

Лекция 15.

Методы измерения некоторых параметров антенн.
Симметрирующие устройства

1. Методы измерения коэффициента усиления антенны в дальней зоне.

Поток плотности мощности (величины вектора Пойнтинга) в направлении максимального излучения передающей антенны с коэффициентом усиления G_{tr} , умноженный на эффективную площадь приёмной антенны S_{rec} , расположенной на расстоянии R , определяет мощность принятого сигнала:

$$P_{rec} = P_{tr} \frac{G_{tr} S_{rec}}{4\pi R^2}, \quad (15-1)$$

В выражение (15-1) не входит частота или длина волны. Выразим эффективную площадь через коэффициент усиления, применив формулу:

$$G = \frac{4\pi S}{\lambda^2}$$

В результате получим:

$$P_{rec} = P_{tr} G_{tr} G_{rec} \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2 \quad (15-2)$$

Эта формула позволяет найти один из коэффициентов усиления при известном другом и при найденных в результате измерений мощностей передатчика и принимаемой приёмником. Если же в качестве приёмной и передающей антенн используются одинаковые антенны, формула позволяет найти их коэффициент усиления:

$$G = \frac{4\pi R}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{rec}}{P_{tr}}} \quad (15-3)$$

В том случае, когда в схеме измерения невозможно применить одинаковые антенны, применяют метод трёх антенн с заранее неизвестными коэффициентами усиления. Выполняют три измерения с каждой парой антенн:

$$P_{12} = P_{tr} G_1 G_2 \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2; P_{23} = P_{tr} G_2 G_3 \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2; P_{31} = P_{tr} G_3 G_1 \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2;$$

В результате получаем:

$$G_1 = \frac{4\pi R}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{12} P_{31}}{P_{tr} P_{23}}}; G_2 = \frac{4\pi R}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{12} P_{23}}{P_{tr} P_{31}}}; G_3 = \frac{4\pi R}{\lambda} \sqrt{\frac{P_{23} P_{31}}{P_{tr} P_{12}}}; \quad (15-4)$$

2.Измерение в безэховой камере, поглощающий материал.

При измерении коэффициента усиления изложенным в первом разделе методом, антенны необходимо располагать друг относительно друга в дальней зоне. При этом возникают нежелательные эффекты, связанные с отражениями от земли и окружающих объектов. Кроме того, излучение передатчика дополнительно засоряет эфир электромагнитными волнами, которые являются помехами для других обычно действующих радиосистем: мобильной связи, интернета и других. Очень часто имеются прямые запреты на такое засорение радио-эфира. В этом случае применяют методы измерения, использующие безэховые камеры. На рис.15.1 представлено фото типичной безэховой камеры.

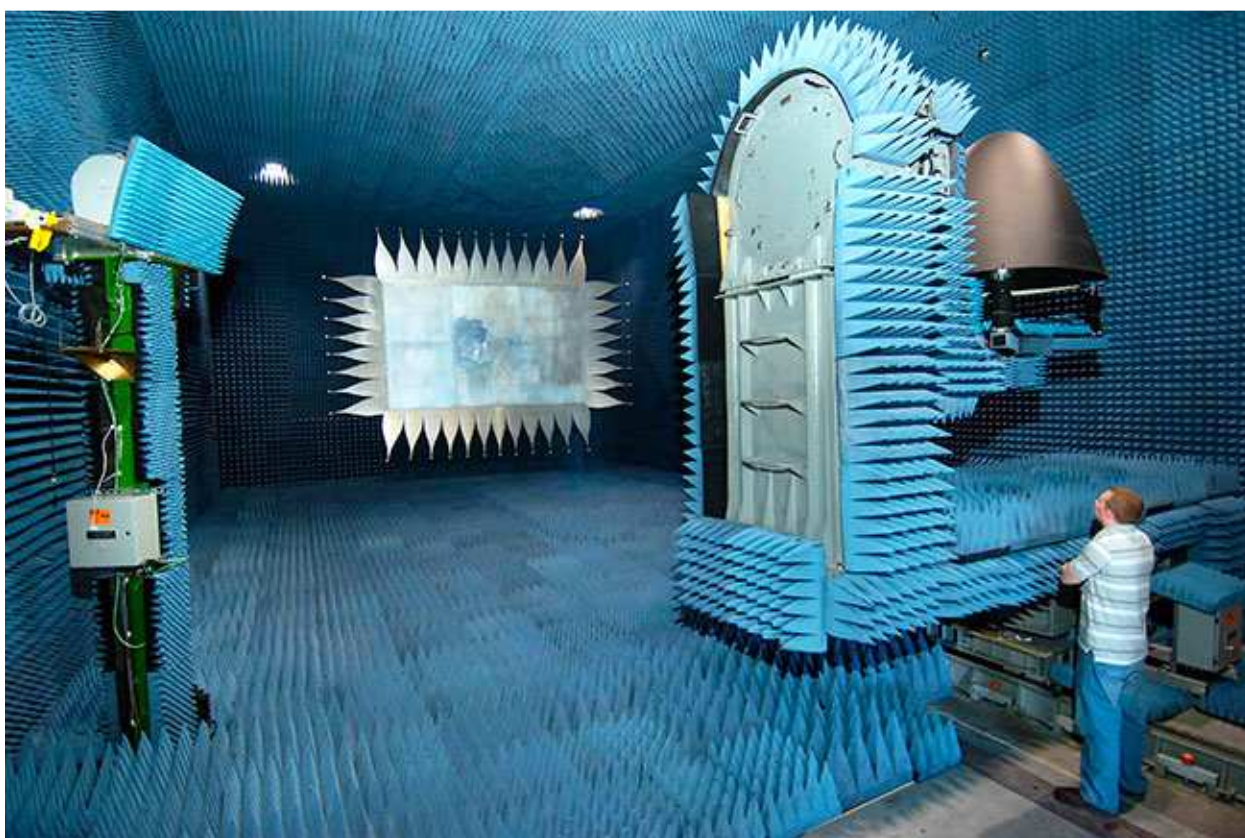


Рис. 15.1 Безэховая камера.

Пол, стены и потолок камеры покрывают поглощающим материалом. Обычно поглощающий материал выполняют в виде матов с установленными на них поглощающими пирамидами, изготовленными из резиноподобного пористого состава, содержащего порошковые включения углерода и железа. Форма материала в виде пирамид позволяет поглощать электромагнитное излучение в широком частотном диапазоне. К поглощающему материалу предъявляются требования по уровню отражения (обычно ниже 40 дБ), пожарной безопасности и безвредности для работающего персонала. На рис. 15.2 показан в увеличенном масштабе участок мата из пирамид.



Рис. 15.2 Пирамиды поглощающего материала.

Стараются в пределах области размещения исследуемой антенны создать поле, близкое к полю плоской волны. В этом случае можно проводить измерения не ограничивая расстояние от передающей до приёмной антенны.

3. Измерение полей и диаграмм направленности в ближней зоне.

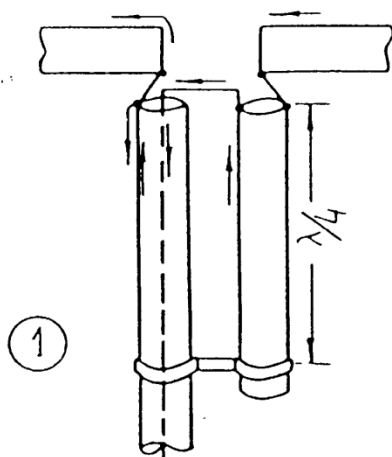
Если в области измерения распространяется не плоская волна, применяют технику пересчёта в дальнюю зону. Для применения этой техники необходимо производить измерения не только по амплитуде, но и по фазе. Алгоритм пересчёта зависит от геометрической схемы расположения и перемещения датчиков поля (например, движение по плоской, цилиндрической или сферической схеме).

Такой пересчёт применяют и в открытом пространстве при точном измерении параметров больших зеркальных антенн или антенных решёток. При этом в качестве источников часто используют внеземные источники, проводят амплитудно-фазовые измерения. Хотя исследуемые объекты располагаются при этом в дальней зоне, пересчёт необходим для "визуализации" погрешностей выставки отдельных элементов конструкции отражающих поверхностей или при нахождении некондиционных элементов антенной решётки. Данный метод окончательной юстировки больших зеркальных антенн, называемый "радиоголографией", на сегодняшний день, является наиболее точным.

5. Симметрирующие устройства.

Симметрирующие устройства необходимы как трансформирующие элементы между несимметричными фидерами (обычно - коаксиальными кабелями) и симметричными элементами устройств, питаемыми равными противофазными токами (например, плечами симметричного вибратора). Симметричный вибратор часто применяется в

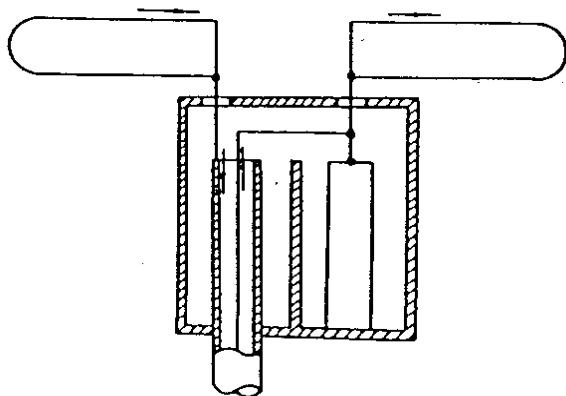
антенной технике не только как самостоятельный элемент, но и как часть более сложной антенны. Поэтому работу симметрирующих устройств мы иллюстрируем на примере питания симметричного вибратора.



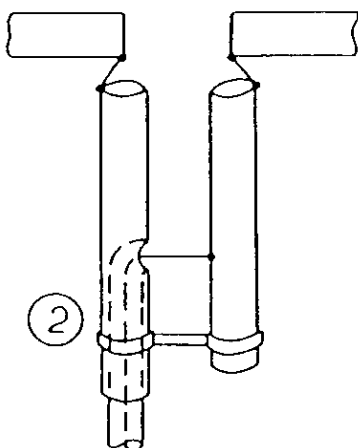
Симметрирующий "мостик"

(показано направление тока)

Закороченные внизу трубки образуют четвертьволновый двухпроводный шлейф, закороченный снизу. При подключении вибраторов к такому шлейфу сверху, входное сопротивление шлейфа очень большое, поэтому на шлейф ток ответвляться практически не будет, ток, передаваемый ко входу вибраторов, будет таким же, как ток на выходе коаксиала в левой трубке. Коаксиал нагружен на полное сопротивление вибратора.

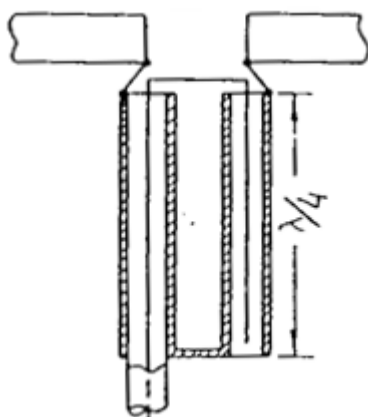


Это симметрирующее устройство тоже симметрирующий мостик, только экранированный. За счёт экранировки уменьшается волновое сопротивление линии шлейфа, что влечёт уменьшение входного сопротивления шлейфа.



Неполное включение симметрирующего мостика.

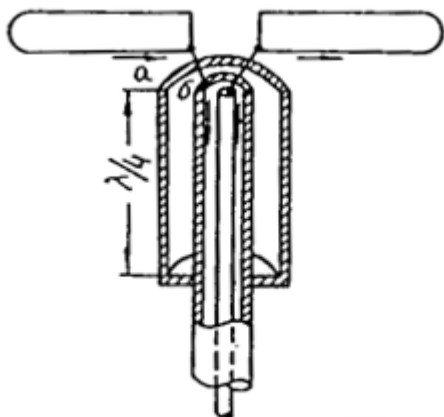
Используется для трансформации сопротивления вибраторов ко входу коаксиала с целью улучшения согласования.



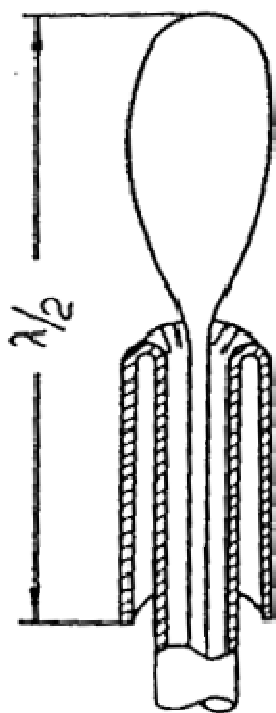
Симметрирующее устройство Маршанда -

используется для увеличения широкополосности

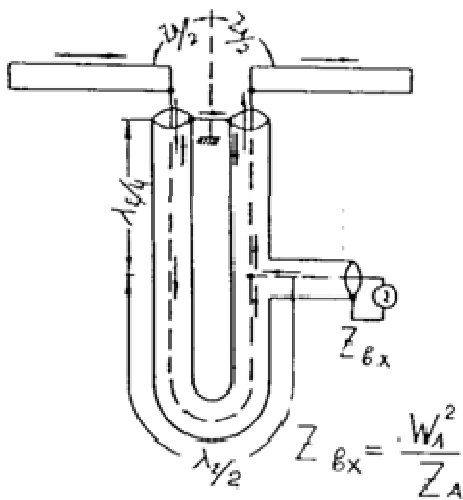
- согласования коаксиального кабеля с вибраторами..



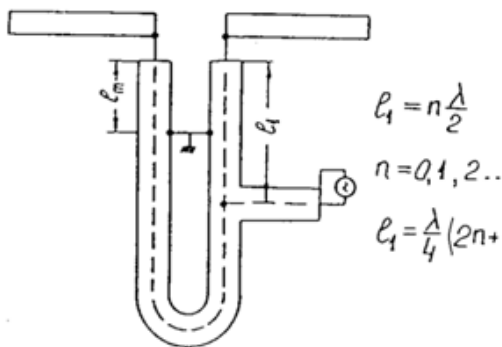
Симметрирующее устройство типа "четвертьволнового стакана". Ток не может затекать в область внешнего коаксиала, поэтому токи, запитывающие плечи вибраторов будут равны по величине и противофазными.



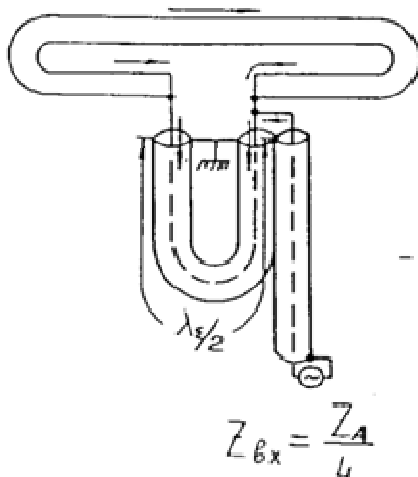
Здесь внешний проводник коаксиала завёрнут так, чтобы образовать вместе со свободным плечом полуволновый вибратор. Область между завёрнутым и незавёрнутым частями внешнего проводника коаксиала образуют закороченную коаксиальную линию, препятствующую ответвлению тока на нижнюю наружную поверхность коаксиальной линии. При этом, диаграмма направленности излучающей антенны не искажается.



Данное симметрирующее устройство состоит из отрезка коаксиального кабеля длиной, равной длине волны, к которому параллельно подключён входной коаксиальный кабель. Место включения входного кабеля расположено на расстоянии четверть длины волны от концов кабеля, у которых к внутренним проводникам подключены плечи симметричного вибратора. Длина U-образного отрезка кабеля, расположенного ниже точки включения входного кабеля, равно половине длины волны. Внешние проводники кабеля в месте соединения с плечами вибратора, соединены между собой. Отрезок кабеля от точки включения входного кабеля до точки питания вибратора образует четвертьволновый трансформатор. Входное сопротивление в точке включения входного кабеля равно W^2/Z_A .

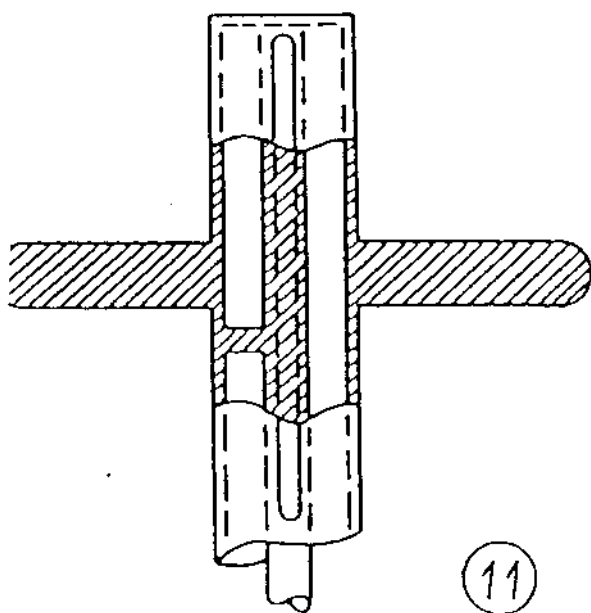


Симметрирующее устройство отличается от предыдущего местом подключения точки соединения внешних проводников симметрирующего кабеля. Сверху внешние проводники симметрирующего кабеля образуют закороченный отрезок двухпроводной линии, который подключён параллельно вибратору и может компенсировать его реактивную часть.

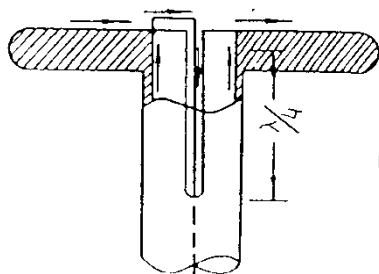
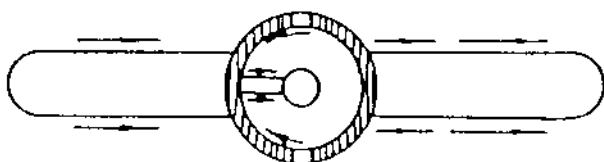


Данное симметрирующее устройство - "U-колени", в отличие от предыдущих, лишено отрезков кабеля, расположенных выше точки включения входного кабеля. Из симметрии шлейф-вибратора следует, что средняя точка его имеет нулевой потенциал, как и точка соединения внешних проводников "U-колени" симметрирующего устройства. Длина отрезка коаксиального кабеля, образующего "U-колени", равна половине длины волны, поэтому токи на его концах противофазны и равны по величине. Это приводит как бы к параллельному подключению половинок шлейф-вибратора ко

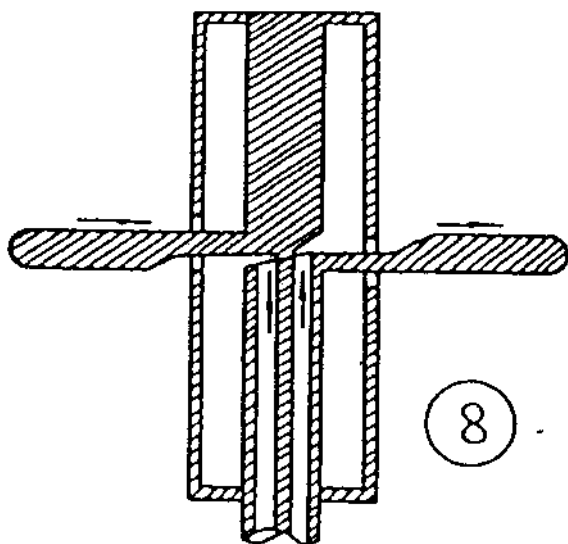
входному кабелю. Значит входное сопротивление равно четверти сопротивления шлейф-вибратора.



В нижеследующих симметрирующих устройствах оно образует единую жёсткую конструкцию с вибраторной антенной. Несимметричная линия передачи образована жёсткой коаксиальной линией. Чтобы плечи вибратора не закорачивались внешним проводником коаксиала, в нём прорезаны полуволновые щели между точками включения плеч вибратора. Внутренний проводник коаксиала соединён с внешним в верхней точке и промежуточной точке, которая подбирается из условия согласования.



В этом симметрирующем устройстве, в отличие от предыдущего, отрезана часть жёсткого коаксиала, образующая четвертьволновый отрезок. Щель образует четвертьволновую двухпроводную линию, закороченную на конце. Внутренний проводник коаксиала присоединён сверху к левому плечу вибратора.



В этом симметрирующем устройстве плечи вибратора выведены через оверстия во внешнем проводнике внешнего коаксиала. Они изолированы от внешнего проводника. Так как плечи вибратора подключены к разным проводникам входного коаксиала, токи в них равны по величине и противофазны. Части внешнего коаксиала образуют четвертьволновые отрезки, закороченные на концах, поэтому они не шунтируют вибратор.