

# Настройка УКВ антенн

Настройка антенн должна обеспечить наиболее эффективное излучение ВЧ энергии в пространство на данной рабочей частоте.

В процессе настройки необходимо:

1. установить диапазон рабочих частот  $f$ ;
2. оценить величину входных сопротивлений излучающей системы  $Z_a$ ;
3. определить степень симметричности антенны;
4. измерить диаграмму направленности и т. д.

Для решения этих задач следует определить коэффициент укорочения ВЧ линии или кабеля и градуировку детекторов в некоторых индикаторах и т. д.

Очень сложная задача настройки антенны облегчается тем, что для многих величин достаточно знать лишь их относительное значение. Очень ценным является и то, что большинство ВЧ цепей являются резонансными или их можно сделать таковыми.

Для настройки антенн необходим ряд простых измерительных приборов и устройств: ГИР, мощный экранированный генератор на рабочей частоте, индикаторы поля и т. д. Кроме того, настройку необходимо вести в свободном пространстве для исключения влияния посторонних предметов на диаграмму направленности антенны.

Все вопросы настройки рассматриваются применительно к диапазону 144 МГц. На рис. 1 изображены два варианта полуволнового вибратора.

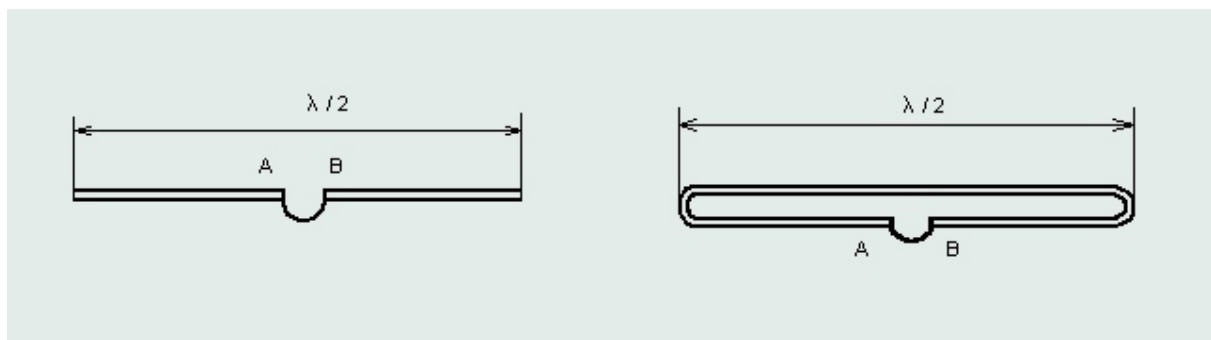


Рис. 1. Схема полуволнового вибратора

Резонансную частоту полуволновых вибраторов можно определить по ГИРу. Для этого точки А и В замыкают накоротко толстым проводником и к этому месту подносят ГИР. Индуктивно связывать ГИР и антенну надо именно здесь, так как в точках А и В у вибратора  $\lambda/2$  возникает пучность тока и связь получается более сильная. На резонансной частоте антенны показания ГИРа резко уменьшаются. Иногда мощность ГИРа может оказаться недостаточной и точность измерения получится приближенной, так как при таком измерении антенна по необходимости бывает близко расположена и к окружающим предметам, и к самому оператору.

## Настройка многоэлементных антенн «волновой канал»

Использование многовibratorных антенн типа «волновой канал» требует или полного и точного повторения описанного авторского варианта, или дополнительной проверки и подгонки согласования и усиления. Есть несколько признаков правильной работы направленной антенны:

1. диаграмма направленности симметрична относительно механической оси и имеет слабо выраженные боковые лепестки ( $-10$ — $-20$  дБ) и незначительное обратное излучение ( $-10$ — $-20$  дБ);
2. КСВ в линии питания меньше 2;
3. Коэффициент усиления обеспечивается работой всех пассивных элементов.

Основательную проверку параметров новой антенны следует делать на открытом пространстве, так как измерения могут исказить отражения от разных объектов.

Антенну лучше испытывать в качестве приемной, установив ее на расстоянии 10 – 15 м от отдельной передающей антенны. Высота обеих антенн должна быть не менее 2 м на диапазоне 432 МГц и 3 м на 144 МГц. Мощность передатчика должна быть не менее 3 ... 5 Вт, так как начальное испытание антенн при малом количестве элементов становится затруднительным.

В качестве индикатора в приемной антенне можно применять кристаллический диод типа Д-2, ДК-И1 или типа ДГ-С2 с микроамперметром ИП1 до 100—200 мкА. Включение измерительной цепи показано на рис. 2. Она не должна вносить расстройку в систему самого вибратора. Диод D1 крепится кратчайшим путем, дроссели Др<sub>1</sub>, Др<sub>2</sub> имеют диаметр 3 мм, длина намотки 12 мм проводом ПЭШО 0,1.

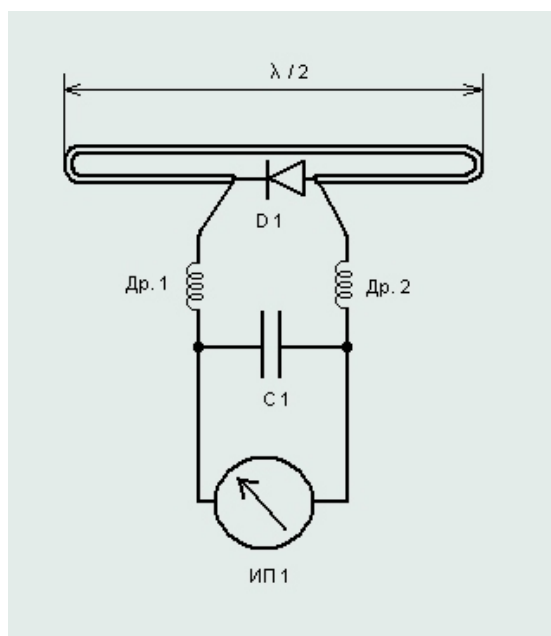
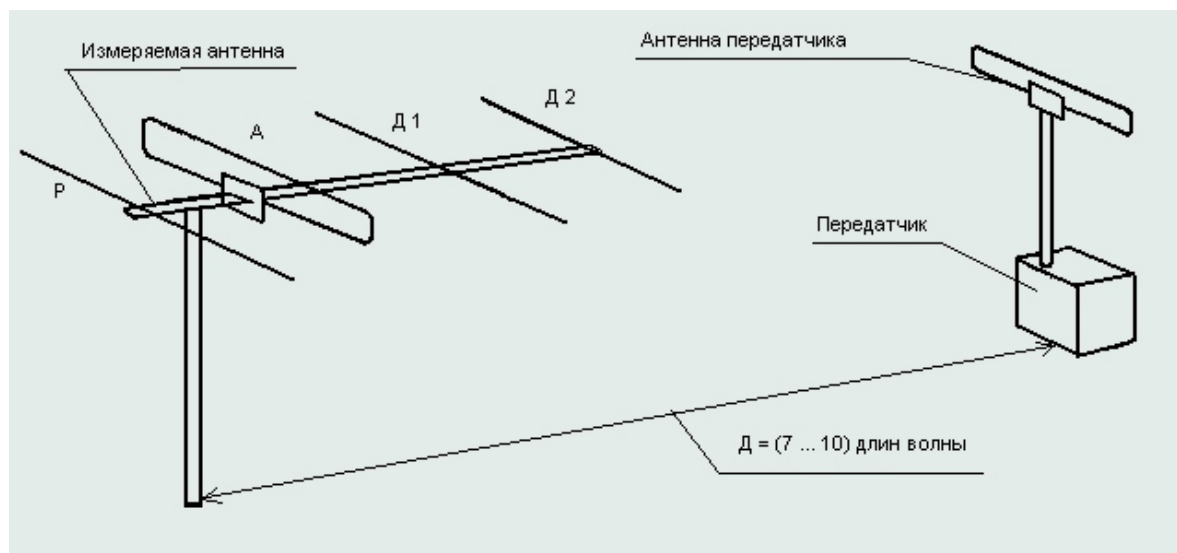


Рис. 2. Схема измерительной цепи

При измерении следует помнить, что характеристика диода нелинейна: малые значения показаний прибора, например от 0 до 40 делений стоградусной шкалы, оказываются заниженными. Обычно детекторы перед измерением градуируют.

На рис. 3 показана схема установки антенны при измерениях.



**Рис. 3.** Схема установки антенны

Для проверки всей измерительной цепи передающую антенну подносят на такое расстояние, чтобы показания прибора равнялись 30—40 делениям. Частоту генератора  $f_0$  изменяют на  $f$  до краев рабочего диапазона и на нескольких частотах записывают показания прибора ИП1.

Определяют частоту  $f_{\text{макс}}$ , на которой показания ИП1 оказываются наибольшими; она не должна быть выше 0,5—0,6 МГц от значения  $f_0$ . Проверяют влияние рефлектора Р, установленного на расчетном расстоянии, а также ближе и дальше него. Показание прибора должно увеличиться на 50—70%. В каждом положении Р снова проверяют частоту  $f_{\text{макс}}$ , дающую наибольшие отклонения стрелки прибора. Влияние рефлектора критично лишь в том случае, если он слишком короткий для частоты  $f_0$ .

Активный вибратор А и рефлектор Р устанавливают на таком расстоянии, чтобы показания ИП1 было наибольшим при  $f_0$ . Обычно это равно 0,15 и выше и в процессе дальнейшей настройки не меняется.

Передающую антенну относят на такое расстояние, чтобы стрелка ИП1 упала до показаний  $a$  10—16 делений, и снимают (или поворачивают на 90°) рефлектор. Показания прибора  $a$  должны составлять несколько делений, удобных для отсчета, а расстояние  $D$  до антенны передатчика должно быть не менее  $D = 7-10L_0$ , где  $L_0$  —общая длина будущей антенны. Если  $D < 7L_0$ , то надо повысить или чувствительность индикатора, или мощность передатчика.

После такой предварительной подготовки можно проверить работу всей системы антенны путем последовательного добавления пассивных элементов. Для этого записывают показания прибора  $a$  на частоте  $f_0$  от одного вибратора А, устанавливают рефлектор и записывают  $a_2$ . Далее устанавливают на свои места (по описанию антенны) последовательно директоры  $D_1, D_2, D_3$  и записывают  $a_3, a_4$ ,

$a_5$ . Все эти показания прибора должны быть возрастающими, т.е.  $a_2 > a_1$ ,  $a_3 > a_2$  и т. п. Допустим,  $a_1 = 5$ ,  $a_2 = 10$ ,  $a_3 = 18$ ,  $a_4 = 27$ ,  $a_5 = 36$ . Отсчитывают для  $a_1—a_5$  действительные значения  $i_1—i_5$  тока через индикатор ИП1. Так как они приведены к одному масштабу, то по ним можно правильно судить об усилении, даваемом каждым элементом.

На рис. 4 эти значения показаны графически в виде кривой В. Точка 1 соответствует току в одном только вибраторе А, точки 2, 3 и т. д. показывают приращение тока в вибраторе от действия рефлектора, а затем и директоров  $D_1$ ,  $D_2$  и т. д.

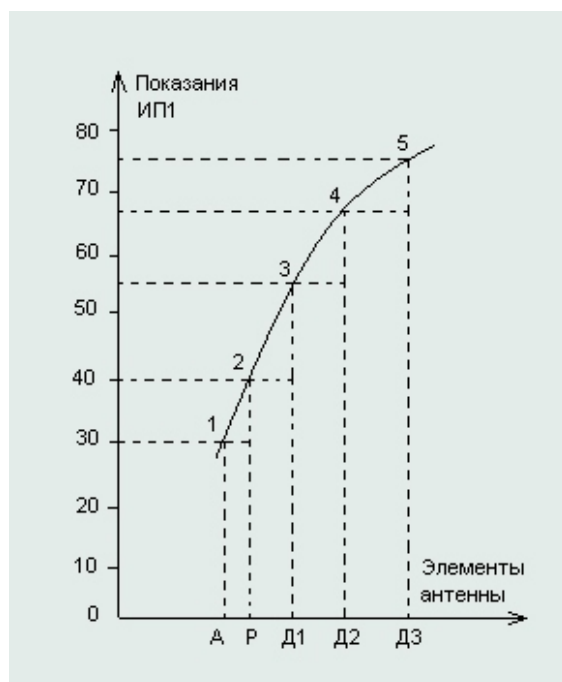


Рис. 4. Характеристика антенны

Из кривой на рис. 4 видно, что влияние первых близких к активному вибратору элементов больше, чем удаленных.

При неправильно подобранных длинах элементов и расстояний между ними у коротких антенн зависимость усиления от числа элементов обычно идет не плавно, а с изломом или даже провалом. Добавление элемента не дает усиления. Такое явление встречается чаще при установке второго или третьего директора и ликвидируется изменением расстояния или длины ближайшего директора или обоих вместе. Иногда подобное явление может появиться и за счет наложения прямой и отраженной волны от антенны передатчика в месте приема. Распознать эти явления можно незначительным приближением или удалением одной из антенн на  $\lambda/2—3/4$ .

Для измерения диаграммы направленности антенну вращают плавно по азимуту и через каждые 5—10% делают отсчет  $a$  прибора. Значение  $a$  пересчитывают по заранее рассчитанной градуировочной кривой используемого измерительного диода (т.е. на действительные значения) и по ним уже строят диаграмму. При этом диаграмма получается шире, чем была бы при построении диаграммы только по значениям  $a$ .

Узкие диаграммы направленности удобнее строить в прямоугольных координатах. По горизонтальной оси откладывают градусы вправо и влево от

главного направления, которому соответствует координата 0. По вертикали откладывают значения показаний прибора приемного вибратора. Итак, мы получаем растянутую по углам (по горизонтали) кривую с отчетливо видными деталями, например боковыми излучениями или углами нулевого излучения и т. д. Если у главного лепестка провести прямую на высоте 0,707 от наибольшей высоты диаграммы, то расстояние между точками пересечения этой прямой с полученной диаграммой (по шкале углов) даст нам ширину главного лепестка антенны  $I_n$  в градусах.

## Настройка длинных антенн «волновой канал»

Настройка этих антенн сложнее не только из-за большего числа элементов, но и из-за необходимости испытывать их или в рабочем положении, или в большом свободном от препятствий пространстве. Для повторения какой-либо антенны «волновой канал» необходимо выдержать не механическую, а электрическую длину или настройку директоров. Всякие изменения, вносимые по необходимости в повторяемую конструкцию антенны, могут изменить настройку директоров и резко ухудшить ее свойства. Поэтому изготовление длинных антенн для спутниковой связи нужно выполнять с исключительной осторожностью.

Надежным способом проверки длинных антенн является снятие полной диаграммы ее направленности и оценка по величине бокового излучения свойств антенны.

Если настройка директоров не изменилась в повторенной конструкции, то число боковых лепестков будет не более двух-трех, а их величина в диаграмме не больше чем на 10—12 дБ под уровнем главного лепестка диаграммы. Такая диаграмма показана на рис. 5.

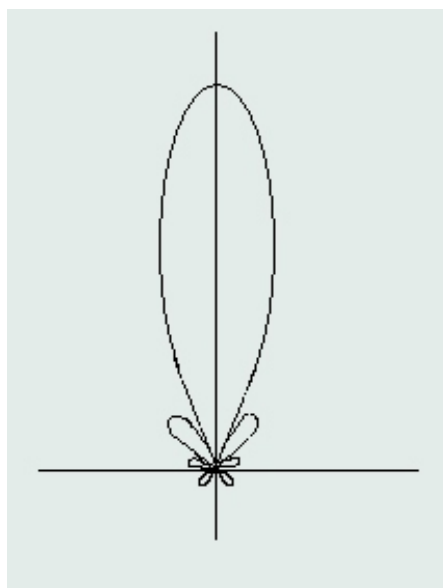
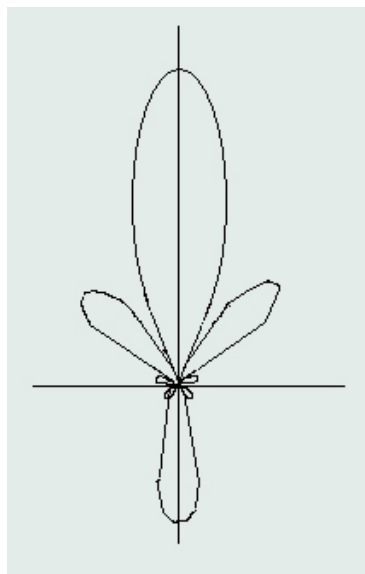


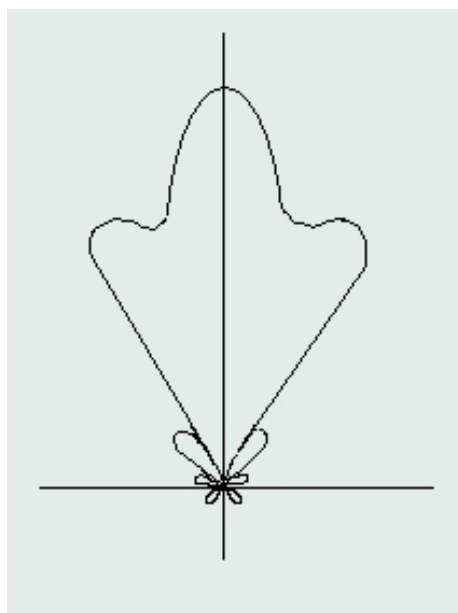
Рис. 5. Диаграмма хорошей антенны

Случайные удлинения директоров за счет уменьшения диаметров, изменения крепления и т. д. вызывают понижение усиления в главном лепестке и увеличение его в боковых направлениях (рис. 6).



**Рис. 6.** У антенны удлинены директоры

Значительная расстройка элементов или их удлинение полностью нарушает диаграмму (рис. 7).



**Рис. 7.** Все элементы значительно расстроены

Диаграммы на рис. 5, 6 и 7 показывают простой и надежный способ проверки длинных антенн. Частоту колебаний, подводимых к антенне, постепенно повышают и в пределах поворота от 0 до 180° всякий раз отмечают значения и характер максимумов боковых лепестков. Та частота  $f_m$ , при которой впервые резко повышается амплитуда какого-либо бокового лепестка по сравнению с главным лепестком, ограничивает верхний рабочий предел частот антенны. Наивыгоднейшая рабочая частота  $f_0$  антенны будет несколько ниже  $f_m$ .

Если частота  $f_0$  лежит в невыгодном участке или на краю диапазонов 144—146 или 430—435 МГц, то всю систему директоров длинной антенны надо укоротить, если  $f_m < f_0$ , или удлинить, если  $f_m > f_0$ . О том, насколько надо изменить длину элементов, можно судить по результатам анализа диаграмм. Практически увеличение длины директора в длинном «волновом канале» на один процент, т. е. на 1 см для 145 МГц и 0,35 см для 435 МГц, имеет существенное значение для работы антенны на УКВ.

Можно сказать, что снятие частотной характеристики и одновременно диаграммы направленности является самым показательным и наиболее доступным испытанием всех антенн «волновой канал».

## Контроль согласования антенн

От степени согласования входного сопротивления  $Z_a$  любой антенны с волновым сопротивлением питающей ВЧ линии (кабеля) зависит действительный уровень излученной и используемой ВЧ мощности передатчика.

Оценивать согласование можно путем сопоставления значения тока  $I_A$  в линии питания, нагруженной антенной, с током  $I_S$ , который должен быть в согласованной линии. Если ток  $I_A = I_S$ , то к антенне подводится вся мощность за вычетом потерь в кабеле.

Для оценки необходимо знать действительную ВЧ мощность, которую может отдать выходной каскад. Ее можно измерить резонансным индикатором мощности (РИМ), например, методом сравнения яркости свечения лампочек, питаемых ВЧ током, и постоянным током от вспомогательной цепи. Точность такого измерения мощности – порядка 10%. Поскольку такой прибор имеется не у каждого радиолюбителя, то обычно для ориентировочного определения излучаемой мощности приходится использовать обычную лампочку накаливания. В этом случае очень важно, чтобы величина сопротивления этой лампочки хотя бы приблизительно равнялась волновому сопротивлению примененного антенного фидера. Можно использовать формулу закона Ома  $R = V^2 / P$ , где  $R$  – определяемое сопротивление,  $V$  – рабочее напряжение лампочки,  $P$  – мощность лампочки.

Оценку согласования можно сделать по величине изменений показаний ВЧ индикатора напряжения или тока, включаемого в разных местах линий питания. Непрерывный контроль согласования в настоящее время делают с помощью рефлектометров или КСВ-метров различных конструкций.