрать на траверсе антенну и укрепить ее на поворотном штативе. В качестве передающей антенны в данном случае используется

семиэлементная логопериодическая антенна. Она обеспечивает необходимый уровень излучаемой мощности в диапазоне частот 550 - 900 МГц.

3. Произвести предварительную юстировку антенн.

4. Измерить диаграмму направленности исследуемой антенны. Для этого выполнить следующие операции:

4.1. Отметить показания измерительного прибора регистратора  $q_{max}$ , соответствующие нулевому значению угла поворота антенны.

4.2. Ослабить фиксирующие винты (6) колец (5) передающей антенны. Поворачивать приемную антенну с помощью поворотного устройства по часовой стрелке до тех пор, пока измерительного прибора не уменьшатся в два раза.

4.3. Отметить значение угла поворота антенны. Этот угол определяет ширину диаграммы направленности исследуемой антенны  $\alpha_{0.5}$ .

4.4. Повернуть антенну в положение, соответствующее нулевому отсчету угла (максимальные показания измерительного прибора регистратора).

4.5. Измерить ненормированную диаграмму направленности исследуемой антенны. Для этого снять зависимость показаний измерительного прибора  $q$  от угла поворота антенны  $\alpha$ . Угол изменять с постоянным шагом, выбрав его так, чтобы в пределах ширины диаграммы направленности уложилось не менее 5 отсчетных точек. Измерения проводить, меняя угол от 0 до 180 градусов и вращая антенну по часовой стрелке. Результаты измерений занести в таблицу 3.4.

Таблица 3.4

Данные измерений

$\alpha, \text{град.}$	0	$\alpha_1$		0	$-\alpha_1$
$q$	$q_{max}$				
$q_n$					

4.6. Отметить показания прибора  $q_{min}$ , соответствующие повороту антенны на 180 градусов. Вычислить коэффициент защитного действия КЗД по формуле

$$\text{КЗД} = q_{max} / q_{min}. \quad (3.1)$$

4.7. Повторить измерения ненормированной диаграммы направленности антенны в соответствии с пунктом 4.5, вращая ее против часовой стрелки. Такому повороту соответствует отрицательное значение угла поворота.

4.8. Произвести нормировку диаграммы направленности. Для этого определить нормированное значение мощности на выходе приемной антенны  $q_n$  по формуле

$$q_n = q / q_{max}. \quad (3.2)$$

5. Повернуть антенну в положение, соответствующее нулевому отсчету угла (максимальные показания измерительного прибора регистратора).

6. Произвести измерения диапазонных свойств исследуемой антенны. Для этого выполнить следующие операции.

6.1. Изменяя в небольших пределах частоту генератора, добиться максимальных показаний измерительного прибора усилителя. Поскольку определение геометрических размеров антенны производилось по приближенным формулам, а также вследствие неточности сборки антенны, она оказывается не настроенной точно в резонанс. В этом пункте производятся ее точная настройка и определение резонансной частоты  $F_{рез}$ , которой соответствуют максимальные показания прибора  $q_{max}$ . Как и ранее, показания прибора прямо пропорциональны принимаемой мощности.

6.2. Снять зависимость принимаемой мощности (показания измерительного прибора  $q$ ) от частоты генератора  $F$ . Данные измерений занести в таблицу 3.5. Частоту генератора изменять до тех пор, пока показания прибора не уменьшатся в 2,5 раза. Изменение частоты производить сначала в сторону уменьшения, а затем в сторону увеличения относительно  $F_{рез}$ .

При изменении частоты генератора может в небольших пределах изменяться мощность на его выходе. Здесь может помочь предварительно снятая АЧХ используемого генератора (см. лабораторную работу 1).

Для качественного исследования диапазонных свойств антенны необходимо получить не менее 10 отсчетных точек.

Таблица 3.5

Данные измерений

$F$ , МГц	$F_{рез}$	
$q$	$Q_{max}$	
$q_n$	$1$	

Определять нормированное значение мощности на выходе приемной антенны  $q_n$  следует по формуле (3.2).

6.3. Построить зависимость нормированной мощности  $q_n$  от частоты  $F$ . По этой зависимости определить полосу пропускания антенны по уровню половинной мощности. На построенной зависимости отметить два значения частоты  $F_1$  и  $F_2$ , соответственно больше и меньше  $F_{рез}$ . Полоса пропускания  $\Delta F$  определится по формуле

$$\Delta F = F_1 - F_2. \quad (3.3)$$

7. Произвести исследования диаграмм направленности и диапазонных свойств пятиэлементной и семиэлементной антенн типа “волновой канал” по методике, описанной в пунктах 1 - 6. Сравнить исследованные антенны по ширине диаграммы направленности, величине коэффициента защитного действия и ширине полосы пропускания. Оценить связь количества боковых лепестков диаграммы направленности с количеством элементов антенны.

### 3.4. Исследование характеристик логопериодических антенн

При выполнении данной лабораторной работы в качестве приемной используется антенна типа «волновой канал». Ее характеристики не остаются стабильными во всем диапазоне частот перестройки логопериодической антенны. Поэтому при исследовании ее характеристик следует учитывать, что уровень излучаемой мощности остается стабильным только в полосе пропускания антенны «волновой канал». Ширина полосы пропускания была экспериментально определена выше.

1. Используя расчетные соотношения, приведенные в теоретической части данного описания, вычислить геометрические размеры вибраторов и расстояний между ними для логопериодической антенны. Расчет провести для семиэлементной антенны. Значения максимальной и минимальной частот диапазона, в котором работает антенна, задаются преподавателем.

2. По определенным в результате расчета геометрическим размерам собрать антенну и укрепить ее на поворотном устройстве.

3. Используя расчетные соотношения, приведенные в теоретической части данного описания, вычислить геометрические размеры директоров, активного вибратора, рефлектора и расстояний между ними для семиэлементной антенны «волновой канал». Средняя частота диапазона, в котором работает антенна, соответствует средней частоте логопериодической антенны.

4. По определенным в результате расчета геометрическим размерам собрать на траверсе антенну и укрепить ее на поворотном устройстве.

5. Произвести предварительную юстировку антенн и установить по шкале генератора частоту, соответствующую резонансной частоте антенны «волновой канал».

6. Измерить диаграмму направленности исследуемой антенны. Для этого выполнить следующие операции:

6.1. Отметить показания измерительного прибора регистратора  $q_{max}$ , соответствующие нулевому значению угла поворота антенны.

6.2. Поворачивать передающую антенну с помощью поворотного устройства по часовой стрелке до тех пор, пока показания измерительного прибора не уменьшатся в два раза.

6.3. Отметить значение угла поворота антенны. Этот угол определяет ширину диаграммы направленности исследуемой антенны  $\alpha_{0,5}$ .

6.4. Повернуть антенну в положение, соответствующее нулевому отсчету угла (максимальные показания измерительного прибора регистратора).

6.5. Измерить ненормированную диаграмму направленности исследуемой антенны. Для этого снять зависимость показаний измерительного прибора  $q$  от угла поворота антенны  $\alpha$ . Угол изменять с постоянным шагом, выбрав его так, чтобы в пределах ширины диаграммы направленности уложилось не менее 5 отсчетных точек. Измерения проводить, меняя угол от 0 до 180 градусов и вращая антенну по часовой стрелке. Результаты измерений занести в таблицу 3.6.

Таблица 3.6

Данные измерений

$\alpha$ , град.	0	$\alpha_1$		0	$-\alpha_1$	
$q$	$q_{max}$					
$q_n$						

6.6. Отметить показания прибора  $q_{min}$ , соответствующие повороту антенны на 180 градусов. Вычислить коэффициент защитного действия КЗД по формуле (3.1).

6.7. Повторить измерения ненормированной диаграммы направленности антенны в соответствии с пунктом 4.5, вращая ее против часовой стрелки. Такому повороту соответствует отрицательное значение угла поворота.

6.8. Произвести нормировку диаграммы направленности. Для этого определить нормированное значение мощности на выходе приемной антенны  $q_n$  по формуле (3.2).

7. Повторить измерения диаграмм направленности логопериодической антенны для минимальной и максимальной частот диапазона ее перестройки. Для каждой из этих частот требуется изменение геометрических размеров передающей антенны «волновой канал». Размеры определяются с использованием расчетных соотношений, приведенных в теоретической части данного описания. Измерение диаграмм направленности логопериодической антенны на различных частотах проводится в соответствии с пунктами 4 - 6.

8. Сравнить диаграммы направленности логопериодической антенны на разных частотах и сделать вывод о ее диапазонных свойствах.

9. Сравнить диаграммы направленности семиэлементных логопериодической и антенны «волновой канал» и сделать вывод об их диапазонных свойствах.

### 3.5. Контрольные вопросы и задания ([1])

1. Опишите конструкцию антенны типа «волновой канал». Какие вибраторы называются директорами, какие - рефлекторами? Какие конструкции активных вибраторов можно использовать в такой антенне?

2. Расскажите, что собой представляет объемная диаграмма направленности полуволнового симметричного вибратора и антенны типа волновой канал. Нарисуйте диаграммы направленности вышеназванных антенн в прямоугольной системе координат в плоскости Е и в плоскости Н. Какие параметры антенны определяются из приведенных диаграмм направленности?

3. Опишите конструкцию логопериодической антенны и нарисуйте ее. Чем отличается конструкция логопериодической антенны от антенны типа «волновой канал»?

4. Опишите форму объемной диаграммы направленности полуволнового симметричного вибратора и логопериодической антенны. Нарисуйте диаграммы направленности вышеназванных антенн в прямоугольной системе координат в плоскости Е и в плоскости Н. Какие параметры антенны определяются из приведенных диаграмм направленности?

5. Опишите метод сравнения при определении коэффициента усиления антенны. Чему равно значение КПД у полуволнового симметричного вибратора, антенны типа «волновой канал» и логопериодической антенны?

6. Приведите функциональную схему лабораторной установки для исследования антенны «волновой канал» и логопериодической антенны. Опишите составные части функциональной схемы. Расскажите о методике снятия диаграммы направленности в плоскости Е и в плоскости Н. На каком расстоянии должны быть расположены антенны при экспериментальном снятии диаграммы направленности?

7. Нарисуйте эскиз детекторной секции и опишите его конструкцию. Какие приборы можно использовать для регистрации уровня сигнала на приемной антенне, если на передающую антенну подается: а) амплитудно-модулированный сигнал; б) ВЧ сигнал без модуляции?

8. Каким образом можно измерить коэффициент отражения исследуемой антенны на выбранной частоте? Приведите блок-схему измерений и опишите его составные части и назначение элементов.

9. Какими приборами можно измерить коэффициент отражения исследуемой антенны в широкой полосе частот? Приведите блок-схему измерений и опишите его составные части и назначение элементов.

10. Определите собственные и взаимные сопротивления, если известны: частота, размеры вибратора, рефлектора и расстояние между ними (таб. 3.7)

Таблица 3.7

Данные для расчетов

Вариант	1	2	3	4	5	6
$f$ , МГц	52,5	80	96	186	202	60
$2l_1$ , мм	2690	1705	1420	716	660	1250
$2l_2$ , мм	3020	1950	1620	825	760	1300
$d_F$ , мм	875	844	704	359	330	1000

11. Антенна состоит из активного вибратора и рефлектора. Известны собственное сопротивление рефлектора и сопротивление связи (таб. 3.8). Определите амплитуду и фазу тока рефлектора. Ток активного вибратора принять равным 1, сопротивление настройки рефлектора 0.

Таблица 3.8

Данные для расчетов

Вариант	1	2	3	4	5	6
$Z_2, \text{Ом}$	$85 + j50$	$80 + j30$	$85 + j20$	$70 + j20$	$60 + j87$	$80 + j10$
$Z_{12}, \text{Ом}$	$60 - j10$	$45 - j25$	$40 - j20$	$45 - j20$	$40 - j25$	$40 - j10$

12. Антенна состоит из вибратора и рефлектора. Определите коэффициент защитного действия, если известны: расстояние между вибраторами, амплитуда и фаза тока рефлектора (таб. 3.9).

Таблица 3.9

Данные для расчетов

Вариант	1	2	3	4	5	6
$M$	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,65
$\Phi_2, ^\circ$	100	120	140	90	120	90
$d/\lambda$	0,25	0,2	0,3	0,25	0,2	0,2

#### 4. Содержание отчета по результатам выполнения лабораторной работы

В зависимости от требований преподавания отчет представляется в электронной или печатной форме.

Отчет должен содержать титульный лист, на котором указывается название лабораторной работы, фамилии авторов и должность с фамилией преподавателя.

После титульного листа следуют основные теоретические положения, использованные в данной работе, методика измерений тех или иных параметров.

В экспериментальной части приводится блок-схема измерений, результаты измерений в виде заполненных таблиц, пример расчета по используемым формулам, строятся необходимые графики.

Каждое выполненное задание с результатами обработки экспериментальных данных заканчивается выводами.

Небрежно оформленные отчеты к защите не допускаются.

Защита работы включает в себя обсуждение полученных результатов, проверку усвоения студентом методики измерений и ответы на контрольные вопросы и задания.



### Список используемой литературы

1. Рябова Н.В. «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства»/ Рябова Н.В., Смирнов Р.В., Бабенко А.Н., Атаманчук С.В. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005 г.
2. Стенин Ю.М. «Антенны и антенные системы». – Казань: КГУ, 2012 г.
3. Кочержевский Г.Н. «Антенно-фидерные устройства»/ Кочержевский Г.Н., Ерохин Г.А., Козырев Н.Д. – Москва: Радио и связь, 1989 г.
4. Кубанов В.П. «Антенны и фидеры – назначение и параметры». – Самара, ПГУТИ, 2012 г.
5. Воскресенский Д.И. «Устройства СВЧ и антенны»/ Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И. – Москва: Радиотехника, 2006 г.
6. Ерохин Г.А. «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн»/ Ерохин Г.А., Чернов О.В., Козырев Н.Д., Кочержевский В.Д. – 3-е изд. – Москва: Горячая линия - Телеком, 2007 г.
7. Сазонов Д.М. «Антенны и устройства СВЧ». – Москва: Высшая школа, 1989 г.
8. Зырянов Ю.Т. «Основы радиотехнических систем»/ Зырянов Ю.Т., Белоусов О.А., Федюнин П.А. – Тамбов: ФГБОУ ВПО ТГТУ, 2011 г.
9. Борийчук Г.И. Основные электрические характеристики приемных телевизионных антенн и требования к ним [Электронный ресурс]/ Борийчук Г.И., Булыч В.И. // qrx.narod.-URL: [http://www.qrx.narod.ru/anten/h\\_tvant](http://www.qrx.narod.ru/anten/h_tvant) (дата обращения: 7.03.13)
10. Ликонцев Д.Н. «Антенно-фидерные устройства: конспект лекций». – Ташкент: ТУТТ, 2002 г.
11. Левашов Николай. Основные типы антенн [Электронный ресурс]/ Левашов Н. // kudi.-URL: <http://kudi.com.ua/poleznoe/osnovnye-tipy-antenn> (дата обращения: 22.02.13)
12. Хайдаров К.А. Направленное действие одиночного вибратора и системы вибраторов [Электронный ресурс]/ Хайдаров К.А. // bourabai.-URL: <http://bourabai.kz/toe/radio15> (дата обращения: 23.04.13)
13. Ликонцев Д.Н.. Логопериодические антенны [Электронный ресурс]/ Ликонцев Д.Н. // duplex.-URL: <http://www.duplex23.ru/html/sputntv4> (дата обращения: 15.03.13)
14. Петров Б.М. «Логопериодические вибраторные антенны»/ Петров Б.М., Горемыкин Е.В., Костромитин Г.И. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2005 г.
15. Нефёдов Е.И. «Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн». – 2-е изд. – Москва: Академия, 2008 г.
16. Чернышов В.П. «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства. Задачи и упражнения». – Москва: Радио и связь, 1982 г.

17. Ликонцев Д.Н. Особенности антенн для телевидения, радиорелейных линий и космической радиосвязи [Электронный ресурс]/ Д.Н. Ликонцев// library.tuit.-URL: [http://library.tuit.uz/lectures/afu/anten\\_fider\\_ustr/lecture\\_12](http://library.tuit.uz/lectures/afu/anten_fider_ustr/lecture_12) (дата обращения: 3.04.13)
18. Антенны «Волновой канал» [Электронный ресурс]// radiomaster.-URL: <http://www.radiomaster.net/load/1-65/index> (дата обращения: 30.04.13)
19. Основные требования, нормы и технические характеристики телевизионных антенн [Электронный ресурс]// radioradar.-URL: [http://www.radioradar.net/hand\\_book/documentation/antena\\_tv](http://www.radioradar.net/hand_book/documentation/antena_tv) (дата обращения: 23.04.13)