

## Измеритель КСВ до 200 Вт

Известно, что успешная работа в эфире во многом зависит от эффективности антенны любительской радиостанции. Существует большое разнообразие коротковолновых антенн. Начинающие радиолюбители обычно используют наиболее простые, не требующие больших затрат. Более опытные устанавливают на высоких мачтах многоэлементные направленные антенны. Но любая антенна будет давать хорошие результаты, лишь когда правильно настроена. Существенную помощь радиолюбителю в настройке антенны окажет предлагаемый прибор.

Антенну, как правило, запитывают тремя способами. Наиболее простые, например «длинный луч», питаются однопроводным фидером, являющимся частью антенны и поэтому интенсивно излучающим электромагнитные волны. При работе радиостанции на передачу такой фидер является источником помех для ближайших телевизоров. При приеме на него также наводится множество бытовых и промышленных помех. Некоторые антенны запитывают двухпроводным воздушным фидером или симметричным ленточным кабелем. Такой способ позволяет уменьшить излучение фидера, но широкого распространения у радиолюбителей не получил. Наибольшее распространение получил коаксиальный фидер. При правильном согласовании и симметрировании он практически не излучает при передаче и помехозащищен при приеме. К тому же обычный телевизионный коаксиальный кабель доступен любому радиолюбителю. Описываемый ниже прибор предназначен для измерения коэффициента стоячей волны (КСВ), передаваемой по коаксиальному кабелю в антенну.

Известно, что коаксиальная линия передачи характеризуется так называемым волновым сопротивлением  $g$ , которое в основном зависит от соотношения размеров внутреннего (у кабеля - жила) и внешнего (оплетка) проводников. Наиболее часто встречаются кабели с волновым сопротивлением 50 и 75 Ом. Для того чтобы мощность, подаваемая от передатчика в кабель, поступала в нагрузку (антенну), необходимо выполнить условие: сопротивление нагрузки должно быть равно волновому сопротивлению кабеля. В этом случае, если не принимать во внимание потери в кабеле, по всей длине между центральным проводником и оплеткой установится одинаковое напряжение и по ним потечет одинаковой силы ток. Конкретные значения этих величин зависят от мощности передатчика, параметров нагрузки и кабеля. Принято говорить, что при этом в кабеле устанавливается режим бегущей волны.

Но на практике чаще бывает так, что сопротивление нагрузки не равно волновому сопротивлению кабеля, т. е. между ними существует рассогласование. В этом случае в нагрузке выделяется только часть мощности (падающая волна), а появляющаяся так называемая реактивная мощность движется от нагрузки к передатчику (отраженная волна). Составляющие электромагнитного поля отраженной волны имеют начальную фазу, отличную от начальной фазы составляющих падающей волны. В результате сложения одноименных составляющих с разными фазами в кабеле образуются стоячие волны. Уровень стоячих волн можно оценить коэффициентом стоячей волны - частным от деления суммы на разность напряжений или токов в кабеле, вызванных падающей и отраженной волнами.

Рассмотрим два крайних случая рассогласования: обрыв нагрузки ( $R_n = \infty$ ) и короткое замыкание ( $R_n = 0$ ). В первом случае напряжение на конце кабеля максимально и больше, чем в случае согласованной нагрузки ( $R_n = 0$ ), а ток в этой точке равен нулю. По мере удаления от конца кабеля к передатчику напряжение уменьшается, а ток возрастает. На расстоянии четверти длины волны в кабеле напряжение упадет до нуля, а ток достигнет максимума. В таком случае говорят, что в этой точке располагается узел напряжения и пучность тока. Попутно следует заметить, что длина волны в кабеле  $\lambda_k$  связана с длиной волны в свободном пространстве  $\lambda$  следующим соотношением:  $\lambda_k = \frac{\lambda}{\sqrt{\epsilon}}$ . В

этой формуле  $\epsilon$  — это диэлектрическая постоянная (проницаемость) материала внутренней изоляции кабеля. Выражение  $K = 1/\sqrt{\epsilon}$  называется коэффициентом укорочения волны в кабеле. Например, для кабелей с диэлектриком из полиэтилена:  $K = 0,66$  и  $\lambda_k = 0,66\lambda$ .

Если продолжать двигаться от конца кабеля в сторону передатчика, то еще через  $\lambda_k/4$  картина соотношения напряжения и тока будет такой же, как и на конце кабеля, т. е. узел тока и

пучность напряжения. При коротком замыкании в нагрузке картина стоячих волн несколько иная - на конце кабеля ток максимален, а напряжение равно нулю.

Обычно обрыв или короткое замыкание нагрузки бывает при неисправности антенны и случается не так часто. При неравенстве сопротивления нагрузки и волнового сопротивления кабеля вдоль линии также образуются стоячие волны и только часть мощности отражается от нагрузки.

Фидер антенны может работать как в режиме бегущих, так и в режиме стоячих волн. В первом случае его длина может быть произвольной и определяться удаленностью антенны от передатчика. Во втором случае длина фидера должна быть связана с длиной волны в кабеле  $\lambda_k$ . Так, если она кратна целому числу полуволн, то сопротивление нагрузки трансформируется к началу кабеля без изменения. Элементами настройки выходного контура передатчика может быть достигнуто согласование его выходного сопротивления и нагрузки.

Принципиальная схема прибора для измерения КСВ изображена на Рис.2. К одному из коаксиальных разъемов XS1 или XS2 отрезком кабеля подключается передатчик, а к другому - фидер антенны. К каждому из диодов VD1 и VD2 приложено два напряжения: одно, пропорциональное напряжению между проводниками коаксиального кабеля, поступает с емкостного делителя С1С2 и С3С4. Второе напряжение выделяется на резисторах R1 и R2 - оно пропорционально току в центральном проводнике. Напряжения, снимаемые с емкостных делителей, практически синфазны, так как расстояние между точками подключения С1 и С3 невелико по сравнению с  $\lambda_k$  и набегом фазы на этом участке можно пренебречь. В то же время напряжения, снимаемые с резисторов, противофазны. Поэтому на одном диоде результирующее напряжение будет равно сумме двух напряжений, а на другом - разности. На каком какое это зависит от взаимного направления намотки обмоток трансформатора тока Т1. Ток того диода, к которому приложено суммарное напряжение, пропорционален падающей волне, а ток другого - отраженной. КСВ вычисляют по формуле  $КСВ = (I_{нао} + I_{омп}) / (I_{нао} - I_{омп})$ , где  $I_{нао}$  и  $I_{омп}$  - ток диода для падающей и отраженной волны.

Для удобства вычислений стрелку индикатора РА1 при положении переключателя SA1, соответствующем падающей волне, устанавливают переменным резистором R4 на последнее деление шкалы. Затем переключатель переводят в положение отраженной волны и отсчитывают показания индикатора. Если шкала индикатора содержит 100 делений (например, у микроамперметра с током полного отклонения стрелки 100 мкА), формула принимает вид:  $КСВ = (100 + I_{омп}) / (100 - I_{омп})$ . В этом случае для вычислений удобнее пользоваться таблицей 1, в которой указано, какому значению КСВ соответствует то или иное отклонение стрелки индикатора.

Таблица 1:

Отр	0	4,7	9,1	13	16,7	20	23,1	25,9	28,6	31	33,3	35,5	37,5	39,4	41,2	42,8	44,4
КСВ	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6

Теперь несколько слов о конструкции прибора и примененных деталях. Диоды желательно использовать германиевые, поскольку они начинают открываться при меньшем приложенном напряжении по сравнению с кремниевыми. В конструкции применен трансформатор тока, выполненный на кольцевом сердечнике типоразмера К12х6х4,5 (16\*8\*6) из феррита марки М50ВН. Первичная обмотка представляет собой отрезок центрального проводника коаксиального кабеля, который вместе с изоляцией протрет сквозь кольцо. Предварительно по окружности кольца равномерно в один слой намотана вторичная обмотка - 30 витков провода 0,16 - 0,2мм. Концы первичной обмотки запаиваются коаксиальные разъемы XS1 и XS2.

Печатную плату укрепляют внутри корпуса, который выполнен из листового алюминия или латуни. На передней стенке корпуса установлены тумблер S1, переменный резистор «Чувствительность» и микроамперметр. Он может быть любого подходящего типа с током полного отклонения рамки до 500 мкА. Коаксиальные разъемы XS1 и XS2 типа UHF устанавливаются на плате.

Для налаживания прибора вместо антенны к разъему XS2 подключают резистор 50 или 75 Ом. Его номинал зависит от волнового сопротивления используемого коаксиального кабеля в фидере антенны, а мощность от мощности передатчика мощностью. Передатчик подключают к разъему XS1. Переключатель S1 устанавливают в положение отраженной волны. Подстройкой емкости конденсатора С1 изменяют коэффициент деления емкостного делителя С1С2 так, чтобы

амплитуды напряжений на конденсаторе C2 и резисторе R1 уравнились. Поскольку эти напряжения по отношению к диоду VD1 включены встречно, то ток через диод должен быть равен нулю. Если все же, подстраивая C1, не удастся установить стрелку индикатора на нулевое деление шкалы, то следует поменять местами выводы обмотки II трансформатора T1. Затем подключают к XS1 нагрузку, а к XS2 — передатчик. Изменяют положение переключателя S1 и, подстраивая C3, стрелку вновь устанавливают на нулевое деление. По окончании налаживания следует обратить внимание на соответствие стрелок, нанесенных на панели у тумблера S1, направлению падающей волны. Если тумблер установлен в положение стрелки, указывающей направо, то прибор должен регистрировать падающую волну при подключении передатчика слева, а нагрузки - справа. В случае необходимости восстановить это соответствие можно, поменяв местами провода, подпаянные к неподвижным контактам тумблера.

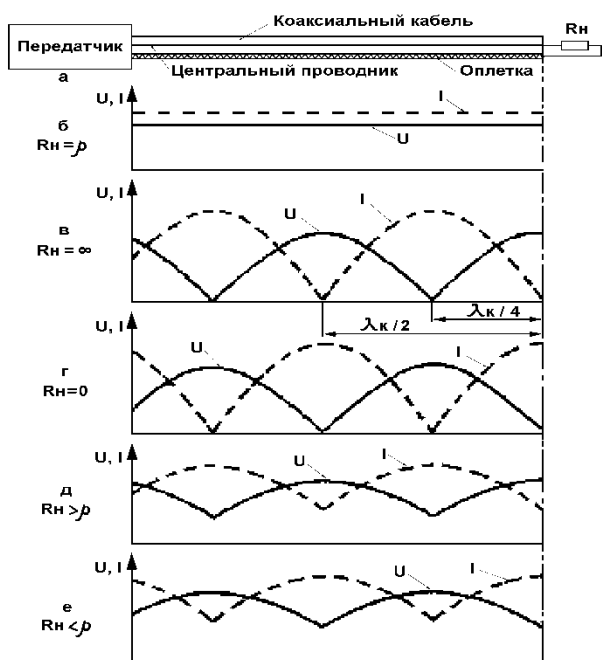
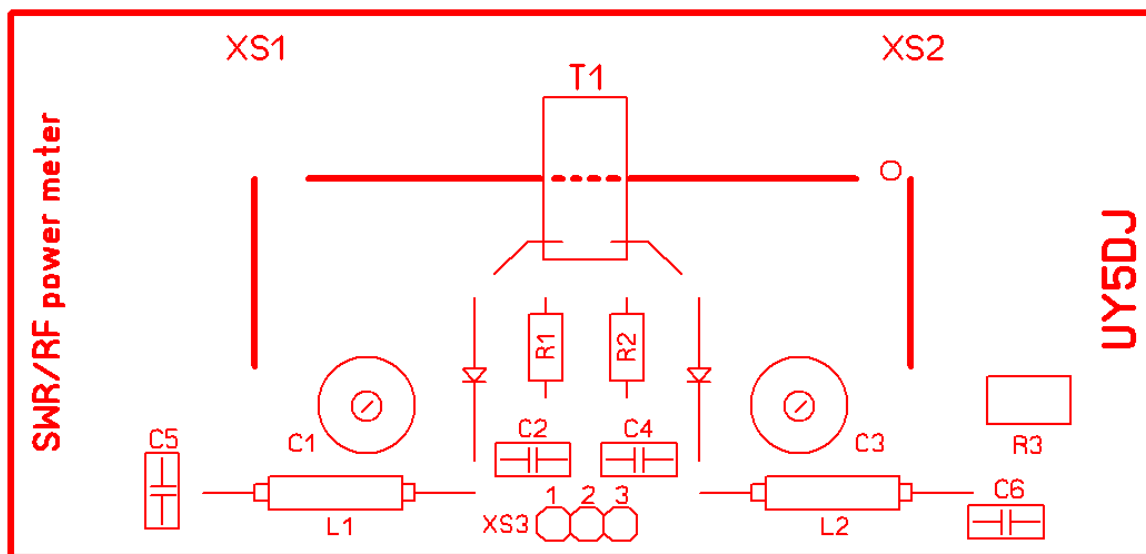


Рис. 1. Распределение тока I и напряжения U вдоль линии передачи высокочастотной энергии.

Прибор можно применять для оценки качества согласования между возбудителем и линейным усилителем мощности. Это очень важно, поскольку при плохом межкаскадном согласовании сопротивлений увеличивается уровень нелинейных искажений в выходном сигнале, расширяется полоса излучаемых частот, возрастает интенсивность помех радиовещательному и телевизионному приему.

На радиостанциях желательно иметь измеритель КСВ, постоянно включенный в разрыв фидера. Это даст возможность своевременно обнаруживать повреждение в антенне или ошибочное включение антенны другого диапазона.

Следует соблюдать осторожность и во избежание ожога токами высокой частоты не прикасаться к токонесущим проводникам прибора. При приближении грозы антенну от радиостанции следует отключать и заземлять. Были случаи, когда из-за наводок, вызванных близкими грозовыми разрядами, выходили из строя диоды в измерителе КСВ.



# Принципиальная схема КСВ 200 Вт.

