

УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ

Кафедра АФУ

**МЕТОДИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО
К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ №4,5,6**

по дисциплинам «Распространение радиоволн и
антенно-фидерные устройства» и
«Антенны и устройства СВЧ»
направления образования «Естественные,
радиосвязь и радиовещание», «Радиотехника»

UZ AFDU

TATU
KUTUBXONASI

Ташкент 2004

Лабораторная работа №4 «ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ АНТЕННЫ»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Изучение влияния расположения облучателя на диаграмму направленности параболической антенны.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Параболическая антенна состоит из облучателя и зеркала, которое, преобразуя сферическую волну облучателя в плоскую, формирует остронаправленное излучение. На рис.2.1 приведен эскиз параболического зеркала с указанием лучей, идущих из фокуса зеркала F , где находится точечный источник сферических волн. Отрезок OF называется фокусным расстоянием и обозначается f_0 . Часть плоскости (при $Z = Z_0$), ограниченная кромкой параболоида, называется раскрывом зеркала. Линия CD представляет собой сечение плоскости раскрыва параболоида.

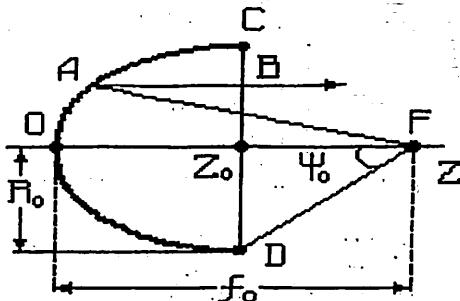


Рис.2.1. Эскиз параболической антенны

Ломаная линия FAB обозначает путь произвольного луча электромагнитной волны облучателя. Из аналитической геометрии известно, что длина этого пути не зависит от положения точки на поверхности параболоида. Поэтому все, отраженные от зеркала, лучи в плоскости раскрыва и плоскостях, параллельных ей, оказываются в фазе. Таким образом, параболическая антенна преобразует сферическую волну точечного источника в плоскую. Реальные облучатели не являются точечными. Однако, если фазовый центр облучателя совпадает с фокусом параболоида, можно считать, что облучатель является точечным источником, расположенным в фокусе параболы.

Если фазовый центр облучателя смещен относительно фокуса в направлении перпендикуляра к оси зеркала (рис.2.2.а), то лучи, отраженные в соответствующих точках зеркала, достигают поверхности раскрыва не

одновременно. Так, луч 2 достигает поверхность раскрыва позже чем луч 1, а луч 3 позже, чем луч 2, то есть поверхности раскрыва зеркала перестает быть синфазной. На рис.2.2.б показаны соответствующие законы распределения фаз в раскрыве параболы при разных значениях величин смещения ΔX облучателя. При небольшой величине смещения ΔX облучателя и достаточно длиннофокусном зеркале, фазовое распределение на поверхности раскрыва близко к линейному. Поэтому, в этом случае, вынос облучателя из фокуса в направлении перпендикуляра к оси зеркала, приводит к повороту диаграммы направленности в сторону противоположную смещению облучателя, как показано на рис.2.1.в. Угол поворота диаграммы направленности ν_2 при малых смещениях облучателя примерно равен углу смещения облучателя ν_1 .

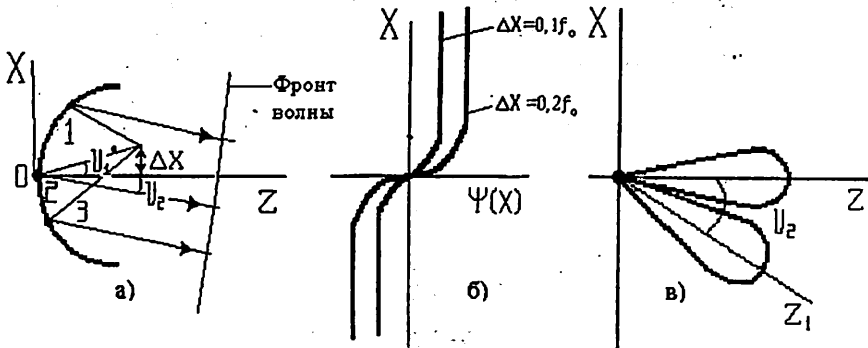


Рис.2.2. К формированию диаграммы направленности антенны

Увеличение смещения ΔX приводит к появлению фазовых искажений (преимущественно кубических) в раскрыве антенны. Чтобы величина фазовых искажений не превышала допустимой (45°), должно выполняться условие

$$\Delta x \leq 0,6 \lambda / \sin \Psi_0, \quad (2.1)$$

где λ – длина волны,

Ψ_0 – угол раскрыва зеркала.

Смещение облучателя из фокуса в направлении перпендикуляра к оси параболы широко используется в практике для управления диаграммой направленности параболической антенны. При этом обычно облучатель перемещается не перпендикулярно оси Z , а по дуге, радиус которой равен фокусному расстоянию.

При смещении облучателя вдоль фокальной оси (вдоль оси Z) также возникают нелинейные (преимущественно квадратичные) фазовые искажения поля в раскрыве антенны, которые приводят к расширению диаграммы направленности параболической антенны и исчезновению нулей на ней.

Диаграммы направленности реальных облучателей таковы, что не вся, излученная облучателем, энергия попадает на зеркало. Часть энергии

облучателя проходит мимо зеркала, что увеличивает уровни боковых лепестков диаграммы направленности зеркальной антенны.

Коэффициент направленного действия (КНД) параболической антенны можно рассчитать по формуле (2.2).

$$D = \nu_{рез} \frac{4\pi S}{\lambda^2}, \quad (2.2)$$

где S – площадь поверхности раскрыва;

$\nu_{рез} = \nu\eta_1$ – результирующий КИП (коэффициент использования поверхности раскрыва) зеркальной антенны;

ν – КИП раскрыва зеркала (апертурный КИП), определяемый только амплитудным распределением в раскрыве (если раскрыв возбуждается синфазно);

$\eta_1 = P_{\Sigma} / P_{обл}$ – отношение мощности, излученной зеркалом, к мощности излученной облучателем (потери в зеркале здесь не учитываются).

Коэффициент усиления (КУ) G можно определить по формуле

$$G = \eta_2 * D, \quad (2.3)$$

где $\eta_2 = P_{\Sigma} / P_{обл}$;

$P_{обл}$ – мощность подведенная к облучателю.

Коэффициент η_2 , который можно назвать КПД зеркальной антенны, учитывает тепловые потери энергии в облучателе, в элементах крепления облучателя, в краске, покрывающей внутреннюю поверхность зеркала и т.д.

Если при заданной форме зеркала ($R_0/f_0 = \text{const}$) расширить диаграмму направленности облучателя, то облучение зеркала становится более равномерным (апертурный КИП растет), что ведет к росту $\nu_{рез}$ и КНД. Однако вместе с тем увеличивается доля энергии, проходящей мимо зеркала (уменьшается η_1), что уменьшает $\nu_{рез}$ и КНД.

При сужении диаграммы направленности облучателя возрастает неравномерность амплитудного распределения (уменьшается ν), при этом уменьшается $\nu_{рез}$ и КНД, но одновременно уменьшается переливание энергии через края зеркала (растет η_1), что вызывает увеличение $\nu_{рез}$ и КНД.

Два, противоположно действующих на КНД антенны, фактора при постоянной величине R_0/f_0 или угла раскрыва зеркала ($2\psi_0$) и при изменяемой ширине диаграммы направленности облучателя, определяют условия оптимального облучения зеркала, при котором КНД становится максимальным.

Для большинства, применяющихся на практике, облучателей оптимальное условие облучения зеркала выполняется, если диаграмма направленности облучателя обеспечивает уменьшение напряженности поля на краях зеркала ($E_{кр}$) относительно напряженности поля у его вершины (E_0) на 10 дБ, т.е. $20 \lg(E_{кр}/E_0) = -10$ дБ или $E_{кр}/E_0 = 0,316$.

Диаграмма направленности параболической антенны определяется диаграммой направленности облучателя и формой зеркала (R_0/f_0)

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Структурная схема установки для исследования влияния расположения облучателя на диаграмму направленности параболической антенны представлена на рис.3.1.

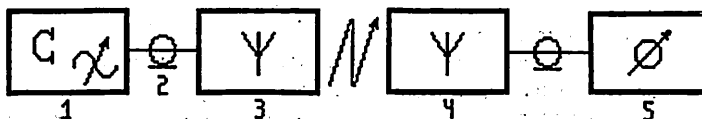


Рис.3.1. Структурная схема лабораторной установки (1 – генератор, 2 – коаксиальный кабель, 3 – передающая антенна, 4 – исследуемая параболическая антенна, 5 – детекторная секция с индикатором)

Приемная часть установки смонтирована на подвижной стойке, что позволяет снимать диаграмму направленности параболической антенны в горизонтальной плоскости (в плоскости Е)

4. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

4.1. Включить генератор и дать ему прогреться в течение 10...15 минут.

4.2. Перемещая облучатель вдоль фокальной оси и перпендикулярно ей, настроить антенну по максимальному показанию индикаторного прибора. При этом фокус параболического зеркала совпадает с фазовым центром облучателя.

4.3. Снять диаграмму направленности антенны при положении облучателя в фокусе, записывая углы поворота φ антенны и показания индикаторного прибора α .

4.4. Снять диаграммы направленности антенны при смещении облучателя вдоль фокальной оси (оси Z) (несколько фиксированных положений по заданию преподавателя), записывая углы поворота φ антенны и показания индикаторного прибора α .

4.5. Снять диаграммы направленности антенны при смещении облучателя из фокуса в направлении перпендикуляра к фокальной оси (несколько положений по заданию преподавателя), записывая углы поворота φ антенны и показания индикаторного прибора α .

4.6. Результаты измерений занести в таблицу типа табл.4.1.

Таблица 4.1

Результаты экспериментальных исследований

φ°	-15	-14	...	-1	0	1	...	14	15	Примечание
α , мкА										облучатель в фокусе
$F(\varphi) = \alpha / \alpha_{\max}$										
α , мкА										облучатель смещен 1 фок. оси на ... мм
$F(\varphi) = \alpha / \alpha_{\max}$										
α , мкА										облучатель смещен вдоль фок. оси на...мм
$F(\varphi) = \alpha / \alpha_{\max}$										

4.7. Построить нормированные диаграммы направленности $F(\varphi)$ в прямоугольной системе координат.

5. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 5.1. Структурную схему установки.
- 5.2. Таблицы с результатом измерений.
- 5.3. Экспериментальные нормированные диаграммы направленности антенны в прямоугольной системе координат.
- 5.4. Выводы по результатам экспериментального исследования.

6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

- 6.1. Каков принцип действия параболической антенны?
- 6.2. Каким образом определение амплитуды поля в раскрыве зеркала влияет на диаграмму направленности антенны?
- 6.3. Каким образом фазовые искажения поля в раскрыве зеркала влияют на диаграмму направленности антенны?
- 6.4. Что называется коэффициентом использования поверхности раскрыва?
- 6.5. Что называется эффективной (действующей) площадью раскрыва?
- 6.6. Что называется коэффициентом направленного действия и коэффициентом усиления антенны?
- 6.7. Как изменяется диаграмма направленности антенны при смещении облучателя из фокуса?
- 6.8. Какие требования предъявляются к облучателям зеркал? Какие антенны используются в качестве облучателей параболических антенн?
- 6.9. Что называется теньвым эффектом в параболической антенне?
- 6.10. Что называется «реакцией зеркала на облучатель»?
- 6.11. Какой угол называется оптимальным углом раскрыва зеркала?
- 6.12. От чего зависит диаграмма направленности параболической антенны?
- 6.13. Какие типы зеркальных антенн Вы знаете?

- 6.14. Объясните принцип работы рупорно-параболической антенны.
- 6.15. Объясните принцип работы двухзеркальных антенн.
- 6.16. В каких системах связи применяются параболические антенны?

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочержевский Г.Н. и др. Антенно-фидерные устройства. – М.: Радио и связь, 1989 (с. 106...117; 190...218; 250...266).
2. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1972 (с.157...175; 274...298; 339...347).
3. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. – М.: Советское радио, 1974 (с. 248...265; 333...390).
4. Айзенберг Г.З. Ямпольский В.Г. Терешин О.Н. Антенны УКВ. Часть 1. – М.: Связь, 1977 (с. 138...155; 311...356).
5. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1977 (с. 263...291; 302...303).
6. Ерохин Г.А., Чернышев О.В. и др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. – М.: Радио и связь 1996 (с.75...82; 140...155).
7. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. – М.: Высшая школа, 1988 (с. 371...394).
8. Ликонцев Д.Н. Антенно-фидерные устройства. Конспект лекций. Части 1 и 2. – Т.: ТУИТ, 2002.

Лабораторная работа №5 «ИССЛЕДОВАНИЕ РУПОРНЫХ АНТЕНН»

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1. Ознакомление с принципом действия рупорных антенн и металлопластинчатой линзы.
2. Выяснения влияния размеров и формы рупора на его диаграмму направленности в плоскостях Е и Н.
3. Изучение влияния металлопластинчатой линзы, вставленной в рупор, на его диаграмму направленности.
4. Анализ экспериментальных диаграмм направленности.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Простейшей антенной СВЧ диапазона является открытый конец волновода. Электромагнитная волна, распространяющаяся в волноводе, частично отражается от его открытого конца и частично излучается. При этом на месте перехода от волновода к свободному пространству возникают волны высших типов и токи на наружных поверхностях стенок волновода.

Антенна в виде открытого конца волновода является слабонаправленной. Действительно для получения острой диаграммы направленности, т.е. большого значения коэффициента направленного действия (КНД), необходимо, чтобы размеры излучающей поверхности были много больше длины волны λ . В тоже время размеры волновода не могут выходить за определенные пределы, так как в противном случае в волноводе возникают волны высших типов. Для прямоугольного волновода (рис.2.1) с волной H_{10} размеры поперечного сечения выбираются в пределах $\lambda/2 < a < \lambda$, $b < \lambda/2$.

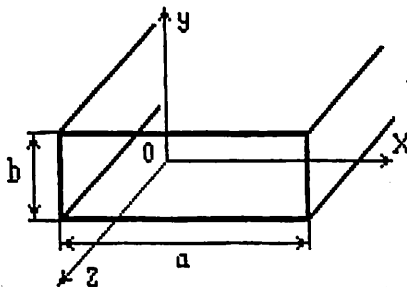


Рис.2.1. Прямоугольный волновод

Другой особенностью волноводных излучателей является их относительно плохое согласование со свободным пространством.

Таким образом, открытый конец волновода является неэффективной антенной вследствие малого значения КНД и значительного отражения электромагнитных волн от открытого конца волновода.

Для получения более острых диаграмм направленности размеры поперечного сечения волновода плавно увеличивают, превращая волновод в рупор. При этом структура поля в волноводе, в основном, сохраняется. В месте перехода волновода в рупор возникают высшие типы волн. Если угол раскрыва рупора не очень велик, то волны всех типов, кроме основного, быстро затухают в окрестностях горловины рупора. Пренебрегая волнами высших типов, можно считать структуру поля в рупоре подобной структуре поля основной волны в волноводе. Плавное увеличение поперечного сечения волновода улучшает также его согласование со свободным пространством.

Если расширение прямоугольного волновода происходит только в одной плоскости, то рупор называется секториальным.

Рупор, образованный увеличением размера a волновода, параллельного вектору H , называется секториальным H -плоскостным рупором (рис.2.2.а).

Рупор, образованный увеличением размера b волновода, параллельного вектору E , называется секториальным E -плоскостным рупором (рис.2.2.б).

Рупор, образованный одновременным увеличением размеров a и b поперечного сечения волновода, называется пирамидальным рупором (рис.2.2.в), а увеличением поперечного сечения круглого волновода – коническим рупором (рис.2.2.г).

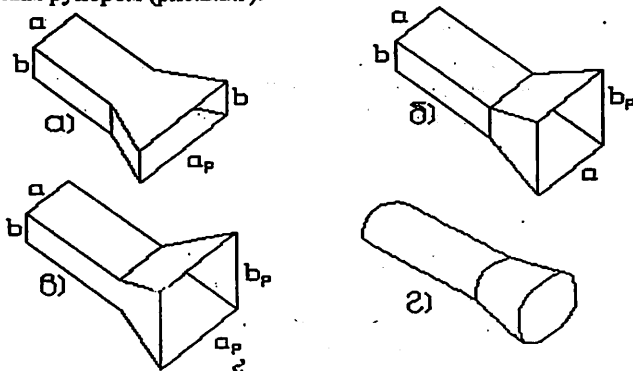


Рис.2.2 Типы рупорных антенн

Кроме размеров раскрыва, рупор характеризуется длиной L и углом раскрыва φ_0 (рис.2.4). Точка O называется вершиной рупора.

Структура поля в пирамидальном рупоре приведена на рис.2.3.

Вследствие того, что боковые стенки рупора не параллельны друг другу, векторы электромагнитного поля при переходе из волновода в рупор несколько изменяют свое направление, чтобы обеспечить выполнение граничных условий на стенках рупора (рис.2.3).

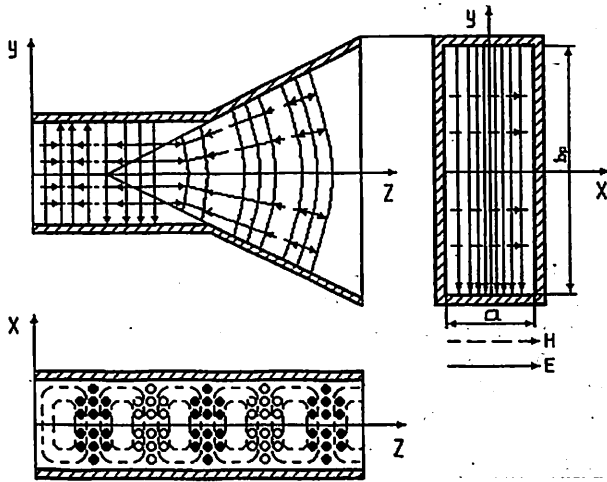


Рис.2.3. Структура поля в секторальной E – плоскостной рупорной антенне (сплошной линией изображены электрические силовые линии, пунктирной – магнитные)

Поэтому поверхностью равных фаз поля в рупоре является не плоскость, как в волноводе, а цилиндрическая поверхность в случае секториальных рупоров и сферическая поверхность в случае пирамидального и конического рупоров (рис.2.4). Вследствие этого поле в раскрыве рупора будет несинфазным.

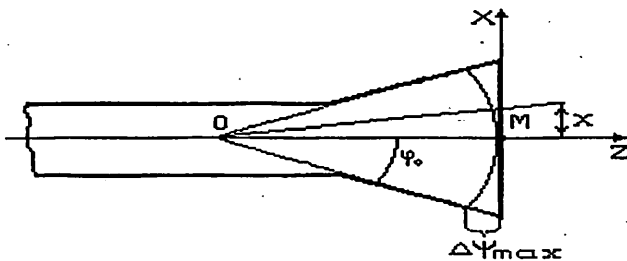


Рис.2.4. Продольное сечение рупора

В произвольной точке М с координатой X фаза поля отстает от фазы в центре раскрыва на величину

$$\Delta\Psi_x = \frac{\pi X^2}{\lambda L}, \quad (2.1)$$

а максимальное фазовое отклонение (фазовая ошибка) будет на краях раскрыва рупора:

$$\Delta\Psi_x = \frac{\pi a_p^2}{4\lambda L} \quad (2.2)$$

для Н-секториального рупора и

$$\Delta\Psi_x = \frac{\pi b_p^2}{4\lambda L} \quad (2.3)$$

для Е-секториального рупора.

Таким образом, в раскрыве рупора возникают квадратичные фазовые искажения, которые приводят к расширению диаграммы направленности и «заплыванию» нулевых излучений.

Если максимальные фазовые искажения в рупоре не превышают значений:

$$\Delta\Psi_{\max} = 3\pi/4 \text{ — в плоскости Н,} \quad (2.4)$$

$$\Delta\Psi_{\max} = \pi/2 \text{ — в плоскости Е,} \quad (2.5)$$

то при расчете диаграмм направленности фазовые искажения обычно не учитывают. Амплитудное распределение поля в раскрыве остается приблизительно таким же, что и для основной волны в волноводе. Например, для пирамидального рупора с волной Н₁₀ амплитудное распределение в Е-плоскости равномерное, а в Н-плоскости спадает к краям по косинусоидальному закону. В этом случае расчет диаграмм направленности пирамидального рупора проводится по приближенным формулам:

$$F(\varphi^H) = \frac{\pi}{8} [1 + \cos \varphi^H] \frac{\cos\left(\frac{ka_p \sin \varphi^H}{2}\right)}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \left(\frac{ka_p \sin \varphi^H}{2}\right)} \quad (2.6)$$

- в плоскости Н,

$$F(\varphi^E) = \frac{\pi}{8} [1 + \cos \varphi^E] \frac{\cos\left(\frac{kb_p \sin \varphi^E}{2}\right)}{\left(\frac{\pi}{2}\right)^2 - \left(\frac{kb_p \sin \varphi^E}{2}\right)} \quad (2.7)$$

- в плоскости Е,

где φ^E и φ^H — углы между осью Z и направлением на точку наблюдения соответственно в плоскостях Е и Н;

k — волновое число.

Ширина диаграммы направленности по половинной мощности в плоскостях Е и Н может быть рассчитана по следующим приближенным формулам:

$$2\varphi_{0,5}^E = 51^\circ \lambda b_p, \quad 2\varphi_{0,5}^H = 67^\circ \lambda a_p; \quad (2.8,2.9)$$

Диаграммы направленности рупора в плоскостях E и H независимы. Сужение или расширение рупора, например, в плоскости E приводит к изменению диаграммы направленности только в этой плоскости.

КНД рупорной антенны определяется выражением

$$D = v \frac{4\pi S}{\lambda^2}, \quad (2.10)$$

где S – площадь поверхности раскрыва рупора,

v – коэффициент использования поверхности раскрыва, зависящий от амплитудного и фазового распределения поля в раскрыве.

Допустимая величина максимального сдвига фаз определяется условием получения максимального КНД при заданной относительной длине L/λ рупора. Вначале, с увеличением относительных размеров раскрыва рупора (a_p/λ или b_p/λ) при его неизменной длине диаграмма направленности сначала становится уже и КНД растет, так как увеличиваются размеры излучающей поверхности S , которая практически остается синфазной (сдвиг фаз Ψ_{\max} – мал). При дальнейшем увеличении размеров раскрыва заметно растут фазовые искажения (значение коэффициента использования поверхности v уменьшается) вследствие чего диаграмма направленности начинает расширяться и КНД уменьшается.

При заданной длине L/λ имеется оптимальная величина a_p/λ или b_p/λ при которой получается максимальный КНД. Можно также сказать что размеру a_p/λ или b_p/λ соответствует оптимальная величина длины рупора L/λ .

Рупор, размеры которого (a_p/λ или b_p/λ) подобраны так, чтобы при заданной длине L/λ получить максимальный КНД, называется оптимальным.

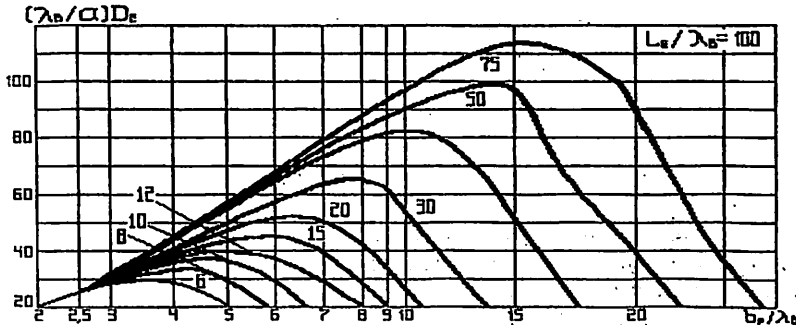


Рис.2.5 Зависимость КНД от размеров раскрыва

Коэффициент использования поверхности раскрыва v оптимальных E и H секториальных рупоров $v = 0,64$; для оптимального пирамидального рупора $v = 0,5$.

Рупорные антенны являются широкополосными антеннами. Это объясняется следующим. Если длина волны увеличивается, то

направленность рупора снижается за счет уменьшения размеров рупора по сравнению с длиной волны, но это в значительной мере компенсируется тем, что уменьшаются фазовые искажения в раскрыве рупора. При уменьшении длины волны увеличиваются фазовые искажения в раскрыве рупора, влияние которых на диаграмму направленности компенсируется увеличением поверхности раскрыва рупора по сравнению с длиной волны. Практически диапазон использования рупорных антенн определяется диапазоновыми свойствами волноводов.

Коэффициент полезного действия рупорных антенн близок к единице. Поэтому значения КНД и коэффициента усиления рупорных антенн практически совпадают.

Недостатком рупорной антенны является наличие фазовых искажений в ее раскрыве. Для уменьшения этих искажений приходится увеличивать длину рупора. Указанный недостаток рупорной антенны можно устранить применением фазовыравнивающих устройств. В качестве таких устройств чаще всего применяют различные линзы, устанавливаемые в раскрыве рупора. Линза преобразует волну с цилиндрическим или сферическим фронтом в волну с плоским фронтом, то есть поле в раскрыве рупора становится синфазным.

Обычные диэлектрические линзы не нашли широкого применения в радиотехнике главным образом из-за их дороговизны и большой массы. В технике связи на сверхвысоких частотах значительное распространение получили линзы, выполненные из параллельных металлических пластин (рис.2.6), образующих среду с коэффициентом преломления меньше единицы (ускоряющие линзы).

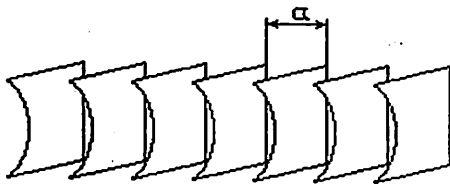


Рис.2.6. Металлопластинчатая ускоряющая линза

Вектор напряженности электрического поля E должен быть параллелен пластинам. Тогда пространство между двумя соседними пластинами может рассматриваться как волновод, в котором возбуждается волна типа H_{10} с фазовой скоростью $c/\sqrt{1-(\lambda/a)^2}$. Таким образом, система параллельных пластин представляет собой среду с эффективным коэффициентом преломления, меньшим единицы

$$n = c/v = \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2} < 1. \quad (2.11)$$

Расстояние между пластинами a должно удовлетворять неравенству $\lambda/2 < a < \lambda$ для того, чтобы между пластинами распространялась волна только одного типа H_{10} . Следовательно, коэффициент преломления ускоряющей линзы находится в пределах $0 < n < 0,86$. На практике значения n выбирают в пределах $0,5 \dots 0,7$.

Освещенная поверхность линзы (профиль линзы) имеет форму эллипсоида

3. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Структурная схема установки для исследования диаграммы направленности рупорных антенн показана на рис.3.1.

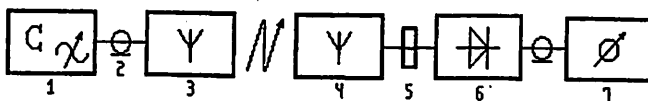


Рис.3.1. Структурная схема лабораторной установки (1 – генератор СВЧ, 2 – коаксиальный кабель, 3 – передающая антенна, 4 – приемная рупорная антенна, 5 – прямоугольный волновод, 6 – детекторная секция, 7 – индикаторный прибор)

4. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

4.1. Снять диаграммы направленности открытого конца волновода и различных рупорных антенн в плоскостях E и H .

4.2. Построить нормированные диаграммы исследуемых антенн в прямоугольной системе координат.

4.3. Сделать анализ направленных свойств исследуемых антенн.

5. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

5.1. Включить генератор и дать ему прогреться в течение $10 \dots 15$ минут.

5.2. Убедитесь в том, что передающая и исследуемая антенны имеют одинаковые поляризации (вектор E всегда перпендикулярен широкой стенке волновода).

5.3. Снять диаграммы направленности открытого конца волновода в E – и H плоскостях, поворачивая антенну с шагом в 5° , записывая показания индикаторного прибора α и соответствующие им значения угла поворота φ антенны. Результаты измерений занести в таблицу типа табл.5.1.

5.4. Снять диаграммы направленности в E – и H – плоскостях нескольких рупорных антенн (по указанию преподавателя) аналогично п. 5.3.

5.5. Снять диаграммы направленности в E – и H – плоскостях рупорной антенны с ускоряющей линзой аналогично п.5.3 (для студентов с углубленной подготовкой).

5.6. Построить нормированные диаграммы направленности $F(\varphi)$ в прямоугольной системе координат.

5.7. По построенным диаграммам направленности определить ширину главного лепестка по половинной мощности и уровень боковых лепестков.

Таблица 5.1

Результаты экспериментального исследования направленных свойств
..... в плоскости

φ^0	-40	-35	...	-5	0	5	...	35	40
α									
$F(\varphi) = \alpha / \alpha_{\text{max}}$									

6. УКАЗАНИЯ К СОСТАВЛЕНИЮ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

6.1. Структурную схему лабораторной установки.

6.2. Экспериментальные диаграммы направленности в прямоугольной системе координат.

6.3. Найденные по экспериментальным диаграммам направленности значения ширины диаграмм направленности и уровней боковых лепестков.

6.4. Анализ полученных экспериментальных данных.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ:

7.1. Назовите типы рупорных антенн и нарисуйте их.

7.2. Как зависят диаграммы направленности возбужденной поверхности от размеров раскрыва?

7.3. Как зависят диаграммы направленности возбужденной поверхности от амплитудного распределения поля?

7.4. Как зависят диаграммы направленности возбужденной поверхности от фазового распределения поля? Виды фазовых распределений (фазовых ошибок).

7.5. По какому закону изменяется фаза поля в раскрыве рупора и от каких параметров рупора она зависит?

7.6. Какие рупорные антенны называются оптимальными?

7.7. Сравните диаграммы направленности двух рупоров с одинаковым раскрывом, но с различной длиной L .

7.8. Почему допустимые фазовые искажения для секториальных E- и H-плоскостных рупоров имеют разные значения?

7.9. Каковы диапазонные свойства рупорных антенн?

7.10. Укажите область применения рупорных антенн.

7.11. Достоинства и недостатки рупорных антенн.

7.12. Поясните принцип действия металлопластинчатой линзовой антенны.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочержевский Г.Н. и др. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1989 (с. 106...117, 182...190).
2. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. – М.: Связь, 1972 (с. 157...175, 255...272).
3. Айзенберг Г.З., Ямпольский В.Г., Терешин О.Н. Антенны УКВ. – М.: Связь, 1977 (т.1. с. 139...155, 240...274).
4. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. – М.: Советское радио, 1974 (с. 39...45, 248...304).
5. Ерохин Г.А., Чернышев О.В. и др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. – М.: Радио и связь, 1996 (с.75...82, 134...140).
6. Ликонцев Д.Н. Антенно-фидерные устройства. Конспект лекций. Части 1 и 2. – Т.: ТУИТ, 2002.

Лабораторная работа № 6

“ИССЛЕДОВАНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ АНТЕНН”

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

В результате выполнения лабораторной работы студенты должны:
з н а т ь устройство и принцип действия диэлектрических стержневых антенн;
у м е т ь произвести расчет и экспериментальное исследование характеристик направленности диэлектрических антенн.

2. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

2.1. Диэлектрическая антенна как линия передачи поверхностной волны

Принцип действия диэлектрической антенны основан на явлении полного внутреннего отражения электромагнитных волн от границы раздела диэлектрических сред.

Известно, что при падении плоской электромагнитной волны на безгранично протяженную поверхность раздела двух диэлектриков образуется поверхностная волна при выполнении двух условий:

- волна падает из диэлектрика с большей относительной диэлектрической проницаемостью ϵ_1 на поверхность диэлектрика с меньшей относительной проницаемостью ϵ_2 (обычно вторым диэлектриком выступает воздух $\epsilon_2 = 1$);
- угол падения волны больше угла полного внутреннего отражения (критического угла) или равен ему.

Поверхностная волна, которая образуется в оптически менее плотном диэлектрике (воздухе) как бы “прилипает” к поверхности раздела двух диэлектриков и характеризуется следующими свойствами:

- амплитуда напряженности поля этой волны в воздухе быстро убывает по экспоненциальному закону по нормали к поверхности раздела;
- поверхностная волна направлена по оси антенны, причем фазовая скорость этой волны v меньше скорости света c и больше фазовой скорости волны в безграничной среде с параметром ϵ_1 (т.е. величины $c/\sqrt{\epsilon_1}$);
- имеются продольные составляющие векторов напряженности поля E_z и H_z .

Диэлектрический стержень антенны можно рассматривать как отрезок диэлектрического волновода. Из теории диэлектрических волноводов известно, что в них могут распространяться как симметричные, так и несимметричные волны. Волны симметричного типа, как правило, не используются в диэлектрических стержневых антеннах так как из-за осевой

симметрии они не излучают вдоль оси стержня. Несимметричные волны H_{mn} и E_{mn} ($m \neq 0, n \neq 0$) в диэлектрическом волноводе не разделяются, а существуют совместно, т.е. являются вырожденными. Основной волной среди этих волн является гибридная волна HE_{11} .

Распределение поля волны HE_{11} показано на рис.2.1. В отличие от волны H_{11} в круглом металлическом волноводе, касательные составляющие электрического поля волны к границе диэлектрика отличны от нуля из-за существования поля вне диэлектрического стержня. Следствием этого является наличие продольной составляющей электрического поля волны HE_{11} , объясняющее одновременное существование в диэлектрическом волноводе несимметричных волн класса H и E .

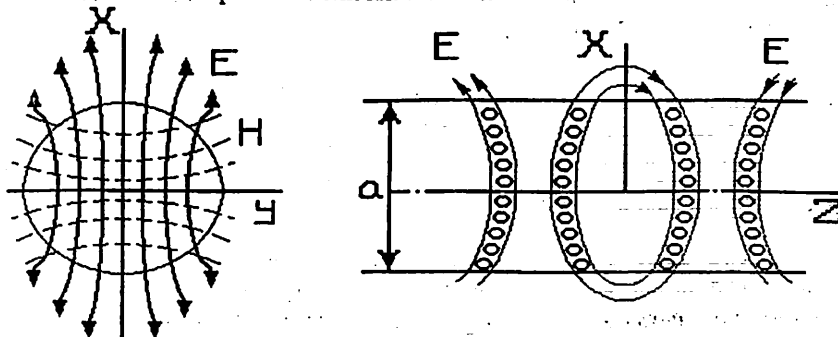


Рис.2.1. Структура поля волны HE_{11} в диэлектрическом стержне

Твердый диэлектрик обладает свойством более сильной концентрации поля в себе по сравнению с окружающим воздухом. Поэтому поперечный размер стержня значительно влияет на распределение энергии электромагнитного поля, распространяемого по стержню и в окружающем пространстве. Если диаметр стержня близок к длине волны большая часть энергии передается внутри него, а при уменьшении диаметра большая часть энергии направляется по внешней поверхности стержня.

Любая антенна поверхностной волны состоит из двух элементов: возбудителя электромагнитного поля (например коаксиально – волноводного перехода) и собственно антенны (направителя), представляющей собой замедляющую структуру, трансформирующую электромагнитное поле, созданное возбудителем, в поле поверхностной волны.

2.2. Свойства направленности стержневых диэлектрических антенн

Направленные свойства антенн поверхностных волн можно анализировать с двух точек зрения:

- считая, что излученное электромагнитное поле создается синфазно возбужденной поверхностью. Этой поверхностью является часть плоского

фронта поверхностной волны на конце антенны. Чем больше коэффициент замедления c/v , тем меньше эффективная излучаемая поверхность. Максимум излучения направлен перпендикулярно фронту волны, т.е. вдоль оси антенны;

- так как в диэлектрическом стержне с волной HE_{11} линии вектора \vec{E} в поперечном сечении стержня имеют одно преимущественное направление (рис.2.1), перпендикулярное оси z , поэтому диэлектрический стержень можно рассматривать как непрерывную систему вибраторов (рис.2.2), возбуждаемых токами смещения (поляризации), оси которых перпендикулярны оси стержня. Фазы этих токов изменяются прямо пропорционально расстоянию от начала антенны, а их амплитуды (пренебрегая потерями) – одинаковы. В учебной литературе вторая концепция получила более широкое использование.

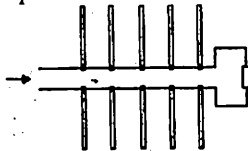


Рис.2.2. К пояснению принципа работы антенны (получения бегущей волны)

Таким образом, диэлектрическую антенну можно представить в виде антенны бегущей волны с непрерывным распределением источников и пониженной фазовой скоростью. Характеристика направленности такой антенны может быть рассчитана по формуле

$$f(\varphi) = F_1(\varphi) \cdot \frac{\sin\left[\frac{\pi L}{\lambda} \left(\frac{c}{v} - \cos\varphi\right)\right]}{\frac{\pi L}{\lambda} \left(\frac{c}{v} - \cos\varphi\right)}, \quad (2.1)$$

где $F_1(\varphi)$ - значение нормированного множителя характеристики направленности одного элемента антенны ($F^E(\varphi) = \cos\varphi$, $F^H(\varphi) = 1$),

L - длина диэлектрического стержня,

c/v - коэффициент замедления волны, определяемый из графика (рис.2.3),

λ - длина волны в свободном пространстве,

φ - угол, отсчитываемый от оси стержня

Форма диаграммы направленности определяется выбором размеров стержня: его диаметром d , длиной стержня L и материалом стержня. От размеров поперечного сечения стержня зависит величина замедления волны.

При тонком стержне замедление c/v близко к единице и почти вся энергия поверхностной волны переносится вне стержня и, следовательно, теряются направляющие свойства направителя. С увеличением диаметра стержня увеличивается замедление и эффективность возбуждения поверхностной волны.

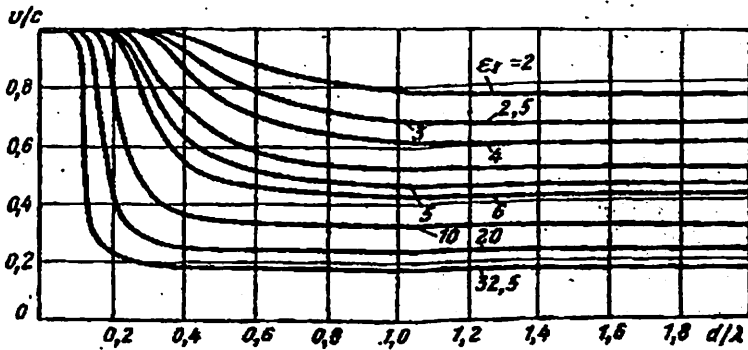


Рис.2.3. Зависимости v/c от относительного диаметра и материала диэлектрического стержня

Однако при толстом стержне из-за значительного замедления волны растут нежелательные отражения от конца стержня, которые искажают структуру поля в нем, искажают диаграмму направленности. Поэтому диаметры цилиндрических стержней не достигают значения длины волны и выбираются по условию

$$d_0 \leq \frac{\lambda}{\sqrt{\pi(\epsilon_1 - 1)}} \quad (2.2)$$

На практике для уменьшения отражения от конца стержня (уменьшения уровня боковых лепестков) стержни выполняются конической формы с диаметрами:

$$d_{\max} = d_0, \quad (2.3)$$

$$d_{\min} \leq \frac{\lambda}{\sqrt{2,5\pi(\epsilon_1 - 1)}} \quad (2.4)$$

Диэлектрическая стержневая антенна, как любая антенна бегущих волн, имеет оптимальное значение длины, при котором достигается максимальное значение ее коэффициента направленного действия. Как известно, оптимальная длина таких антенн зависит от коэффициента замедления и вычисляется по формуле

$$L = \frac{\lambda}{2\left(\frac{c}{v} - 1\right)} \quad (2.5)$$

Коэффициент направленного действия D и коэффициент усиления G диэлектрической стержневой антенны приближенно можно определить по формуле

$$D \approx G = (7...8) \frac{L}{\lambda} \quad (2.6)$$

Необходимо учесть, что при выборе длины стержня в два раза больше оптимальной может возникнуть провал в диаграмме направленности вдоль оси антенны.

3. ЗАДАНИЕ К РАБОТЕ

3.1. Ознакомиться с устройством и принципом действия диэлектрической антенны.

3.2. Исследовать влияние размеров и формы диэлектрической антенны на форму ее диаграммы направленности.

3.3. Экспериментально определить значения коэффициента направленного действия различных стержневых антенн по сравнению с эталонной.

4. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Установка позволяет измерить характеристику направленности диэлектрических стержней в плоскости H в диапазоне углов $(-90^\circ \dots 90^\circ)$. Структурная схема установки приведена на рис.4.1.

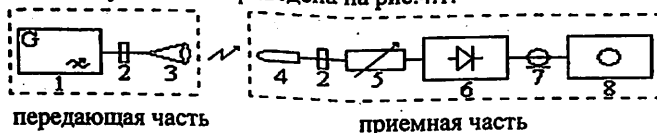


Рис.4.1. Структурная схема лабораторной установки (1- генератор сантиметрового диапазона волн, 2- прямоугольный волновод, 3- рупорная антенна, 4- исследуемая диэлектрическая антенна, 5- аттенюатор волноводный калиброванный, 6- детекторная секция, 7- коаксиальный кабель, 8- индикаторный прибор)

Приемная часть смонтирована на вращающейся штанге, имеющей диск с нанесенной на него градусной шкалой.

В лабораторной установке применяется конструкция, в которой направителем поверхностной волны является диэлектрический стержень, а ее возбудителем – открытый конец прямоугольного волновода (рис.4.2)

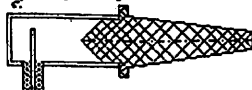


Рис.4.2. Эскиз стержневой диэлектрической антенны

Наряду со стержнями цилиндрической и конической формы используются замедляющие структуры с периодически изменяющимися вдоль оси антенны замедлением (рис.4.3.а), ребристо-стержневые антенны (рис.4.3.б) и трубчатые антенны.

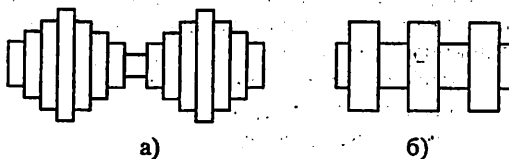


Рис.4.3. Эскиз замедляющих структур с периодически изменяющимся вдоль оси замедлением волны

5. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1. Включить генератор и после его прогрева в течение 10...15 минут установить частоту для создания одноволнового режима в прямоугольном волноводе размером 23 мм на 10 мм.

5.2. Для заданных диэлектрических стержней снять их характеристику направленности, поворачивая антенну с шагом $\varphi = 2^\circ$ в секторе углов $\pm 36^\circ$, одновременно записывая показания индикаторного прибора α . Данные измерений занести в таблицу типа табл.5.1. Построить нормированные диаграммы направленности $F(\varphi)$.

Таблица 5.1

Результаты экспериментального исследования направленных свойств диэлектрической антенны в форме..... на частоте..... МГц

φ°	α	$F(\varphi) = \alpha/\alpha_{\max}$
-36		
...		
...		
-2		
0		
2		
...		
...		
36		

5.3. Снять характеристики направленности двух диэлектрических антенн с периодически изменяющейся структурой аналогично п.5.2. Для этого необходимо собрать эти антенны из стержней и набора диэлектрических шайб, ориентируясь на рис.4.3. Результаты измерений занести в таблицу. Построить нормированные диаграммы направленности в прямоугольной системе координат.

5.4. При определении значений коэффициента направленного действия (коэффициента усиления) относительно эталонной антенны, предварительно выбирают эталонный экземпляр стержня, который, как правило, обладает широким главным лепестком диаграммы направленности (среди

исследуемых). Экспериментально - его можно также отличить по минимальному показанию индикаторного прибора в направлении максимального приема. Это показание необходимо записать.

Коэффициент усиления испытуемых антенн относительно эталонной диэлектрической антенны производится методом сравнения. Для этого необходимо установить исследуемую антенну так, чтобы индикатор показывал максимальное значение. Вращая ручку калиброванного аттенюатора, добиться уменьшения показаний индикаторного прибора до показания, зафиксированного от эталонной антенны. Разность показаний значений аттенюатора $N_1 - N_2$ и будет равна значению коэффициента направленного действия (коэффициента усиления) антенны относительно эталонной

$$N_1 - N_2 = 10 \lg \frac{D}{D_0} = 10 \lg \frac{G}{G_0}, \text{ дБ,}$$

где D - коэффициент направленного действия исследуемой антенны,

D_0 - коэффициент направленного действия эталонной антенны.

G - коэффициент усиления исследуемой антенны,

G_0 - коэффициент усиления эталонной антенны.

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

Отчет должен содержать:

- 6.1. Структурную схему лабораторной установки.
- 6.2. Диапазон частот одноволнового режима.
- 6.3. Экспериментальные характеристики направленности диэлектрических антенн (в виде таблиц).
- 6.4. Экспериментальные диаграммы направленности диэлектрических антенн в прямоугольной системе координат.
- 6.5. Экспериментальные значения коэффициента направленного действия исследуемых антенн относительно эталонной антенны.

7. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

7.1. Опишите принцип действия и конструкцию диэлектрической стержневой антенны.

7.2. Обоснуйте выбор типа волны, возбуждающей диэлектрический стержень.

7.3. Какими факторами ограничивается длина стержневой антенны, как определяется ее оптимальная длина?

7.4. Как зависит форма диаграммы направленности от формы и размеров диэлектрического стержня?

7.5. Как осуществляется согласование диэлектрического стержня с волноводом и окружающей средой?

- 7.6. Коэффициент замедления и его зависимость от размеров диэлектрического стержня.
- 7.7. Способы возбуждения диэлектрических стержней.
- 7.8. Пути сужения диаграмм направленности диэлектрических антенн.
- 7.9. Область использования диэлектрических антенн.
- 7.10. Диапазонные свойства диэлектрических антенн.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кочержевский Г.Н. Антенно-фидерные устройства. –М.:Радио и связь, 1972 (с.145...154; 299...313).
2. Кочержевский Г.Н., Ерохин Г.А., Козырев Н.Д. Антенно-фидерные устройства. –М.:Радио и связь, 1989 (с.174...177).
3. Фрадин А.З. Антенно-фидерные устройства. –М.:Связь, 1972 (с.355...372).
4. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. –М.:Советское радио, 1974 (с.391...398).
5. Ерохин Г.А., Чернышев О.В. и др. Антенно-фидерные устройства и распространение радиоволн. –М.:Радио и связь, 1996 (с.128...133).
6. Ликонцев Д.Н. Антенно-фидерные устройства: Конспект лекций. –Т.: ТУИТ, 2002.

Методическое руководство к лабораторным работам №4,5,6 по дисциплине «Распространение радиоволн и антенно-фидерные устройства» и «Антенны и устройства СВЧ» рассмотрено на заседании кафедры АФУ (протокол №16 от 19.04.2003г.) и рекомендовано к печати.

Отв. редактор доц. Ликонцев Д.Н.

Составитель доц. Ликонцев Д.Н.

Редакционно-корректорная комиссия:

редактор доц. Романенко Б.А.

корректор ст. преп. Павлова С.И.

Бумага офсетная. Заказ № 349

Тираж. 100

Отпечатано в типографии ТУИТ

Ташкент 700084, ул. А.Темура – 108