

Кафедра 406 МАИ
Радиофизика, антенны и микроволновая техника
Учебная лаборатория «Антенны и микроволновая техника»

Лабораторная работа № 18.

**ИССЛЕДОВАНИЕ
МОНОИМПУЛЬСНОЙ РУПОРНОЙ
АНТЕННЫ**

Работа № 18. ИССЛЕДОВАНИЕ МОНОИМПУЛЬСНОЙ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ

Цель работы

1. Изучение принципа формирования суммарной и разностных диаграмм направленности.
2. Изучение устройства и принципа работы моноимпульсной рупорной антенны.
3. Теоретическое и экспериментальное определение диаграмм направленности моноимпульсной рупорной антенны, а также коэффициента усиления и крутизны разностной диаграммы.

Теоретическая подготовка к работе

Для выполнения работы необходимо изучить материал по теории рупорных моноимпульсных антенн, имеющийся в лекциях по курсу «Устройства СВЧ и антенны», а также в [1–3]. Кроме того, необходимо изучить определение характеристик направленности антенн (Приложение А).

Назначение моноимпульсной антенны. Моноимпульсные антенны предназначены для точного определения угловых координат объектов и, в отличие от обычных антенн, позволяют получить информацию об угловом положении цели за время одного радиолокационного импульса. Широкое применение находят моноимпульсные антенны с суммарно-разностными характеристиками направленности. В этом случае антенна обеспечивает формирование трех диаграмм направленности: суммарной $F_{\Sigma}(\theta, \varphi)$ (однолепестковой) и двух разностных $F_{\Delta}(\theta)$, $F_{\Delta}(\varphi)$ (двухлепестковых) соответственно в азимутальной и угломестной плоскостях (рис. 18.1). В режиме передачи формируется одна суммарная диаграмма $F_{\Sigma}(\theta, \varphi)$, а в режиме приема – все три диаграммы $F_{\Sigma}(\theta, \varphi)$, $F_{\Delta}(\theta)$, $F_{\Delta}(\varphi)$.

Для формирования суммарной диаграммы направленности вся поверхность раскрыва антенны должна возбуждаться синфазно (рис. 18.2,а).

Максимум такой диаграммы совпадает в обеих плоскостях с нормалью к поверхности раскрыва. Разностные диаграммы направленности формируются при противофазном возбуждении левой и правой (рис. 18.2,б) или верхней и нижней (рис. 18.2,в) половин раскрыва антенной решеткой. Эти две разностные диаграммы направленности, имеющие нуль в направлении, совпадающем с нормалью к плоскости решетки, и максимумы, разнесенные в азимутальной или угломестной плоскостях, используются для получения сигнала ошибки в соответствующей плоскости. Формирование требуемого фазового распределения (синфазного или противофазного) в раскрыве рассматриваемой моноимпульсной рупорной антенны обеспечивается с помощью волноводной распределительной системы.

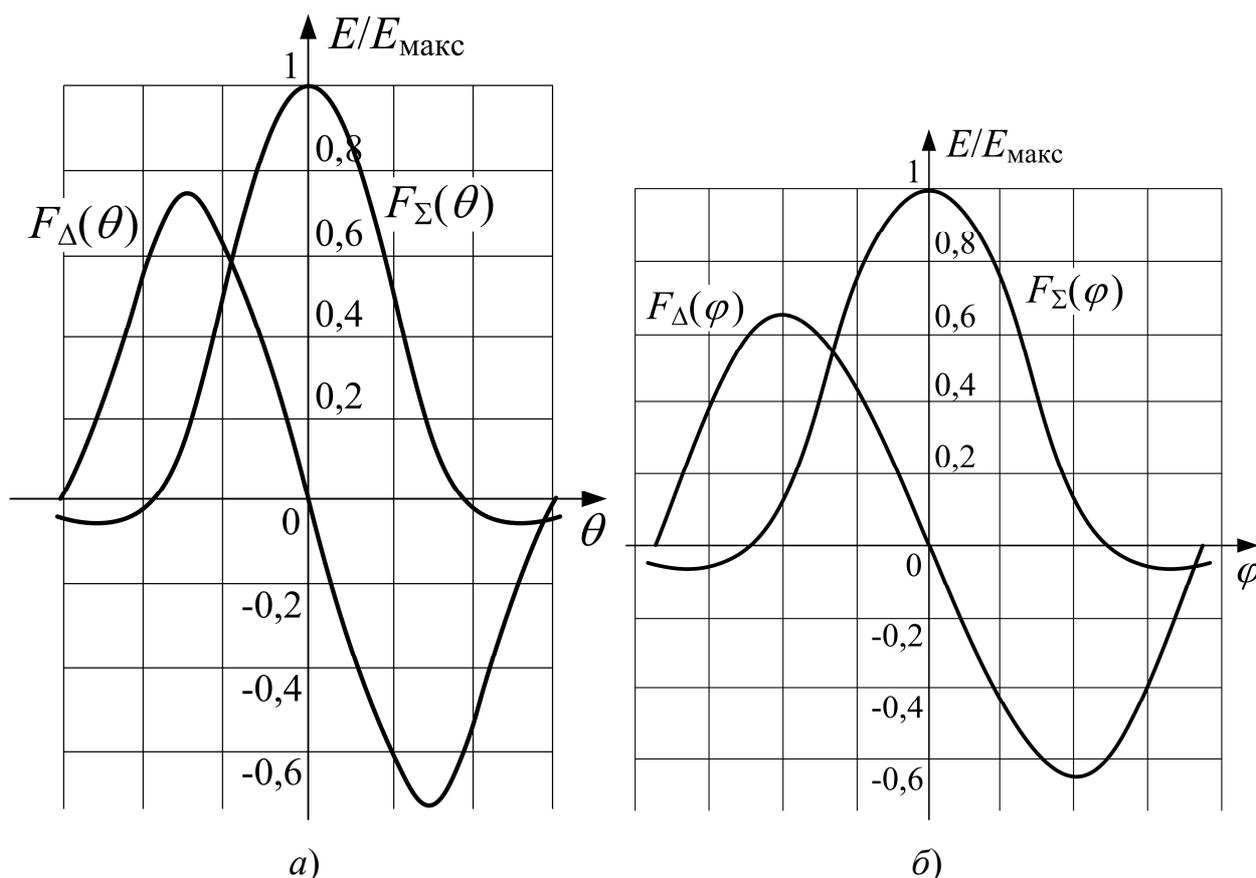


Рис. 18.1. Диаграмма направленности моноимпульсной антенны в азимутальной (а) и угломестной плоскостях (б)

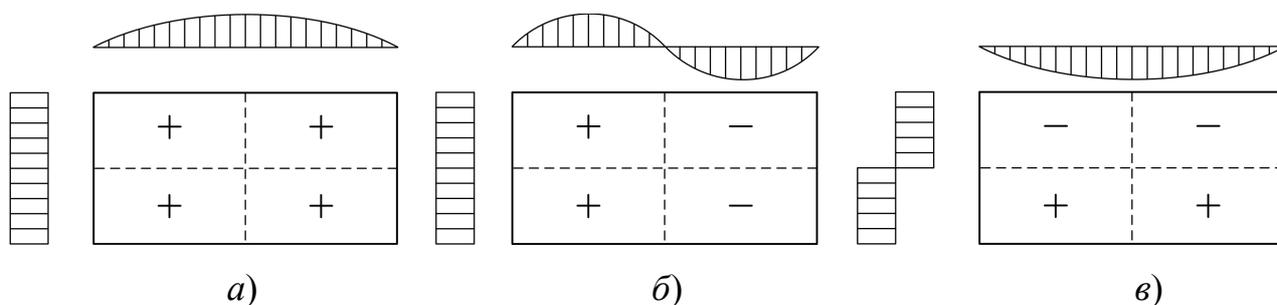


Рис. 18.2. Возбуждения раскрыва моноимпульсной антенны для формирования суммарной (а) и разностных (б,в) диаграмм направленности; рядом с раскрывом даны амплитудные распределения для рупорной моноимпульсной антенны

Устройство и принцип работы моноимпульсной рупорной антенны. Для удобства рассмотрения антенны ее принципиальная конструктивная схема, приведенная на рис. 18.3, представлена в виде двух отдельных рупоров, хотя в реальной конструкции они изготовлены в виде единой конструкции (рис. 18.4). Особенностью каждого рупора является то, что его вершина соединяется с двумя волноводами, расположенными вплотную друг к другу в H -плоскости. Эти волноводы являются плечами 3 и 4 модифицированного T -моста (рис. 18.5). При его возбуждении со стороны плеча 1 в плечах 3 и 4 волны будут возбуждаться в противофазе (рис. 18.2,в), и в то же время энергия не будет выходить из плеча 2, поскольку в нем будет возбуждаться волна H_{20} , находящаяся в закритическом режиме. При подаче энергии в плечо 2 в плечах 3 и 4 волны будут возбуждаться синфазно (рис. 18.5,б), а в плече 1 возбуждается волна E_{11} , находящаяся в закритическом режиме. Следовательно, первый вход соответствует разностной диаграмме направленности одного рупора в горизонтальной плоскости (H -плоскости), а второй – суммарной.

Для создания единой моноимпульсной рупорной антенны оба идентичных рассмотренных рупора питаются через два делителя мощности – тройник 4 и T -мост 2 (рис. 18.3). Тройник 4 возбуждает и тот и другой рупор параллельно, и его вход соответствует разностной диаграмме направленности в горизонтальной плоскости (H -плоскости). Возбуждение раскрыва в этом случае соответствует рис. 18.2,б.

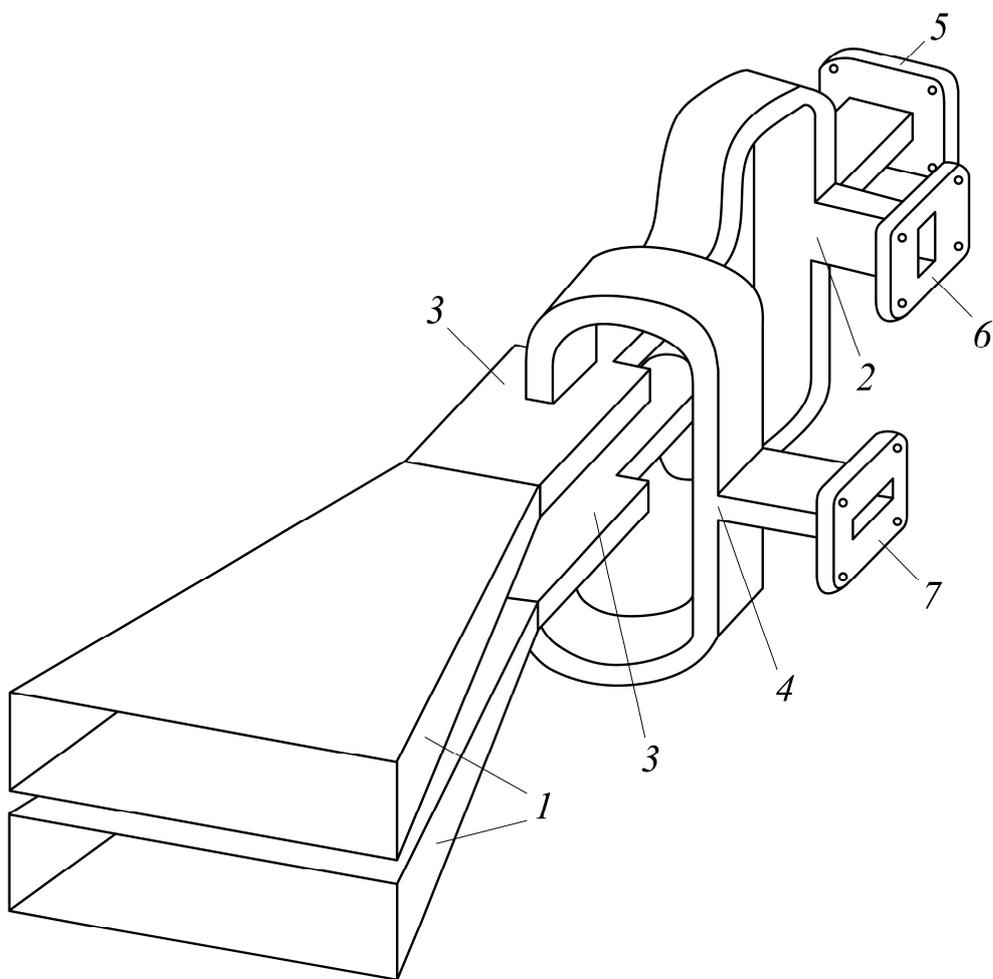


Рис. 18.3. Принципиальная конструктивная схема моноимпульсной антенны: 1 – рупоры; 2 – T -соединение (мост); 3 – модифицированный T -мост; 4 – делитель мощности (шестиполюсник); 5 – вход суммарной диаграммы направленности; 6 – вход разностной диаграммы направленности в вертикальной плоскости; 7 – вход разностной диаграммы направленности в горизонтальной плоскости

Входы 2 обоих модифицированных T -мостов (рис. 18.5,а) рупоров питаются от плеч 3 и 4 обычного T -моста (рис. 18.6), принцип действия которого точно такой же, как и модернизированного. Плечи 3 и 4 T -моста ориентированы по одной прямой, и для соединения со входом 2 модифицированных мостов рупоров их приходится изгибать, как показано на рис. 18.3 и 18.4. При учете поворота в пространстве плеч 3 и 4 T -моста каждый из двух рупоров будет возбуждаться синфазно от входа 1 этого моста и противофазно от входа 2, что обеспечивает в первом случае суммарную диаграмму направленности, а во втором – разностную диаграмму направленности в вертикальной плоскости (в плоскости вектора E).

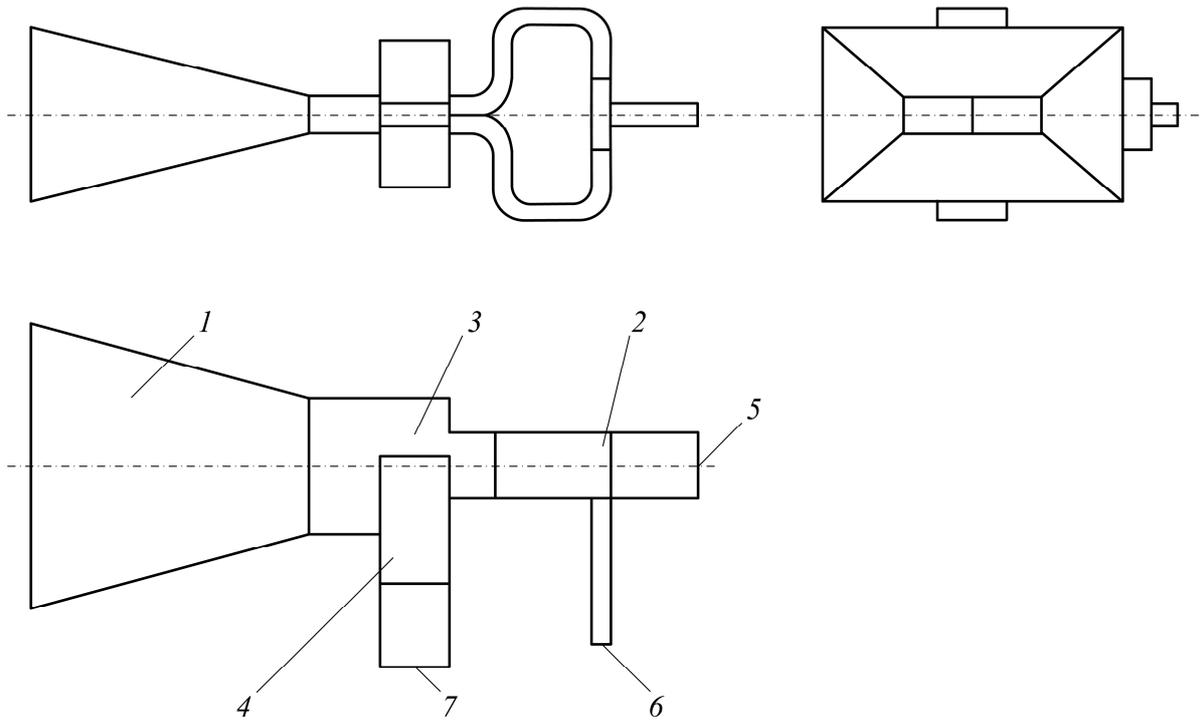


Рис. 18.4. Конструктивная схема моноимпульсной рупорной антенны (без входных фланцев): 1 – рупор; 2 – T -соединение (мост); 3 – модифицированный T -мост; 4 – делитель мощности (шестиполюсник); 5 – вход суммарной диаграммы направленности; 6 – вход разностной диаграммы направленности в E -плоскости; 7 – вход разностной диаграммы направленности в H -плоскости

Диаграммы направленности. Для рупорной моноимпульсной антенны расчет суммарной диаграммы направленности не отличается от расчета диаграммы направленности обычного рупора, поскольку амплитудно-фазовое распределение (рис. 18.2,а) соответствует такому же распределению рупора при его обычном возбуждении. Поэтому суммарная диаграмма направленности рассчитывается следующим образом:

в H -плоскости

$$F_{\Sigma H}(\theta) = \frac{1 + \cos\theta}{2} \frac{\cos\left(\frac{\pi}{\lambda} L \cos\theta\right)}{1 - \left(\frac{2}{\lambda} L \sin\theta\right)^2}; \quad (18.1)$$

в E -плоскости

$$F_{\Sigma E}(\varphi) = \frac{1 + \cos\varphi}{2} \frac{\sin\left(\frac{\pi}{\lambda} l \sin\varphi\right)}{\frac{\pi}{\lambda} l \sin\varphi}. \quad (18.2)$$

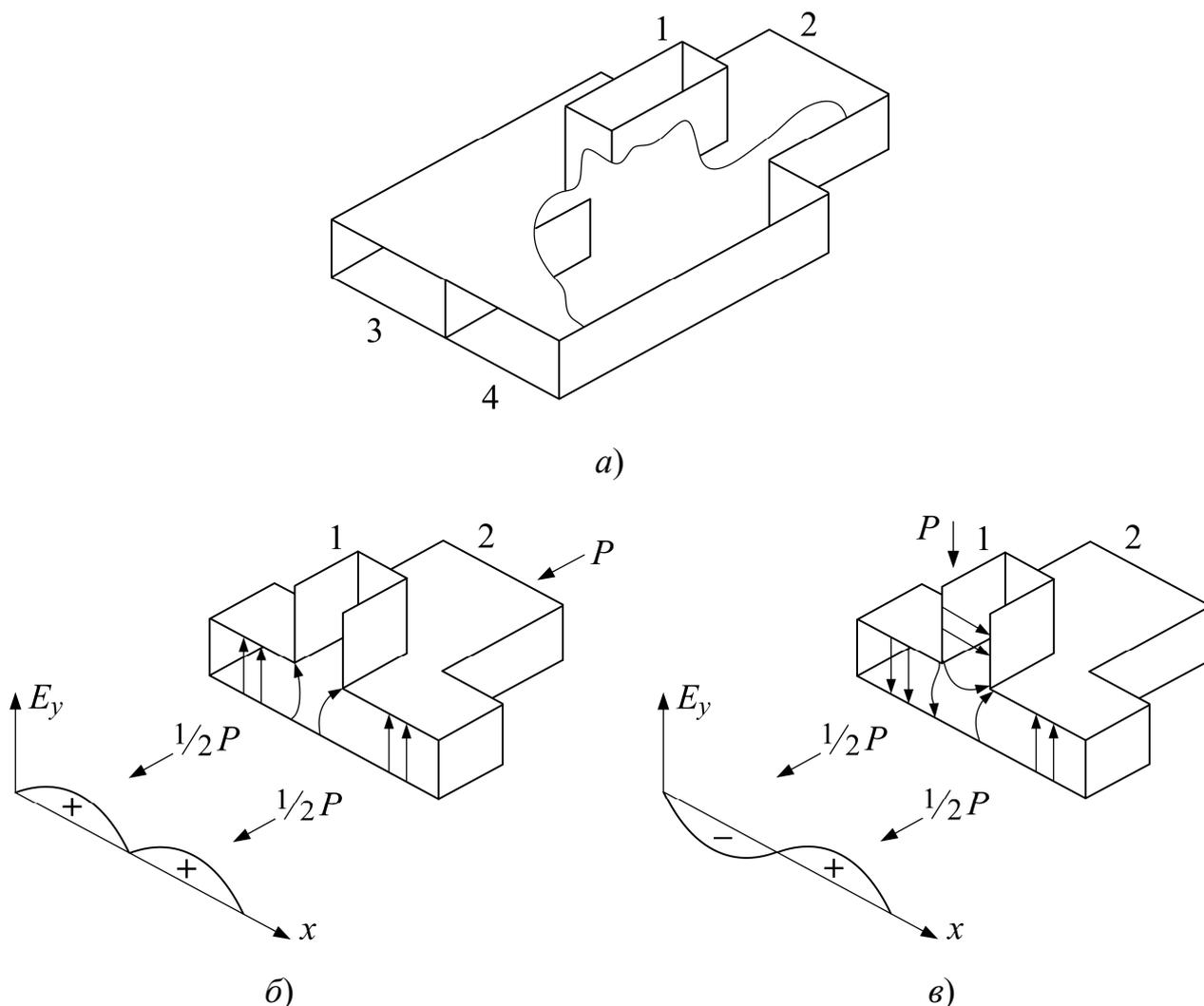


Рис. 18.5. Конструктивная схема модифицированного T -моста (а) и конфигурации электрического поля E в нем при возбуждении моста со стороны второго (б) и первого (в) плеч

В случае разностных диаграмм направленности раскрыв антенны возбуждается так, что физически антенна представляет собой решетку из двух излучателей, возбужденных противофазно (рис. 18.2,бв). Поэтому разностная диаграмма направленности рассчитывается так:

в H -плоскости

$$F_{\Delta H}(\theta) = \frac{1 + \cos\theta}{2} \frac{\cos\left(\frac{\pi L}{\lambda} \sin\theta\right)}{1 - \left(\frac{L}{\lambda} \sin\theta\right)^2} \sin\left(\frac{\pi L}{\lambda} \sin\theta\right); \quad (18.3)$$

в E -плоскости

$$F_{\Delta E}(\varphi) = \frac{1 + \cos \varphi}{2} \frac{\sin\left(\frac{\pi l}{\lambda} \sin \varphi\right)}{\frac{\pi l}{\lambda} \sin \varphi} \sin\left(\frac{\pi l}{\lambda} \sin \varphi\right). \quad (18.4)$$

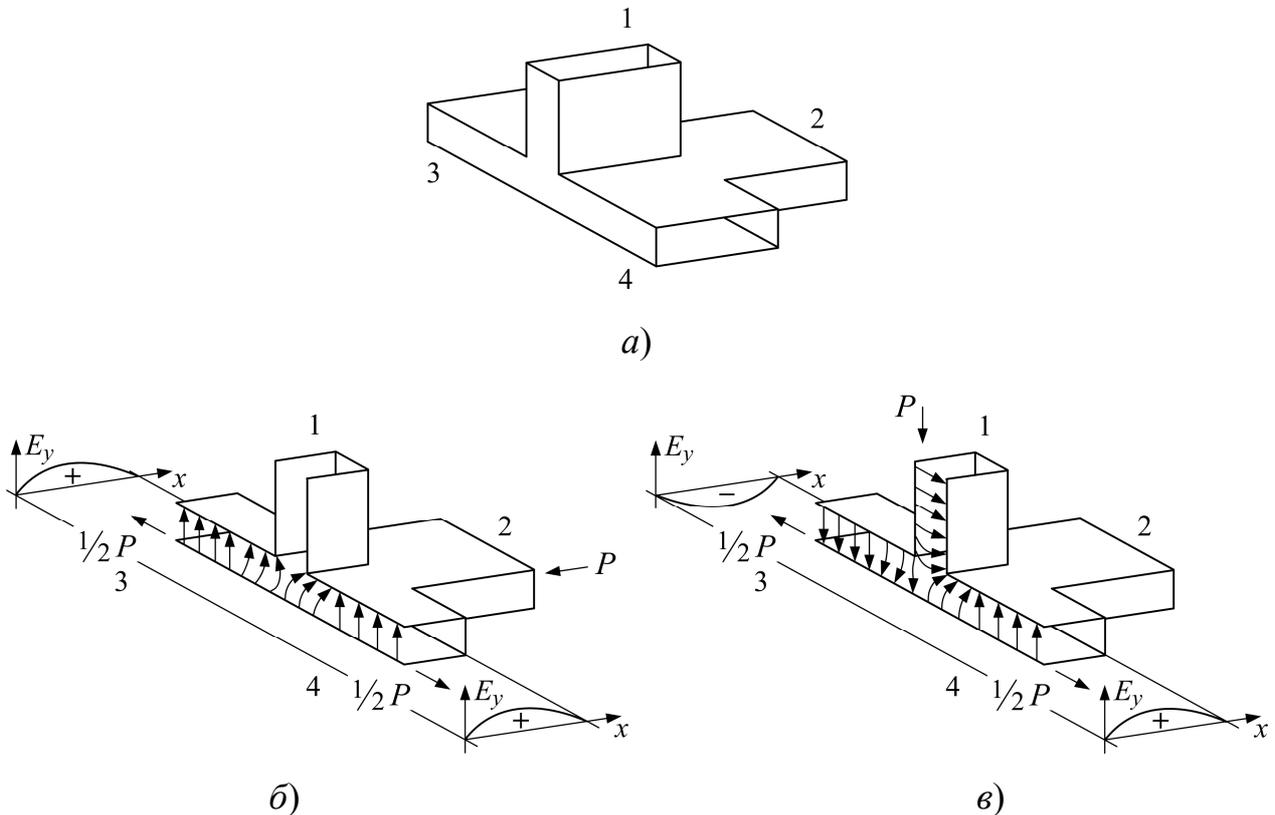


Рис. 18.6. Конструктивная схема T -моста (а) и конфигурация электрического поля E в нем при возбуждении моста со стороны второго (б) и первого (в) плеч

Крутизна разностной характеристики направленности моноимпульсной антенны. Для оценки эффективности моноимпульсных антенн наряду с коэффициентом усиления по суммарному каналу используется крутизна азимутальной (или угломестной) разностной диаграммы направленности в равносигнальном направлении (в направлении нуля между двумя главными максимумами):

$$\mu = \left. \frac{\partial F_{\Delta}(\theta, \varphi = 0)}{\partial \theta} \right|_{\theta=0} = \sqrt{G_{\Delta \max}(\theta, \varphi = 0)}, \quad (18.5)$$

где $\varphi=0$ – плоскость формирования разностной диаграммы направленности; $G_{\Delta\max}(\theta, \varphi=0)$ – коэффициент усиления в направлениях главных максимумов разностной диаграммы.

Для рассматриваемой рупорной моноимпульсной антенны в H -плоскости при $\theta=0$ характеристика направленности согласно формуле (18.3) в основном меняется за счет последнего сомножителя, а при $\varphi = 0$ – только за счет него, поэтому

$$\left. \frac{\partial F_{\Delta H}(\theta, \varphi=0)}{\partial \theta} \right|_{\theta=0} = \frac{\pi L}{2 \lambda}. \quad (18.6)$$

Направления максимумов разностной диаграммы в H -плоскости тоже будут определяться главным образом этим же сомножителем:

$$\theta_{\max} = \pm \arcsin\left(\frac{\pi}{4}\right). \quad (18.7)$$

Значение характеристики направленности в направлениях θ_{\max} , вычисленное по формуле (18.3) с применением правила Лопиталья для раскрытия неопределенности, будет равно $F_{\Delta H}(\theta_{\max}) = \pm \frac{\pi}{4}$. Поэтому для рассматриваемого рупора при возбуждении раскрыва, соответствующего разностной диаграмме направленности (см. рис. 18.2,б), коэффициент усиления в направлении θ_{\max} будет следующим:

$$G_{\Delta H\max}(\theta=\theta_{\max}, \varphi=0) = 0,81 \frac{4\pi S}{\lambda^2} F_{\Delta H}^2(\theta=\theta_{\max}) = 0,81 \frac{\pi^3 Ll}{4\lambda^2}. \quad (18.8)$$

Отметим, что при возбуждении рупора согласно эюре (рис. 18.2,а) его коэффициент усиления соответствует коэффициенту усиления обычного рупора:

$$G_{\Sigma\max} = 0,81 \frac{4\pi Ll}{\lambda^2}. \quad (18.9)$$

Следовательно, с учетом формул (18.8) и (18.9) соотношение между максимальными коэффициентами усиления в H -плоскости рассчитывается как

$$g_H = \frac{G_{\Delta\max}(\theta=\theta_{\max}, \varphi=0)}{G_{\Sigma\max}} \approx \left(\frac{\pi}{4}\right)^2 = 0,62. \quad (18.10)$$

Таким образом, в соответствии с формулой (18.5) крутизна разностной характеристики в H -плоскости при учете соотношений (18.6) и (18.8) будет иметь вид

$$\mu_H = 0,069 \frac{\sqrt{L^3 l}}{\lambda^2} \left[\frac{1}{\text{град}} \right]. \quad (18.11)$$

Аналогичные вычисления для E -плоскости позволяют получить следующие приближенные соотношения (неточность обусловлена главным образом пренебрежением влияния первого сомножителя в формуле (18.4)):

$$\left. \frac{\partial F_{\Delta E}(\theta=0, \varphi)}{\partial \varphi} \right|_{\varphi=0} = \frac{\pi l}{2 \lambda}, \quad (18.12)$$

$$\varphi_{\max} = \pm \arcsin\left(\frac{\lambda}{L}\right), \quad (18.13)$$

$$F_{\Delta E}(\varphi_{\max}) = \frac{\pi}{2}, \quad (18.14)$$

$$G_{\Delta E \max}(\theta=0, \varphi=\varphi_{\max}) = 0,81 \frac{4\pi S}{\lambda^2} F_{\Delta E}^2(\varphi=\varphi_{\max}) = 0,81 \frac{16Ll}{\pi \lambda^2}, \quad (18.15)$$

$$g_E = \frac{G_{\Delta \max}(\theta=0, \varphi=\varphi_{\max})}{G_{\Sigma \max}} \approx \left(\frac{2}{\pi}\right)^2 = 0,4, \quad (18.16)$$

$$\mu_E = \frac{\pi l}{2 \lambda} \sqrt{0,81 \frac{16Ll}{\pi \lambda^2}} = 0,056 \frac{\sqrt{Ll^3}}{\lambda^2} \left[\frac{1}{\text{град}} \right]. \quad (18.17)$$

Расчетное задание и расчетные формулы

При подготовке к работе каждому студенту необходимо рассчитать суммарную и разностную диаграммы направленности, крутизну разностной характеристики. В случае выполнения первого варианта работы эти параметры рассчитываются для H -плоскости антенны, а при выполнении второго варианта – для E -плоскости. Диаграммы направленности рассчитываются по формулам (18.1)–(18.4), в которых полагают $\lambda = 3,2$ см; $L = 100$ мм; $l = 60$ мм.

В H -плоскости диаграммы направленности рассчитываются в пределах $\theta=0 \dots 60^\circ$ с шагом в 4° ; в E -плоскости – в пределах $\varphi=0 \dots 90^\circ$ с шагом в 5° . По

расчетным данным на миллиметровой бумаге на одном рисунке в прямоугольной системе координат строят суммарную и разностную диаграмму направленности. При этом вторая половина диаграмм направленности относительно нулевого значения угла строится с учетом их симметрии или антисимметрии. Крутизна разностной характеристики для H -плоскости вычисляется по формуле (18.11), а для E -плоскости – по формуле (18.17).

Экспериментальная часть

Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 18.7) состоит из стенда с генератором и измерительным прибором (милливольтметр ВЗ-38), передающей рупорной антенны (см. Приложение Б), укрепленной на стене лаборатории, и исследуемого моноимпульсного рупора на отдельно стоящей стойке. Электрическая схема лабораторной установки приведена на рис. 18.8.

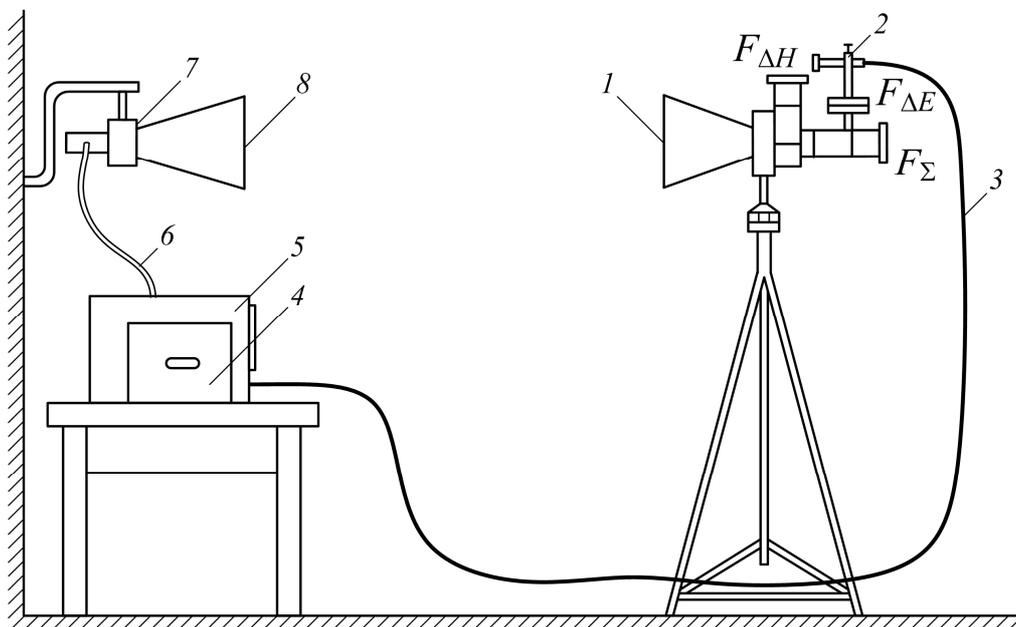


Рис. 18.7. Схематический вид лабораторной установки по исследованию моноимпульсной рупорной антенны: 1 – исследуемая моноимпульсная антенна; 2 – детекторная секция; 3 – экранированный кабель; 4 – измерительный прибор (милливольтметр ВЗ-38); 5 – СВЧ-генератор; 6 – коаксиальный СВЧ-кабель; 7 – вращающаяся муфта; 8 – передающий рупор

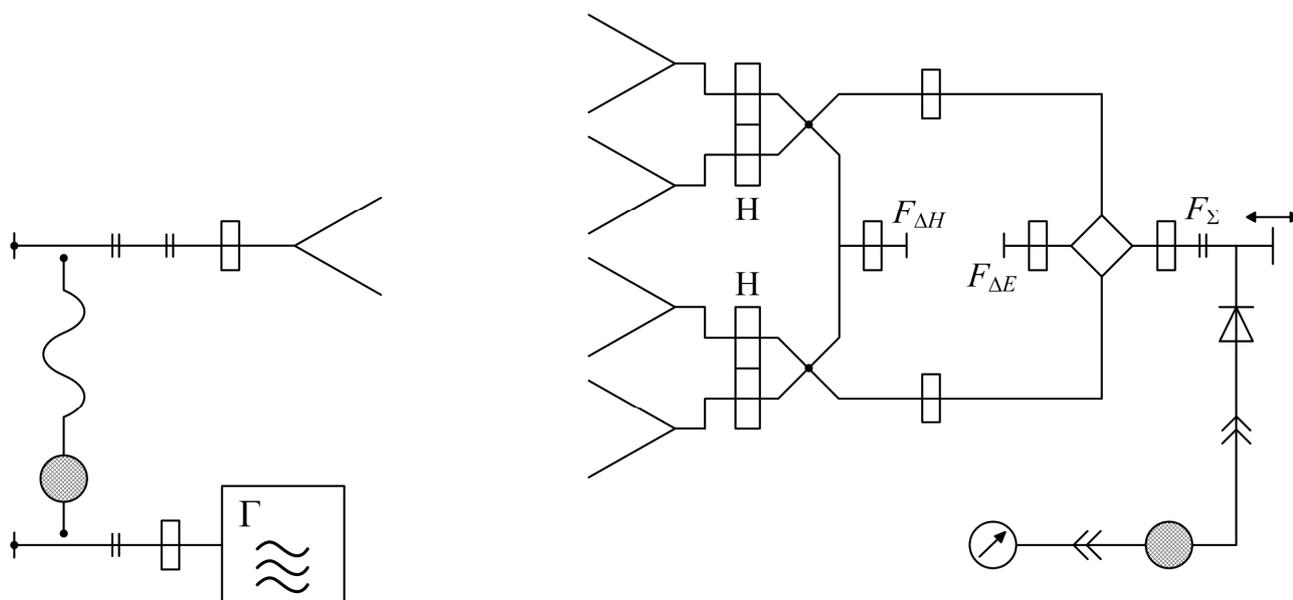


Рис. 18.8. Электрическая схема лабораторной установки по исследованию моноимпульсной рупорной антенны

Передающий рупор закреплен на торце муфты, которая может поворачиваться вокруг продольной оси с автоматической фиксацией через каждые 90° . Передача энергии от генератора к рупору осуществляется через коаксиальный кабель. Моноимпульсный рупор закреплен на головке, вращающейся вокруг вертикальной оси стойки и имеющей лимб с ценой деления 5° .

Характеристики моноимпульсной рупорной антенны исследуются в режиме приема, для чего к ее входам подключается детекторная секция, сигнал с которой по коаксиальному кабелю подается на вход измерительного милливольтметра В3-38. Показания милливольтметра В3-38 из-за влияния полупроводникового диода получают пропорциональными квадрату значения напряженности поля. Для возможности измерения характеристик рупора в E - и H -плоскостях его узел крепления имеет две взаимно перпендикулярных оси со своими головками.

Порядок выполнения эксперимента

В начале занятия бригаде студентов необходимо с разрешения преподавателя или лаборанта включить приборы установки для их предварительного прогрева перед началом эксперимента.

1. Снять суммарную диаграмму направленности.

Перед началом измерений установить приемный (исследуемый) и передающий рупоры для работы с вертикально поляризованной волной (если выполняется первый вариант работы) или для работы с горизонтально поляризованной волной (если выполняется второй вариант). Кроме того, необходимо проверить установку генератора на длину волны 3,2 см. Затем повернуть раскрыв приемного (моноимпульсного) рупора в направлении на передающий рупор, установить детекторную секцию на вход приемной антенны для снятия суммарной диаграммы направленности и настроить секцию (вращением головки винта) по максимальным показаниям измерительного прибора (милливольтметра ВЗ-38). После проведения указанных предварительных операций снять суммарную диаграмму направленности с интервалом в 5° в обе стороны от главного максимума до значений $0,01 \dots 0,02$ от его величины, заносая данные в табл. 18.1. По полученным данным после извлечения квадратного корня и их нормировки на рисунке с теоретически рассчитанной диаграммой направленности строится экспериментальная.

Таблица 18.1. Экспериментально измеренная суммарная диаграмма направленности

θ , град	-5	0	5
$f_{\Sigma}^2(\theta)$									
$f_{\Sigma}(\theta)$									
$F_{\Sigma\text{норм}}(\theta)$									

2. Снять разностную диаграмму направленности.

Переставить детекторную секцию на тот вход антенны для разностной диаграммы направленности, которая соответствует выполняемому варианту работы. Затем, повернув исследуемую антенну до получения заметных показаний измерительного прибора, настроить детекторную секцию по максимальному отклонению стрелки прибора. После настройки секции снять

разностную диаграмму направленности с шагом в 5° в секторе, содержащем два максимума и боковое излучение выше 0,01...0,02 от значения любого из двух максимумов. Полученные данные записываются в табл. 18.2 в нормированном виде (нормировка осуществляется относительно наибольшего показания суммарной диаграммы направленности), и строится экспериментальная разностная диаграмма направленности на рисунке с теоретически рассчитанной.

Таблица 18.2. Экспериментально измеренная разностная диаграмма направленности

θ , град	...	-45	...	-5	0	5	...	45	...
$f_{\Delta}^2(\theta)$									
$f_{\Delta}(\theta)$									
$F_{\Delta\text{норм}}(\theta)$									

3. Определить коэффициент усиления антенны по суммарному и разностному входам.

С этой целью вместо приемной (моноимпульсной) антенны на стойке установить эталонный рупор в положение для приема волн исходной поляризации и повернуть его раскрыв в сторону передающего рупора. Присоединить к входу эталонного рупора детекторную секцию и настроить ее. Затем, поворачивая эталонный рупор в горизонтальной плоскости, найти максимальные показания $\alpha_{\text{эт}}$ измерительного прибора и записать их. Затем установить обратно на стойку моноимпульсный рупор в исходное положение. Присоединить к суммарному входу детекторную секцию и настроить ее. Поворачивая моноимпульсный рупор, найти максимальные показания α_1 милливольтметра ВЗ-38 и записать их. Переставить детекторную секцию на тот вход антенны для разностной диаграммы направленности, которому соответствует выполняемый вариант работы, и настроить ее. Поворачивая

исследуемую антенну, найти показания α'_2 и α''_2 для двух максимумов и записать их.

По полученным показаниям милливольтметра ВЗ-38 (которые пропорциональны квадрату напряженности поля) и известному коэффициенту усиления эталонного рупора $G_{\text{эт}} = 100$ найти коэффициенты усиления по двум входам из соотношений

$$G_{\Sigma} = \frac{\alpha_1}{\alpha_{\text{эт}}} G_{\text{эт}} \text{ и } G_{\Delta} = \frac{\alpha_2}{\alpha_{\text{эт}}} G_{\text{эт}},$$

где $\alpha_2 = \frac{\alpha'_2 + \alpha''_2}{2}$.

Полученные данные сравнить с теоретически рассчитанными.

4. Определить крутизну разностной диаграммы направленности.

Имея исходное состояние лабораторной установки, соответствующее концу предыдущего пункта, определить положение нуля (минимума) разностной диаграммы направленности. Для этого положения записать показания измерительного прибора α_0 . Повернуть антенну вправо на угол 5° и вновь записать показания прибора α_5 . Вращая антенну в ту же сторону, записать показания α_{max} в направлении максимума излучения разностной диаграммы.

Определить крутизну разностной диаграммы направленности в равносигнальном направлении по формуле

$$\mu_+ = \frac{\sqrt{\alpha_5} - \sqrt{\alpha_0}}{\sqrt{\alpha_{\text{max}}}} \frac{\sqrt{G_{\Delta \text{max}}}}{5} \left[\frac{1}{\text{град}} \right].$$

Аналогично определить μ_- , вращая антенну влево. Значения μ_+ и μ_- могут оказаться различными из-за погрешностей в конструкции антенны. Измеренные значения μ_+ и μ_- сравнить с теоретически рассчитанными значениями крутизны разностной диаграммы направленности.

Требования к отчету

Оформление отчета должно отвечать требованиям, изложенным в разделе «Правила оформления отчета». В отчете должны быть представлены:

- 1) цель работы и электрическая схема лабораторной установки;
- 2) результаты выполнения расчетного задания – суммарная и разностная диаграммы направленности (с примерами расчета, таблицами, графиками), крутизна разностной характеристики;
- 3) таблицы и рисунки с данными экспериментальных измерений диаграммы направленности;
- 4) результаты по определению коэффициентов усиления и крутизны разностной диаграммы направленности;
- 5) выводы по каждому пункту работы и по всей работе в целом.

Контрольные вопросы

1. Каким образом формируется суммарная и разностная диаграммы направленности моноимпульсной антенны?
2. Объясните принцип работы исследуемой моноимпульсной рупорной антенны.
3. Как повлияют на формирование суммарной и разностной диаграмм направленности погрешности деления мощности (по амплитуде и фазе) в каждом из трех делителей?
4. В чем преимущества моноимпульсного метода пеленгации целей?
5. Чем ограничивается наименьшая длина рупорных антенн?
6. Поясните принцип работы волноводного делителя мощности; требуется ли в рассматриваемом делителе согласование входного плеча?
7. Поясните принцип работы двойного T -образного волноводного тройника.
8. Поясните принцип работы модифицированного двойного T -образного волноводного тройника.
9. Почему в реальных моноимпульсных антеннах в разностной диаграмме между главными максимумами вместо нуля получается только минимум?
10. От чего зависит ширина диаграммы направленности исследуемой антенны?
11. От чего зависит уровень боковых лепестков в суммарной диаграмме направленности исследуемой антенны и каков их порядок в E - и H -плоскостях?
12. Какова поляризация поля исследуемой моноимпульсной рупорной антенны?

Приложение А. Определение характеристик направленности антенны

Снятие диаграммы направленности

Величина напряженности поля, излучаемого антенной, зависит от положения точки наблюдения. Функциональное описание этой зависимости производят в сферической системе координат (R, θ, φ) , центр которой находится в электрическом центре антенны. Для дальней зоны, т.е. на расстояниях R , во много раз больших рабочей длины волны λ и наибольшего излучающего размера антенны D , величину напряженности поля можно описать формулой

$$E = \frac{E_{\max}}{R} F(\theta, \varphi). \quad (\text{A.1})$$

Функцию $F(\theta, \varphi)$, описывающую зависимость амплитуды поля от угловых координат, называют амплитудной характеристикой направленности антенны, или сокращенно – характеристикой направленности антенны. Графическое изображение характеристики направленности называют диаграммой направленности.

Амплитудные диаграммы направленности (например, в плоскости угла θ) строят как в полярной, так и в прямоугольной системе координат (рис. А.1), по модулю. Вопрос о том, в какой системе координат строить диаграмму направленности, определяет ее ширина. Для широких диаграмм направленности (примерно 30° и более) наглядней изображение получается в полярной системе координат, а для узких диаграмм направленности – в прямоугольной.

Довольно часто при построении диаграммы направленности в любой системе координат возникает задача точного изображения относительно малого уровня боковых лепестков. В этом случае для отсчета величины $F(\theta, \varphi)$ применяют логарифмический масштаб.

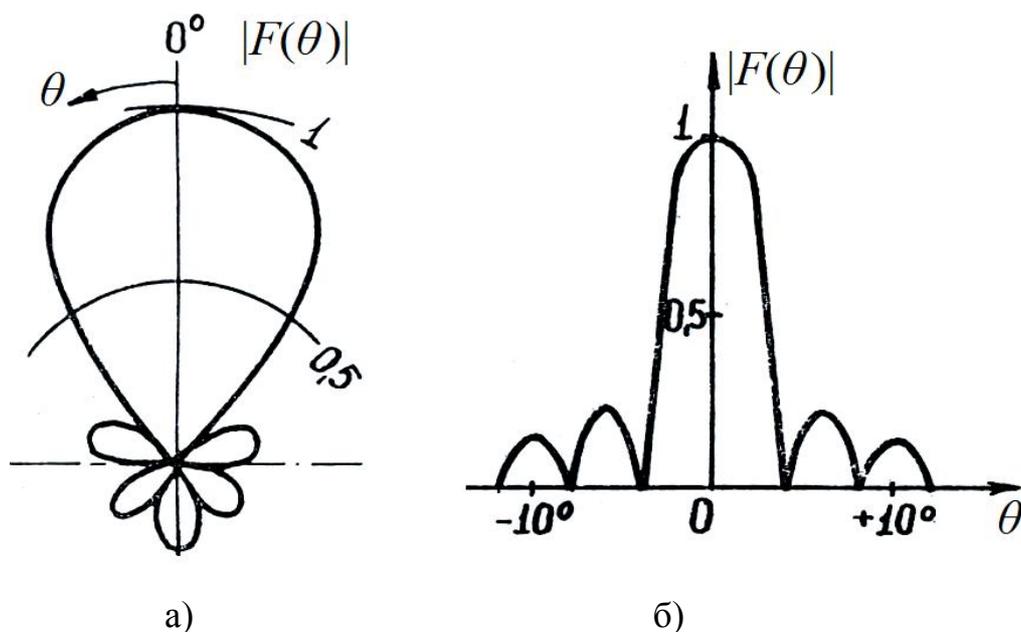


Рис. А.1. Амплитудные диаграммы направленности:

а – в полярной системе координат; б – в прямоугольной системе координат

При работе антенны в режиме приема характеристика направленности описывает изменение напряжения (или тока) на входе антенны в зависимости от направления прихода электромагнитной волны. В соответствии с принципом взаимности характеристика направленности антенны при работе на передачу и прием одна и та же. Это обстоятельство позволяет снимать диаграмму направленности антенны в режиме передачи или приема в зависимости от того, что более удобно.

Для снятия диаграммы направленности антенны в любом режиме необходима вторая (вспомогательная) антенна (рис. А.2). Для исследуемой антенны направление на вторую антенну меняется, а для вспомогательной антенны оно постоянно; при этом расстояние между двумя антеннами остается неизменным.

При снятии диаграммы направленности необходимо определить, с каким интервалом изменять координатный угол и на каком расстоянии располагать антенны.

Первый вопрос связан с шириной главного лепестка диаграммы направленности антенны. Построение главного лепестка, а также боковых

лепестков диаграммы направленности следует производить по достаточному числу экспериментальных точек.

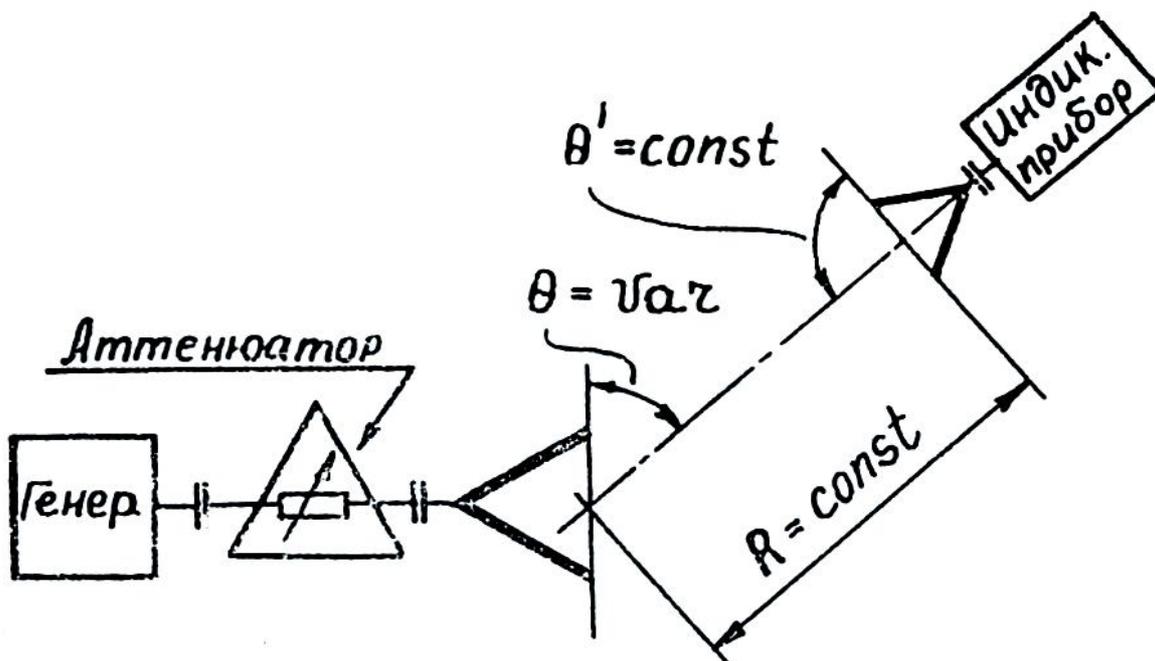


Рис. А.2. Схема установки для снятия диаграммы направленности

Для наиболее точного построения диаграммы направленности в пределах главного лепестка необходимо иметь 12...16 экспериментально полученных точек. Для этого в начале эксперимента производят предварительное определение ширины главного лепестка «по нулям», и $\frac{1}{12} \dots \frac{1}{16}$ этой величины укажет на максимальный интервал изменения угла θ . Положение нулей диаграммы направленности при эксперименте фиксируют по возможности точнее.

Интервал изменения угла $\Delta\theta$ до эксперимента приближенно можно оценить по формулам, поскольку обычно размер излучающего раскрыва D антенны и рабочая длина волны λ известны. Ширину луча большинства антенн по нулевому уровню определяют по формуле

$$2\theta_0 \approx 120 \frac{\lambda}{D}, \text{ град.} \quad (\text{А.2})$$

Следовательно, интервал изменения угла $\Delta\theta_0 \leq 10 \frac{\lambda}{D}$.

Выбор необходимого расстояния между антеннами связан с фазовой и амплитудной ошибками в их раскрывах. Вследствие сферичности фронта волны, излученной антенной с размером раскрыва d (рис. А.3,а), раскрыв D приемной антенны будет возбуждаться несинфазно. В случае, когда размер раскрыва одной антенны намного больше размера раскрыва другой антенны ($D \gg d$), амплитудную ошибку можно не учитывать. Фазовая ошибка будет допустимой (меньше $\pi/8$), если расстояние между антеннами выбрать из соотношения

$$R \geq \frac{2D^2}{\lambda}. \quad (\text{А.3})$$

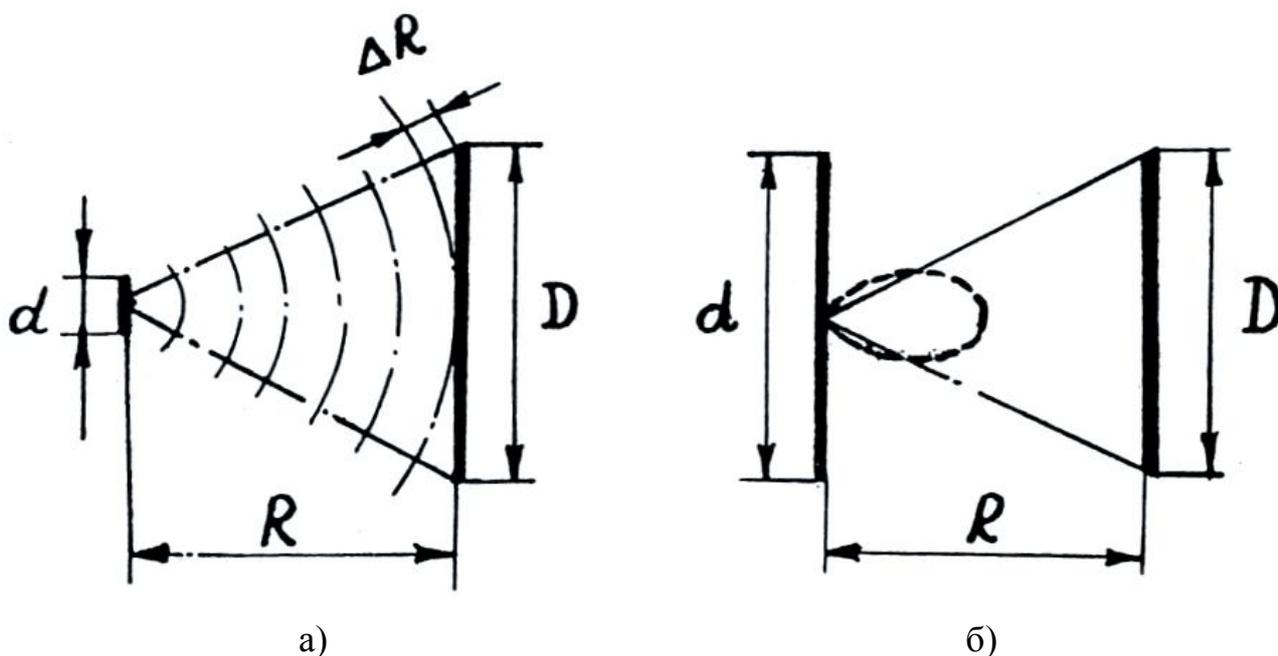


Рис. А.3. Схема для определения расстояния между антеннами при измерении диаграммы направленности: *а* – с учетом только фазовой ошибки; *б* – с учетом только амплитудной ошибки

В случае антенн с соизмеримыми размерами раскрывов к фазовой ошибке добавляется еще амплитудная ошибка. Последняя возникает вследствие того, что равномерность возбуждения раскрыва приемной антенны зависит от ширины диаграммы направленности передающей антенны (рис. А.3,б). Влияние указанных ошибок становится незначительным, если диаграмму направленности снимать на расстоянии

$$R \geq \frac{2(D+d)^2}{\lambda}. \quad (\text{A.4})$$

При измерениях диаграммы направленности антенн надо иметь в виду, что характеристики детекторов, применяемых в индикаторных приборах, нелинейны. В первом приближении характеристики кристаллических детекторов можно считать квадратичными, и тогда данные индикаторных приборов будут соответствовать диаграммам направленности «по мощности», т.е. $F^2(\theta, \varphi)$.

При точных измерениях диаграммы направленности влияние нелинейности характеристики детектора можно избежать за счет применения градуированного аттенюатора (рис. А.2), включенного в любое место высокочастотного тракта установки. В этом случае измерения уровня сигнала ведутся путем изменения затухания, вносимого аттенюатором. Перед измерениями вспомогательную антенну устанавливают в направлении главного максимума диаграммы направленности исследуемой антенны. Регулировка аттенюатора состоит в установке его в положение максимального затухания, величина которого определяется чувствительностью принимаемой аппаратуры и удобным положением стрелки индикаторного прибора. При снятии диаграммы направленности за счет уменьшения затухания аттенюатора стрелка индикаторного прибора возвращается к первоначальному положению. Данные об измерении уровня сигнала считываются со шкалы градуированного аттенюатора (с учетом градуировочного графика) в децибелах, которые затем можно пересчитать в относительные величины. При таком способе измерения диаграммы направленности рабочий режим детектора неизменен и вид его характеристики не имеет значения.

Измерение коэффициента усиления антенн

Для измерения коэффициента усиления (КУ) антенн с применением эталонной антенны используют ту же схему установки, что и для снятия диаграммы направленности. Минимально допустимое расстояние между

антеннами также определяется по формуле (А.4). Поскольку на КУ антенн сказываются фазовые и амплитудные ошибки в обеих плоскостях, то в формулу (А.4) необходимо подставить наибольшие размеры раскрывов антенн.

При измерении КУ вспомогательную антенну устанавливают в направлении главного максимума исследуемой антенны с неизвестным коэффициентом усиления G_x . После записи показаний индикаторного прибора α_x исследуемую антенну заменяют на эталонную с известным коэффициентом усиления $G_{эт}$. При квадратичной характеристике детектора изменения в показаниях индикаторного прибора будут прямо пропорциональны изменению КУ при перемене антенн:

$$G_x = G_{эт} \frac{\alpha_x}{\alpha_{эт}}, \quad (\text{А.5})$$

где $\alpha_{эт}$ – показания индикаторного прибора при использовании эталонной антенны.

При применении градуированного аттенюатора измерение отношения $\frac{\alpha_x}{\alpha_{эт}}$ производится точнее. Поэтому при точных измерениях КУ предпочтительнее пользоваться аттенюатором. Если КУ необходимо измерить очень точно, то учитывают величины отраженных мощностей от входов исследуемой и эталонной антенн. Обычно эти отражения малы и при измерениях их не учитывают.

В качестве индикаторного прибора в лаборатории используется милливольтметр ВЗ-38.

Измерение при помощи милливольтметра ВЗ-38

Аналоговый милливольтметр переменного тока ВЗ-38 (рис. А.4) предназначен для измерения величины напряжения переменного тока в диапазоне 100 мкВ...300 В частотой 20 Гц...5 МГц.

В милливольтметре ВЗ-38 имеется детектор среднего значения. Шкала прибора проградуирована в среднеквадратических значениях синусоидального

напряжения. Прибор ВЗ-38 удобен для измерения затуханий и частотных характеристик по шкале, проградуированной в децибелах (0 дБ – 0,775 В).



Рис. А.4. Милливольтметр ВЗ-38 (передняя панель)

Предел допускаемой основной погрешности прибора, выраженный в процентах от верхнего предела установленного поддиапазона измерения, равен $\pm 2,5\%$. Входная емкость: 30 пФ (1...300 мВ) и 15 пФ (1...300 В). Входное сопротивление: 5 МОм (1...300 мВ) и 4 МОм (1...300 В).

На его передней панели имеются:

- стрелочный прибор, по положению стрелки которого отсчитывается входное напряжение;
- входной разъём для подачи измеряемого напряжения;
- переключатель пределов измерения напряжения;
- выключатель сети и индикатор включения.

Для начала работы необходимо включить прибор в сеть, щёлкнуть вверх сетевым выключателем и дать прибору прогреться 5 минут.

Устанавливаем переключатель пределов на значение, немного превышающее предполагаемую величину измеряемого напряжения. Например, если планируется измерять напряжение примерно 1...2 В, ставим переключатель на «3 V» (как на рис. А.4).

Важно! Предел измерения прибора обозначает величину напряжения, подаваемого на вход, при котором стрелка прибора отклонится до максимального (крайнего правого) положения.

Подаём на вход прибора измеряемое напряжение. Стрелка его отклонится и покажет величину поданного напряжения. Если стрелка ушла вправо за границу шкалы (зашкалила), то входное напряжение больше установленного предела, нужно переключатель пределов переключить на больший предел; если стрелка отклонилась меньше, чем четверть шкалы, то нужно переключиться на меньший предел, иначе будет велика погрешность измерения.

По какой шкале производить отсчёт? Верхняя шкала имеет деления до 10, по ней удобно измерять на пределах, кратных 10; средняя шкала имеет деления до 30, по ней удобно измерять на пределах, кратных 3. На нижнюю шкалу для ясности не будем обращать внимания – для лабораторных работ она не требуется.

На рис. А.4 переключатель пределов стоит в положении «3 V», значит, считывать показания будем по средней шкале. По ней стрелка максимально может отклониться до числа 30 при входном напряжении 3 В, т.е. значение, которое стрелка показывает на средней шкале (рис. А.4), нужно разделить на 10. Тогда получим величину измеряемого напряжения. В нашем случае стрелка показывает «21», считаем: $21/10 = 2,1$ В.

Приложение Б. Вспомогательная рупорная антенна

Основным элементом рупорной антенны является стандартный пирамидальный рупор с размерами раскрыва 90×135 см, длиной 160 см, с входным волноводом сечением 23×10 мм на длине волны 3,2 см, коэффициент усиления рупора равен примерно 90.

Высокочастотная энергия от генератора к антенне подается с помощью гибкого коаксиального кабеля с волноводным выходом сечением 23×10 мм. Вспомогательная рупорная передающая антенна имеет два варианта крепления к стене (рис. Б.1 и рис. Б.2).

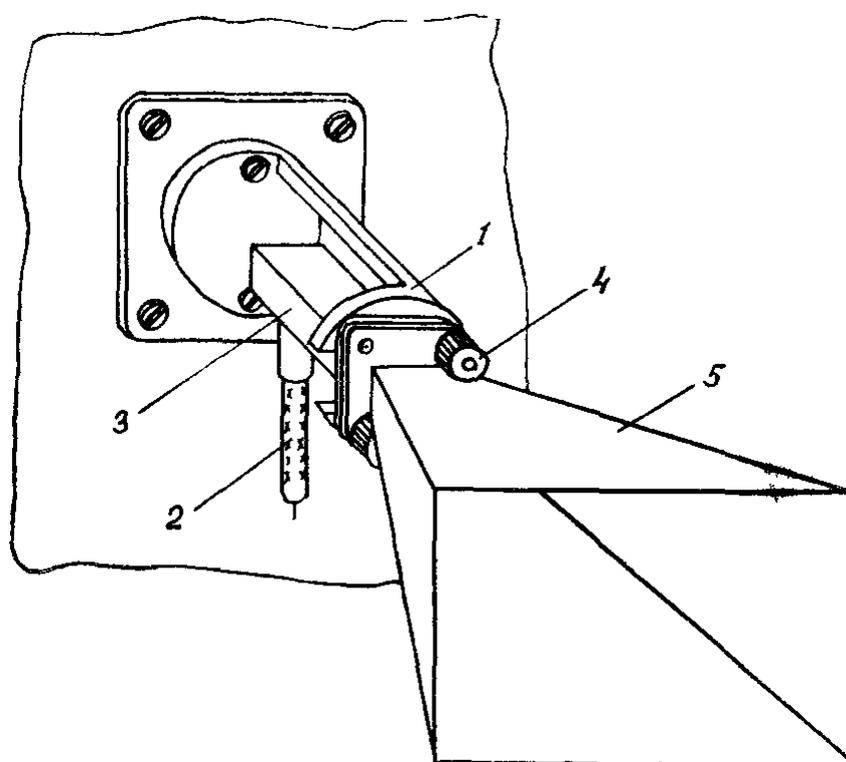


Рис. Б.1. Первый вариант вспомогательной передающей рупорной антенны:

1 – втулка, укрепленная на стене; 2 – гибкий коаксиальный кабель; 3 – волноводный выход кабеля; 4 – крепежные гайки; 5 – пирамидальный рупор

Варианты рупорной антенны отличаются друг от друга конструкцией узла крепления. В первом варианте (рис. Б.1) фланец рупора и фланец волноводного выхода коаксиального кабеля посажены на двух шпильках неподвижной втулки, укрепленной на стене. В этом варианте для изменения плоскости

поляризации излученного поля на 90° необходимо отвернуть две круглые с накаткой крепежные гайки, снять оба волноводных фланца со шпилек, и после их поворота вокруг продольной оси на 90° надеть другими отверстиями на шпильки и затянуть крепежными гайками.

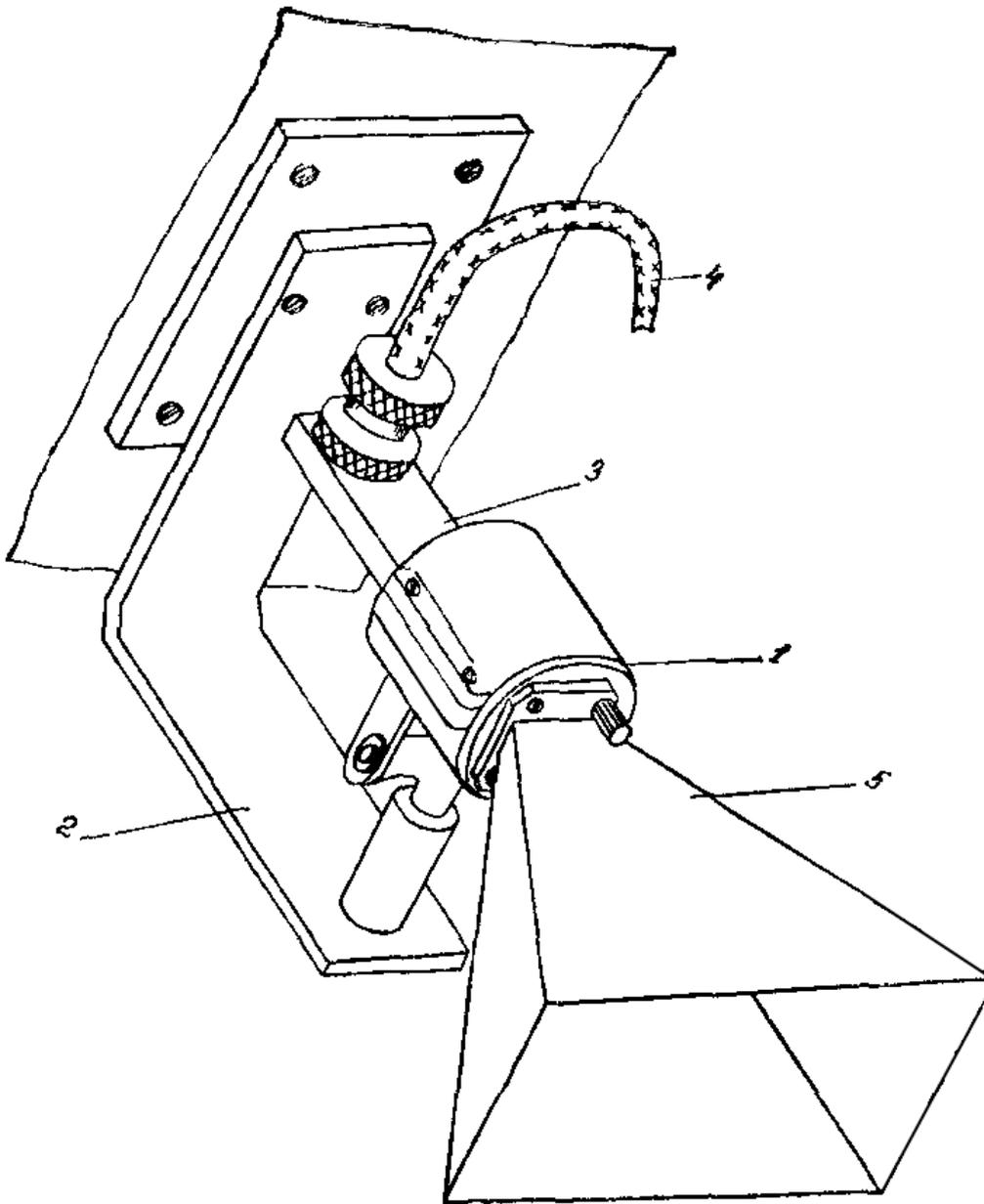


Рис. Б.2. Второй вариант вспомогательной передающей рупорной антенны:
1 – головка с вращающейся втулкой; 2 – кронштейн, укрепленный на стене;
3 – волноводный выход гибкого коаксиального кабеля; 4 – гибкий коаксиальный кабель; 5 – пирамидальный рупор

Во втором варианте антенны (рис. Б.2) рупор и волноводный выход коаксиального кабеля посажены на шпильки вращающейся втулки специальной головки. В данном варианте для изменения плоскости поляризации излучаемого поля на 90° необходимо сам рупор с некоторым усилием повернуть на четверть оборота. Вращающаяся втулка головки через каждые четверть оборота стопорится специальными пружинными фиксаторами с западающими шариками.

Содержание

Работа № 18. ИССЛЕДОВАНИЕ МОНОИМПУЛЬСНОЙ РУПОРНОЙ АНТЕННЫ	2
Цель работы	2
Теоретическая подготовка к работе	2
Расчетное задание и расчетные формулы	10
Экспериментальная часть	11
Описание лабораторной установки	11
Порядок выполнения эксперимента	12
Требования к отчету	16
Контрольные вопросы	16
Приложение А. Определение характеристик направленности антенны	17
Снятие диаграммы направленности	17
Измерение коэффициента усиления антенн	21
Измерение при помощи милливольтметра В3-38	22
Приложение Б. Вспомогательная рупорная антенна	25

Литература

1. Воскресенский Д.И., Гостюхин В.Л., Максимов В.М., Пономарев Л.И. и др. Устройства СВЧ и антенны / Под ред. Д.И. Воскресенского. М.: Радиотехника. 2016.
2. Драбкин А.Л., Зузенко В.Л., Кислов А.Г. Антенно-фидерные устройства. М.: Сов. радио. 1974.
3. Жук М.С., Молочков Ю.В. Проектирование антенно-фидерных устройств. М.: Энергия. 1966.