

Лекция 13.

ЧАСТОТНО-НЕЗАВИСИМЫЕ АНТЕННЫ

13.1. Принцип подобия и самоподобия антенн

Могут ли две разные антенны иметь одинаковые диаграммы направленности и одинаковые входные сопротивления? Достаточным условием для этого является их электродинамическое подобие. В конечном счёте электродинамическое подобие сводится к выполнению пропорции:

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad (13-1)$$

в которой λ_1, λ_2 - рабочие длины волн первой и второй антенны, а L_1, L_2 - любые, но соответствующие, линейные размеры этих антенн.

Соотношение (13-1) подсказывает, как создать антенну, которая на разных частотах имеет одинаковые диаграммы направленности и одинаковые входные сопротивления. Разные части этой антенны должны одинаково работать на соответствующих частотах. А для этого линейные размеры такой антенны должны однозначно определяться её угловыми соотношениями. Типичная антенна такого рода – равноугольная или логарифмическая спираль, например, плоская. На рис. 13.1 показаны три равноугольные спирали с разным числом заходов. Уравнение однозаходной спирали в полярных координатах:

$$r = r_0 e^{a(\varphi - \varphi_0)}$$

13.2. Плоская равноугольная (логарифмическая) спираль

Название «логарифмическая» связано с тем, что логарифм линейного размера пропорционален повороту $\varphi - \varphi_0$. Для двух- или четырёхзаходной спиралей кривые других заходов получаются поворотом на π , или на $\pi/2$. Спирали с разным числом заходов применяются для возбуждения разных типов волн.

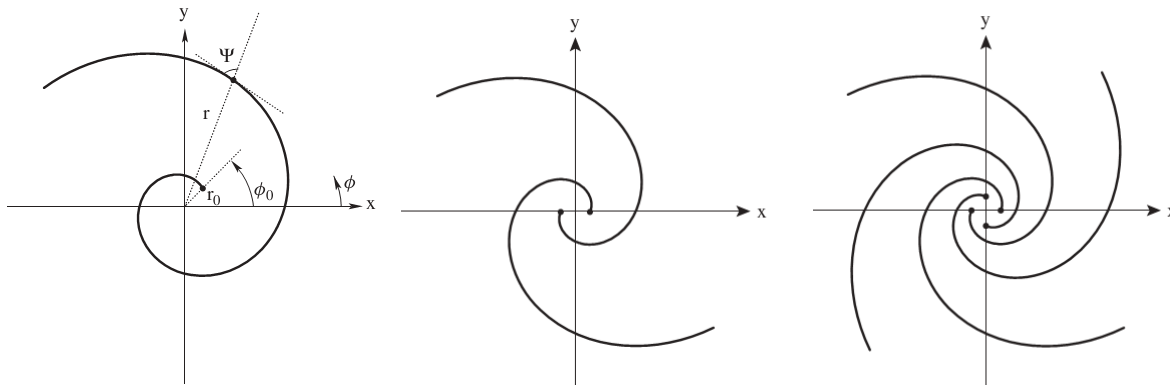


Рис. 13.1 Однозаходная, двухзаходная и четырёхзаходная спирали

Точки питания спиральных антенн обычно находятся в вершине спирали. Излучающие структуры могут быть созданы печатным способом. На рис. 13.2 показана печатная плата с двухзаходной равноугольной спиралью. Питающий коаксиальный кабель проложен по

одному из заходов. Это позволяет обеспечить симметрию возбуждения спирали. Как бы в центре антенны между точками питания заходов находится возбуждающий генератор с внутренним сопротивлением, равным волновому сопротивлению кабеля.

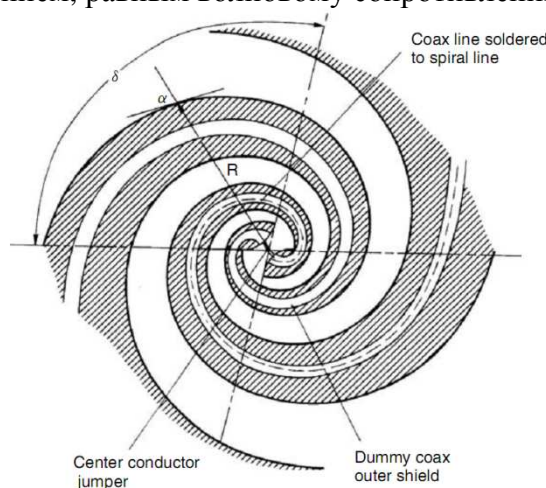


Рис. 13.2 Равноугольная спираль с питающим кабелем

Конструктивно диэлектрическая спираль, напечатанная на плате, размещается обычно над экранирующей плоскостью для обеспечения одностороннего излучения, как показано на рис. 13.3.

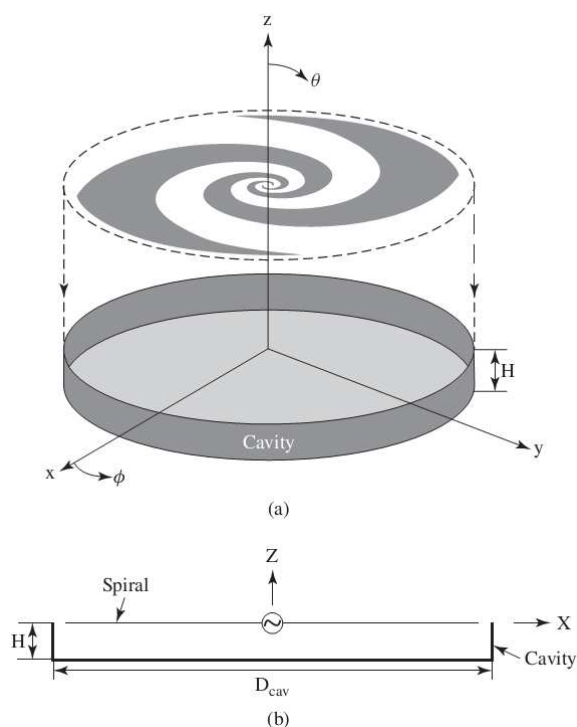


Рис. 13.3. Примерная конструкция спиральной антенны

Строго говоря, по настоящему частотно-независимыми могут быть только бесконечные структуры. У рассмотренных нами антенн имеются характерные линейные размеры, которые не определяются угловыми соотношениями – это начальный и конечный радиусы спирали. Их соотношение определяет конечную широкополосность антенны, то есть отношение минимальной и максимальной рабочих длин волн. Чтобы характеристики антенны сохранялись на промежуточных частотах, нужно чтобы эти характерные размеры не очень то влияли на работу антенны. Влияние максимального диаметра антенны будет сказываться на работу антенны на промежуточных частотах и, следовательно, нарушать частотную независимость антенны, если возбуждающий ток,

распространяясь от точки питания вдоль металлизации, будет доходить до максимального диаметра антенны и отражаться от имеющихся там неоднородностей. Характерной особенностью частотно-независимых антенн является эффект **отсечки тока**, когда ток, начиная с какого то диаметра, пропорционального рабочей длине волны, резко уменьшается и, из-за этого не доходит до максимального диаметра. Отсечка тока происходит после прохождения **активной области** антенны, соответствующей диаметру окружности, примерно равной длине волны. В активной области происходит интенсивное излучение мощности.

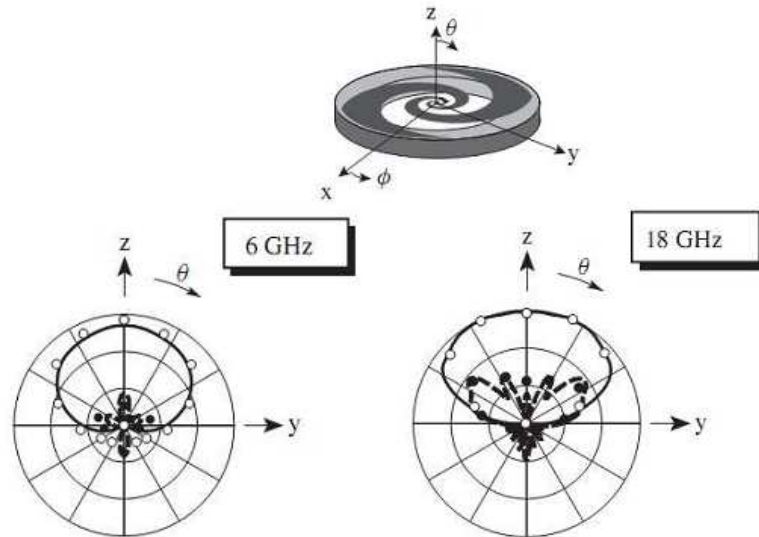


Рис.13.4 Изменение диаграммы направленности плоской эквиугольной спиральной антенны в рабочем диапазоне частот

Ещё одним свойством частотно-независимых антенн, обеспечивающим сохранение входного сопротивления антенны в рабочей полосе частот, является выполнение условия **самодополнительности**. В лекции 5 было показано, что входная проводимость двусторонней щелевой антенны связана со входным сопротивлением плоского вибратора, имеющего такую же форму, как щель, соотношением (5-11):

$$Y = \frac{4Z}{W_0^2}; \quad (5-11,a)$$

На рис. 13.5 показана точка питания структуры, в которой дополнительные области А-А и А'- А' можно с одинаковым успехом рассматривать как вибратор А-А, и как щелевую антенну А'- А'. Причём, и вибратор и щель имеют одинаковую геометрию. Следовательно, проводимость этой щели равна обратной величине сопротивления вибратора, то есть, для самодополнительной структуры выполнено соотношение:

$$Z = 0.5W_0 \approx 60\pi \quad (13-2)$$

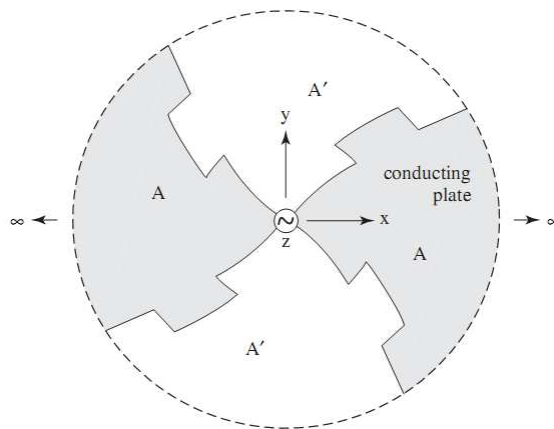


Рис. 13.5. Самодополнительная структура.

Выполнение условия самодополнительности способствует сохранению входного сопротивления в рабочей полосе частот.

13.3. Архимедовые спирали

Из трёх рассмотренных нами условий обеспечения частотной независимости характеристик антенн наиболее существенным является проявление эффекта отсечки токов. Были созданы частотно-независимые спиральные антенны, в которых линейные размеры не являются функциями одних только углов, и не выполнено условие самодополнительности. Это **архимедовые** спирали, в которых радиус пропорционален углу поворота спирали. Примеры таких антенн показаны на рис. 13.6.

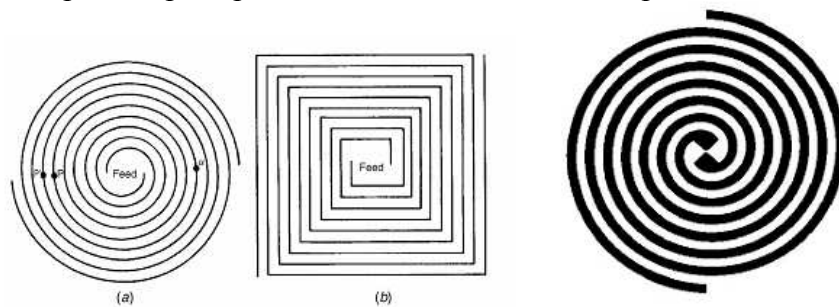


Рис.13.6. Архимедовы спирали, справа - самодополнительная спираль

В них активным является виток, длина которого равна рабочей длине волны. Токи, текущие в соседних проводниках спирали в области от точки питания до этого витка оказываются практически противофазными и не излучают. Активный виток интенсивно излучает, а после прохождения него ток резко уменьшается, наблюдается отсечка. Таким образом, положение активной области определяется рабочей длиной волны и не зависит от размеров области питания и максимального диаметра антенны. Конструкция (рис.13.7) антенны с архимедовой спиралью подобна конструкции антенн с равноугольной спиралью.

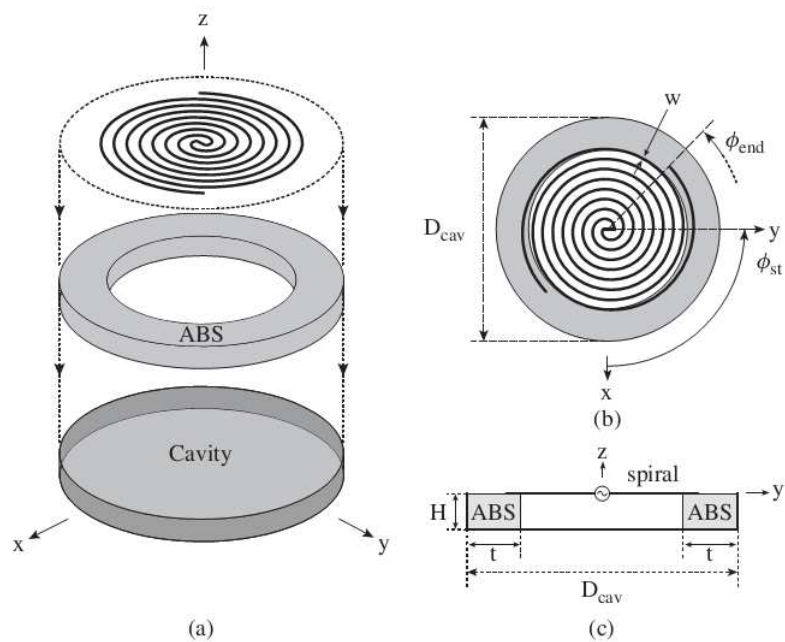


Рис. 13.7. Архимедова спираль над экраном. Плата со спиралью опирается краями на диэлектрическое кольцо (из материала ABS), которое может быть выполнено с увеличенным поглощением для уменьшения отражения от внешнего края спирали.

13.4. Частотно-независимые конические спиральные антенны

Равноугольные спирали могут быть выполнены на конической поверхности, как показано на рис.13.8. Другое название такой антенны – логоспиральная. В ней тоже существует активная область и проявляется эффект осечки тока. Край проводника спирали таких антенн описывается выражением:

$$r = r_0 e^{(a \sin \vartheta)(\phi - \phi_0)}$$

Такие антенны также снабжают металлическим экраном, через центральное отверстие в котором к спирали могут подводить питание. Благодаря тому, что в этих антеннах активная область расположена дальше от экрана, форма диаграммы направленности лучше сохраняется в диапазоне частот, чем в плоской спирали.

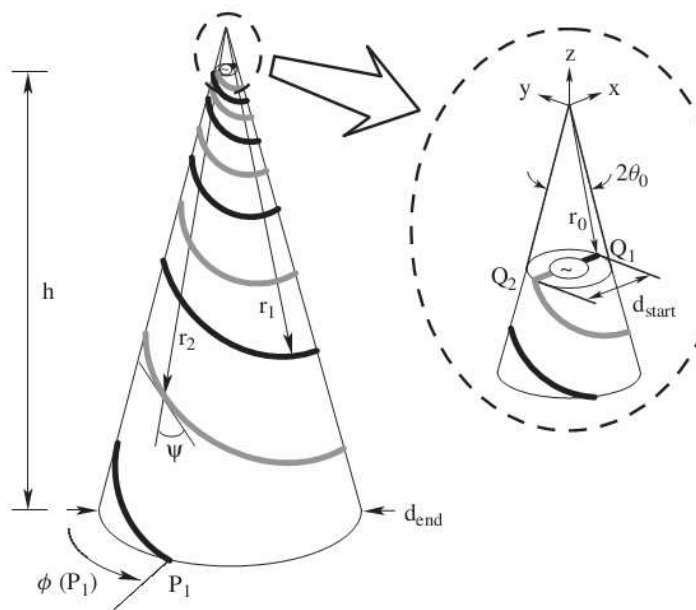


Рис. 13.8. Двухзаходная коническая равноугольная спираль

13.5. Логопериодические антенны

Известен и широко используется также ещё один класс широкодиапазонных антенн – это логопериодические антенны. В них линейные размеры образуют дискретную геометрическую прогрессию, то есть, логарифм линейных размеров периодически зависит от логарифма частоты. Схема такой антенны и пример конструктивного выполнения показаны на рис. 13.9.

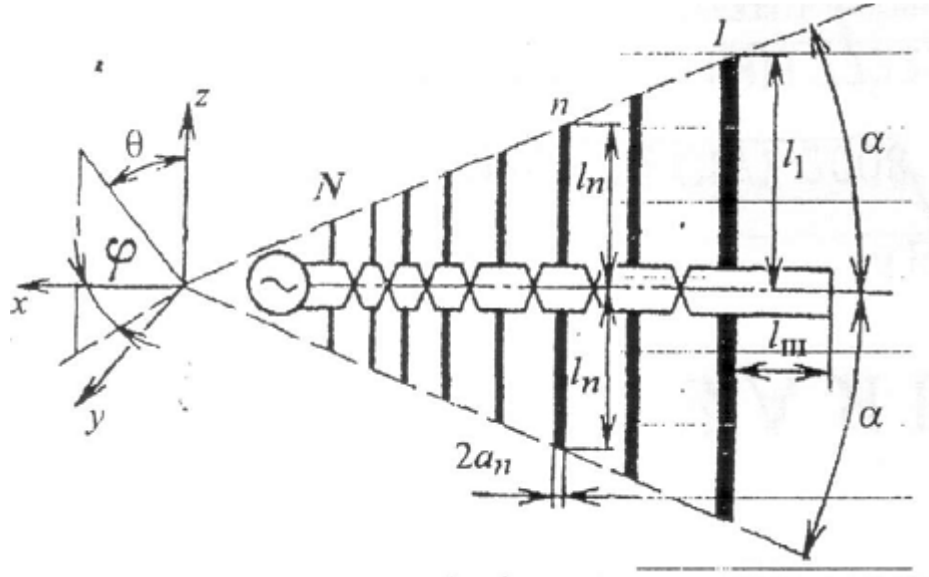


Рис. 13.9 Плоское схематичное изображение логопериодической антенны

Геометрия антенны зависит от угла α и **логопериода** τ , который определяется выражением: $\tau = l_{n+1}/l_n$. В технической литературе обычно используется ещё параметр σ , который равен расстоянию (в длинах волн) между полуволновым вибратором антенны и ближайшим к нему меньшим вибратором. Этот параметр не является независимым, а может быть выражен через τ и α :

$$\sigma = \frac{1 - \tau}{4 \operatorname{tg} \alpha}; \quad (13-3)$$

Активную область составляют вибраторы, длины l_n плеч которых примерно равны четверти длины волн. В логопериодической антенне хорошо проявляется эффект отсечки токов. Диапазонность антенны зависит от соотношения максимального и минимального вибратора. Длины плеч вибраторов, число элементов и диапазонность антенны обычно связаны соотношениями:

$$l_1 \approx 0.25 \lambda_{\max}; l_N \approx 0.15 \lambda_{\min}; \lambda_{\max} / \lambda_{\min} \approx 0.6 \tau^{1-N}; \quad (13-4)$$

В пределах логопериода по частоте $(f_n \div f_{n+1})$ характеристики антенны (диаграмма направленности и входное сопротивление) меняются.

Существует большое разнообразие типов логопериодических антенн и их конструктивного выполнения. На рис. 13.10 показана самая распространённая практическая реализация логопериодической антенны.

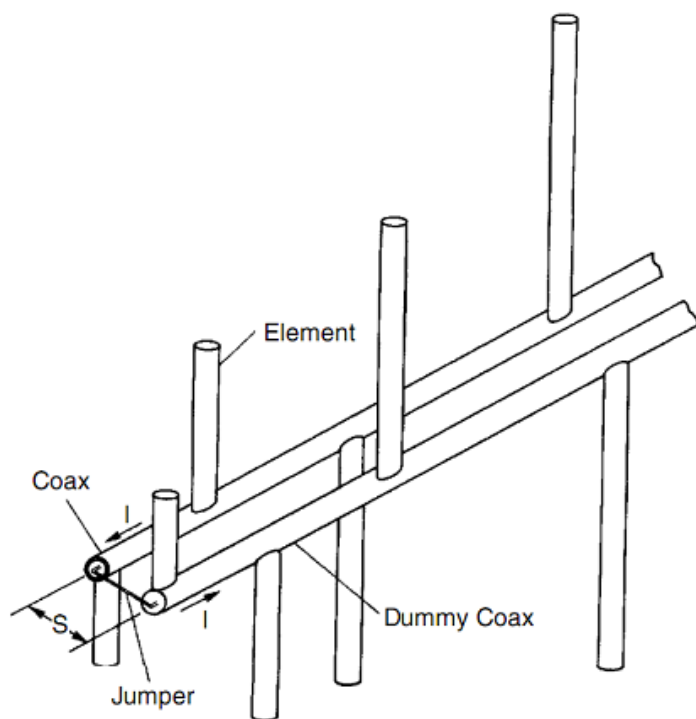


Рис. 13.10 Самая распространённая реализация логопериодической антенны

Она состоит из двух одинаковых полотен, расположенных относительно нейтрали с косой симметрией. У такой антенны диаграмма в Е-плоскости намного уже, чем в Н-плоскости. из-за того, что полотна в Н-плоскости не разнесены одно от другого. На рис. 13.11 показана логопериодическая антенна, у которой в Е- и Н- плоскостях диаграммы направленности примерно одинаковые.



Рис. 11 Логопериодическая трапециидальная антенна.

Полотна этой антенны выполнены диэлектрике печатным способом (двухсторонняя печать). Кроме того, они расположены под углом друг к другу, за счет чего активные области на этих полотнах разнесены между собой на одинаковые расстояния в длинах волн.

На рис. 13.12 показан облучатель, применённый в некоторых радиоастрономических антеннах, в которых всегда требуется большая диапазонность характеристик.

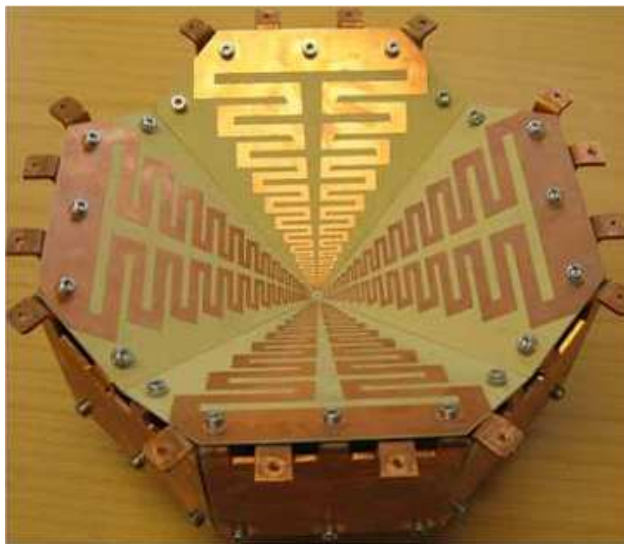


Рис. 13.12. Логопериодический облучатель Килдала на боковых гранях пирамиды, помещённой в сосуд Дьюара

В частности такой облучатель используется на радиотелескопе РАТАН-600, расположенном в районе Зеленчука (Северный Кавказ) на Специальной астрофизической обсерватории РАН. Логопериодическая структура специального вида напечатана на диэлектрических пластинах, являющихся боковыми гранями пирамиды. Пирамида помещена в металлическую полость, дно которой служит экраном. Благодаря пирамидальной форме, активная область на каждой частоте расположена над экраном на одной и той же высоте, выраженной в длинах волн. Это обеспечивает стабильность частотной зависимости диаграммы направленности и входного сопротивления. Питание подводится к вершине пирамиды через отверстие в экране. В полость экрана наливают сжиженный газ (азот или гелий), для уменьшения шумовой температуры антенны. На рис. 13.13 показан общий вид РАТАН-600 на САО РАН

