

Лабораторная работа 3**АНТЕННЫ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ**

Целью работы является изучение свойств линейных антенн с замедленной фазовой скоростью возбуждающего поля или тока. Сюда относятся диэлектрические, ребристо-стержневые, спиральные антенны. Основные параметры этих антенн на инженерном уровне могут быть определены с использованием единой математической модели - линейной излучающей системы с непрерывным или дискретным распределением тока.

Распределение возбуждающего тока описывается законом бегущей волны (амплитуда постоянна, фаза меняется по линейному закону). Поэтому и привилось название - антенны бегущей волны (АБВ).

Принадлежность рассматриваемых антенн к одному классу определяет ряд общих закономерностей. В связи с этим направленные свойства АБВ при изменении их длины изучаются на примере диэлектрической антенны, а поляризационные свойства - сравнением поляризационных диаграмм спиральной антенны в режиме осевого и конического излучения.

3.1. Описание макетов антенн и методики эксперимента

Главное различие изучаемых в работе антенн заключается в том, что они выполнены на базе различных открытых волноводов, а именно: диэлектрического и спирального. Конструктивные возможности этих волноводов позволяют выполнять АБВ в метровом и сантиметровом диапазонах волн.

Диэлектрическая антенна, изучаемая в данной работе, представляет собой диэлектрический стержень круглого сечения, возбуждаемый с одного конца круглым волноводом с волной типа H_{11} (рис. 3.1,а). Коническая форма левого конца стержня обеспечивает высокий КБВ в линии, питающей волновод. Конструкция цилиндрической антенны позволяет изменять ее длину путем смены диэлектрических стержней, вставляемых в секцию круглого волновода с возбуждающим штырем. В отличие от цилиндрической, коническая диэлектрическая антенна является неразборной (рис, 3.1 ,б).

Заметим, что поверхностные волны характеризуются экспоненциальным убыванием поля в радиальном направлении и связанной с этим концентрацией электромагнитной энергии вблизи направляющей структуры (рис. 3.1,г).

Диэлектрическая антенна создаёт в дальней зоне поле линейной поляризации. Она определяется положением возбуждающего штыря в круглом волноводе. При установке антенн в безэховой камере поляризация получается вертикальной.

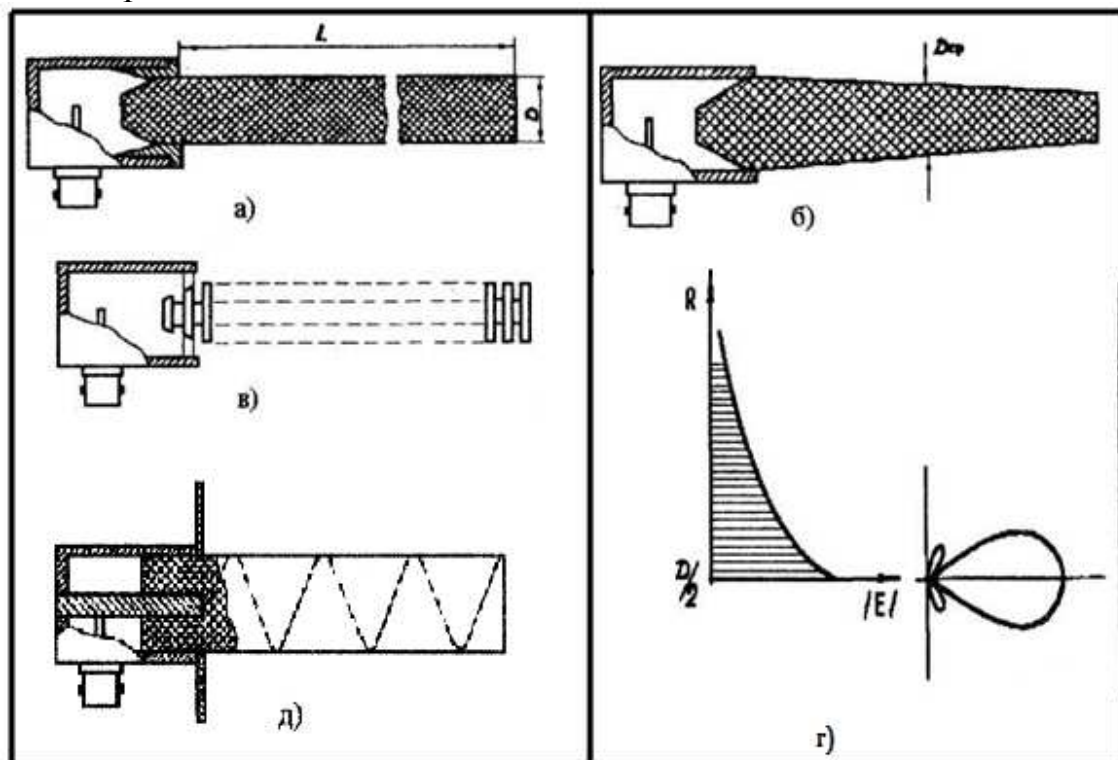


Рис. 3.1 Макеты антенн бегущей волны в режиме осевого излучения

Спиральная антенна образована проволоочной спиралью, которая уложена в пазы на каркасе из пеностирола. Возбуждается антенна коаксиальной линией. Внутренний проводник ее подсоединяется к началу спирали, а наружный - к металлическому диску, играющему роль экрана (рис. 3.1, д).

В зависимости от соотношения диаметра витка спирали и длины волны различают три режима работы спиральной антенны: ненаправленное, осевое и коническое излучение [1, с.306] или [2, с.395]. В первом случае диаметр должен быть много меньше длины волны и не может быть реализован в трехсантиметровом диапазоне волн. Второму и третьему режимам соответствуют макеты с диаметром спирали: $D_1 = 8\text{мм}$; $D_2 = 18\text{мм}$. Для прочности спираль диаметром $D_1 = 8\text{мм}$ помещена внутри конусообразного корпуса из пенополистирола.

При проведении эксперимента антенны устанавливаются на стойке с помощью специального коаксиального разъема, который позволяет одновременно с креплением антенны фиксировать начальное положение ее геометрической оси ($\theta = 0^\circ$; $\varphi = 0^\circ$). Детекторная секция смонтирована внутри стойки, которая крепится на поворотном столе.

3.2. Сводка расчетных формул

Диаграммы направленности диэлектрической антенны могут быть рассчитаны в соответствии с методикой, изложенной в [1, §11.2] или [3, §4.7], когда рассматриваемую антенну представляют как непрерывную систему излучателей:

$$f(\vartheta) = \frac{\sin \Psi}{\Psi}, \quad \Psi = \frac{kL}{2}(\cos \vartheta - \xi) \quad (3-1)$$

где L - длина антенны (рис. 3.1); $k = 2\pi/\lambda$ - волновое число свободного пространства; ξ - коэффициент замедления, определяемый по графикам рис. 3.2 (более точные графики имеются на кафедре); θ - угол, отсчитываемый от оси антенны.

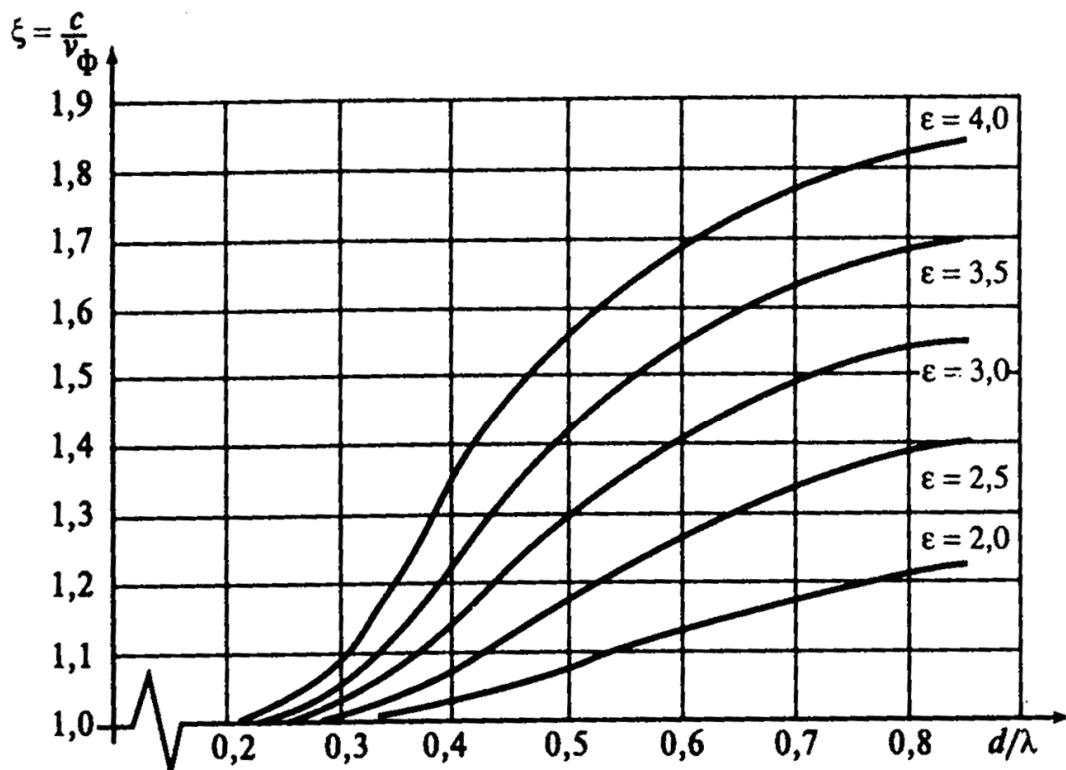


Рис. 3.2. Коэффициент замедления в диэлектрической антенне

Спиральная антенна принадлежит к линейным антенным решеткам с множителем комбинирования [1, §11.6] или [3, §4.4]

$$f_N(\vartheta) = \frac{\sin \left[\frac{NkS}{2}(\cos \vartheta - \xi) \right]}{N \sin \left[\frac{kS}{2}(\cos \vartheta - \xi) \right]} \quad (3-2)$$

где N - число витков спирали; S - шаг спирали (расстояние между витками вдоль оси антенны). Остальные обозначения пояснены выше.

Из выражений (3.1) - (3.2) следует, что направленные свойства антенн бегущей волны определяются электрической длиной антенны kL или NkS , а также величиной коэффициента замедления ξ . При определенных условиях максимум излучения совпадает с осью антенн (режим осевого излучения, рис. 3.1 ,з). Изучению этого режима АБВ в работе уделяется основное внимание. Он имеет место в тех случаях, когда фазовая скорость возбуждающего поля или тока меньше или равна скорости света (коэффициент замедления $\xi \geq 1$).

Увеличение длины антенны L при $\xi = const$ или увеличение коэффициента замедления ξ при постоянной длине антенны приводят к сужению основного лепестка ДН и одновременному росту уровня боковых. Известно, что сужение главного лепестка ДН вызывает рост КНД в главном направлении, тогда как рассеяние электромагнитной энергии по боковым лепесткам уменьшает его. Очевидно, существует оптимальное соотношение между длиной антенны и коэффициентом замедления, при котором в главном направлении получается максимум КНД [1, рис.11.6] или [3, рис. 4.10]. При этом граница зоны видимости, соответствующая условию $\theta = 0^\circ$, совпадает $\Psi_{\max} = -\pi/2$. Иначе говоря,

$$\psi_{\max} = \frac{kL}{2}(1 - \xi) \approx -\frac{\pi}{2} \quad (3-3)$$

Это условие можно выполнить, варьируя величину коэффициента замедления ξ при $L = const$

$$\xi_{opt} = 1 + \frac{\lambda}{2L}, \quad (3-4)$$

или изменяя длину антенны при $\xi = const$.

$$L_{opt} = \frac{\lambda}{2(\xi - 1)} \quad (3-5)$$

Если выполнены условия оптимальности линейной антенны с замедленной фазовой скоростью в виде (3-4) или (3-5), то коэффициент направленного действия в главном направлении может быть определен по приближенной формуле

$$КНД \approx 7.2 \frac{L}{\lambda} \quad (3-6)$$

3.3. Расчетное задание

1. Рассчитать и построить в декартовой системе координат нормированные диаграммы направленности диэлектрической антенны. Параметры антенны: $D = 15\text{мм}$; $\lambda = 3,2 \text{ см}$; $\varepsilon = 2,5$; $L_1 = 60\text{мм}$; $L_2 = 100\text{мм}$; $L_3 = 120\text{мм}$; $L_4 = 150\text{мм}$. Коэффициент замедления определяется по графикам на рис. 3.2.

У к а з а н и е. Этот пункт задания рекомендуется выполнять в такой

последовательности. Сначала строится множитель направленности системы $\sin\Psi/\Psi$ в зависимости от обобщенной координаты Ψ . Определяется область видимости. По множителю направленности графически производится построение диаграммы направленности $f(\theta)$. Определяется положение первого и второго нулей ДН. Вычисляется относительный уровень первого бокового лепестка. В пределах главного лепестка в зависимости от его ширины вычисляются $f(\theta)$ для 2-4 промежуточных значений угла наблюдения θ . Нормированная характеристика излучения строится в пределах главного и первого бокового лепестков.

З а м е ч а н и е . Применение выражений (3-1 – 3-2) для ДН рассматриваемых антенн предполагает использование весьма приближенной модели в виде непрерывной или дискретной линейной системы из ненаправленных излучателей. Такая модель не учитывает заметное излучение, имеющее место в области перехода от возбуждителя к направляющей структуре, диаграмму направленности элемента системы, наличие отраженной от конца антенны волны и др. [2, с.388-389]. Несмотря на это, расчеты, выполненные при домашней подготовке, полезны, поскольку правильно отражают эволюцию характеристик направленности при изменении длины и диаметра антенны, коэффициента замедления и частоты.

2. Определить оптимальную длину диэлектрической антенны заданного диаметра и ϵ . Вычислить соответствующее значение КНД.

При подготовке к работе каждый студент бригады рассчитывает две ДН по п.1. Исходные данные должны быть распределены между ними так, чтобы задание было выполнено бригадой полностью. Пункт 2 задания выполняются всеми студентами.

3.4. Экспериментальная часть

Требования к технике безопасности при работе на стенде

1. К работе на стенде допускаются лица, ознакомленные с программой проводимых работ и прошедшие общий инструктаж по технике безопасности в лаборатории кафедры АУ и РРВ.

2. Для исключения возможности СВЧ облучения смотровая дверка безэховой камеры имеет блокировку анодного напряжения генераторов. Категорически запрещается дотрагиваться до кнопок блокировки.

3. При любой возникшей неисправности в стенде немедленно обращаться к дежурному лаборанту либо преподавателю. Категорически запрещается пытаться самостоятельно исправлять возникшие дефекты.

Задание к экспериментальной части

1. Снять и построить ДН четырех диэлектрических антенн разной длины. ДН снимаются по точкам в пределах главного и первых боковых лепестков по обе стороны от него. Результаты эксперимента после нормировки наносятся на тот же график, что и расчетные кривые. Определить ширину основного лепестка по половинной мощности и уровень первого бокового лепестка.

2. Провести сравнение КНД четырех диэлектрических антенн различной длины в главном направлении.

Для этого исследуемые антенны поочередно устанавливаются на стойку крепления антенн в безэховой камере и замечаются показания прибора на индикаторе α . При квадратичной характеристике детектора относительный КНД антенны можно вычислить (см. описание лабораторной работы № 1) по формуле

$$\text{КНД}_{i \text{ отн}} = \alpha_i / \alpha_{\max}, (i = 1 - 4), \quad (3-7)$$

где $\alpha_{i \max}$ - максимальное из измеренных значений α_i (при этом относительный КНД соответствующей антенны оказывается равным единице).

У к а з а н и е . Измерения необходимо проводить при неизменном коэффициенте усиления измерительного усилителя; показания прибора индикатора α_i должны соответствовать максимальным значениям, т.е. определению КНД в главном направлении.

3. Снять и построить ДН конической антенны, имеющей диаметр $D_{\text{ср}} = 15\text{мм}$; $L = 120\text{мм}$. Сравнить эту ДН с диаграммой направленности цилиндрической антенны, имеющей ту же длину и $D_{\text{ср}} = 15\text{мм}$.

4. Снять ДН спиральных антенн разного диаметра. На каждом рисунке отметить направление геометрической оси антенны. ДН спиральной антенны в режиме осевого излучения снимается для двух поляризаций. Изменение поляризации производится поворотом на 90° передающей антенны.

5. Снять поляризационные диаграммы спиральных антенн в главном направлении.

Объем экспериментальной части работы определяется для каждой бригады преподавателем.

Отчет должен содержать выводы по работе, где особое внимание должно быть обращено на причины расхождения экспериментальных и теоретических результатов.

4.5. Контрольные вопросы

1. Изобразите распределение амплитуды и фазы поля вдоль диэлектрической антенны.
2. От чего зависит амплитуда отраженной волны в диэлектрическом стержне?
3. Как влияет изменение длины диэлектрической антенны на форму ее ДН?
4. Что такое оптимальная длина АБВ? Из какого условия устанавливается ее величина?
5. Как влияет на ДН диэлектрической антенны изменение ее диаметра?
6. Как зависит КНД диэлектрической антенны от ее длины?
7. Как зависит КНД диэлектрической антенны от ее диаметра? От диэлектрической проницаемости стержня?
8. Как выглядит условие получения максимума КНД в главном направлении для спиральной антенны?
9. Почему и при каких условиях спиральная антенна вдоль своей оси создает поле круговой поляризации?
10. Изобразите качественно поляризационную диаграмму спиральной антенны для направления $\theta = 60^\circ$, $\varphi = 0^\circ$.
11. Изобразите качественно ДН диэлектрической антенны постоянной длины и диаметра для трех значений ϵ .
12. Построить качественно ДН диэлектрической антенны длины $L_1 = 2\lambda$ и $L_2 = 4\lambda$, если $\xi = 1.03$, $\xi = 1.05$; $\xi = 1.1$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сазонов Д.М. Антенны и устройства СВЧ. -М.: Высшая школа, 1988. С.302-310; 275-283; 292-294.
2. Марков Г.Т., Сазонов Д.М. Антенны. -М.: Энергия, 1975. С.28, 131-134, 146-148 (повторение), 201-217, 237-246, 384-398, 415.
3. Дуплёнков Д.А., Попереченко Б.А., Серёгина А.Р. Методы формирования поля излучения. - М.: Моск. энерг. ин-т, 1987. С.70-96.