

СУ на УКВ

Виктор Беседин (UA9LAQ)

г. Тюмень

E-mail: ua9laq@mail.ru

В [1] была опубликована статья о согласующих устройствах (СУ) на частоты УКВ и нижнюю часть СВЧ, выполненных на основе фильтров нижних частот (П-контурах). Существует ещё ряд СУ, позволяющих трансформировать выходное сопротивление (импеданс) одного устройства во входное другого, осуществляя их согласование, например, на основе резонансного контура или полосового фильтра [2] и другие. Рассмотрим ещё один тип СУ, область применения которого тоже больше подходит для диапазонов УКВ и ближней области СВЧ (50...1300 МГц). Речь пойдёт о СУ на двух связанных между собой последовательных контурах, которые призваны согласовывать между собой импедансы одного порядка (50...75 Ом) и, одновременно, подавлять резонансным методом внеполосные излучения как ниже, так и выше рабочего диапазона (ПФ). Поскольку последовательный колебательный контур обладает высокой добротностью и, отсюда, – весьма узкой полосой пропускания (междувитковая ёмкость катушки включена последовательно с конденсатором), фильтрация сигналов обеспечивается за счёт узкой полосы резонансной АЧХ контура. Чтобы ещё улучшить фильтрацию (с ростом частоты добротность контуров падает) и осуществить согласование генератора с нагрузкой (передатчика с антенной), последовательно с одним последовательным контуром включаем второй, перестраивая их одним общим узлом –

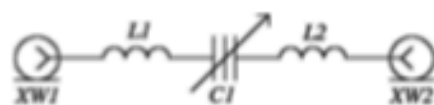


Рис. 1. СУ на основе последовательных резонансных контуров с общим узлом перестройки дифференциальным КПЕ. Схема принципиальная электрическая

дифференциальным конденсатором переменной ёмкости (рис. 1).

Как видно из принципиальной схемы такого СУ, оба контура включены последовательно в фазный провод фидера, при общем "земляном" проводе. Согласование осуществляется на принципе резонанса всей системы, при котором происходит автоматически трансформация импедансов между генератором и нагрузкой. Такой же принцип положен в основу, например, [2]. Здесь элемент настройки включен в точку максимального импеданса, а вход и выход имеют импедансы низкие (полуволновая система).

На основе выше приведённой схемы (рис. 1) можно изготовить ряд (лучше отдельных без переключений) СУ на диапазоны, например, 50, 144, 432 и 1296 МГц, применив в каждом свои катушки (линии) и КПЕ.

Для работающих через ретрансляторы, установленные на искусственных спутниках Земли (ИСЗ),

будет удобно сдвоенное конструктивно СУ на 144/432...435 МГц, позволяющее работать на передачу в обоих диапазонах. Многие радиолобители являются обладателями малогабаритных трансиверов промышленного изготовления, рассчитанных на диапазоны КВ и 144, 432 МГц, здесь такое СУ тоже будет кстати. В отсеки корпуса СУ (см. ниже) могут быть встроены рефлектометры (КСВ-метры) на основе измерительных двухстрелочных головок или однострелочных с переключением: "прямая волна" – "отражённая волна". Удобно применение такого блока и с выпускаемыми промышленностью КСВ-метрами, например, с блоком СМХ2300-TWIN. Необходимо только соблюдать условие: РЧ мощность должна проходить по направлению к антенне сначала через КСВ-метр, затем – через согласующее устройство, которое уже, при его настройке, согласует выход передатчика с фидером (фильтрами или непосредственно с антенной), при индикации

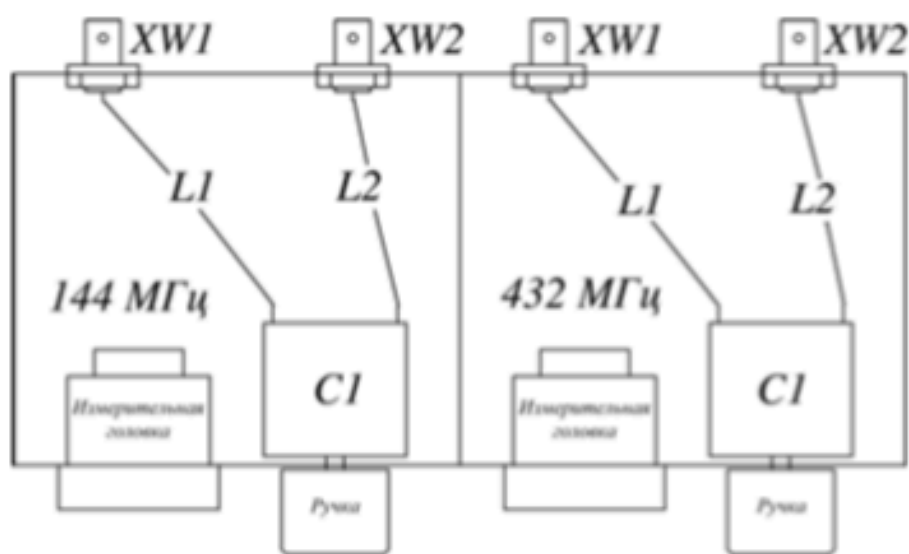


Рис. 2. Эскиз расположения основных узлов в двухдиапазонном блоке СУ на последовательных контурах. Размеры блока 250x110x90 мм. Корпус блока СУ может быть выполнен из листовой меди, латуни, алюминия или спаян из стеклотекстолитовых панелей фольгированных с двух сторон. Измерительные головки принадлежат схемам встроенных КСВ-метров (опция)

оптимального согласования по КСВ-метру. В принципе, такое СУ может работать и на КВ, где труднее найти (или сблизить) конденсатор, имеющий достаточную максимальную ёмкость (чем ниже рабочая частота, тем большую) при достаточном зазоре между пластинами КПЕ. Следует также отметить, что в СУ два зазора в КПЕ включены последовательно, что повышает допустимую пропускаемую через СУ мощность без пробоя этих зазоров. СУ обладает, по отношению к П-контур, всего одним настроечным элементом, что повышает удобство работы с ним.

Блок СУ на два диапазона (рис. 2) размещён в корпусе с размерами 250x110x90 мм, разделённом на две равные части глухой перегородкой. На переднюю панель выходят оси КПЕ из изоляционного материала или из металла, на них крепятся ручки из изоляционного материала для оперативной подстройки СУ, вокруг которых нанесены шкалы для определения положения роторов КПЕ. На задней панели установлены 4 гнезда BNC для подключения с одной стороны (через измерители КСВ) соответствующих передатчиков диапазонов 144 и 432 МГц, с другой – антенны (также соответствующих диапазонов). Проверку настройки можно произвести на слух, включив СУ между приёмником и антенной, вращая ротор КПЕ соответствующего диапазона, по максимуму шумов. Уточнение положений роторов КПЕ производится в режиме передачи по показаниям КСВ-метров, включённых между передатчиками и СУ с подключёнными антеннами соответствующих диапазонов. Настройку следует производить сеансами при пониженной выходной мощности передатчиков до минимального значения КСВ. На задней панели корпуса блока СУ следует также установить зажимную клемму для подключения отдельного качественного заземления. Все общедомовые контуры заземления будут только способствовать приёму местных помех и

излучению собственного передатчика внутри соседних квартир, которые приводят к конфликтам с соседями.

Ёмкости применённых КПЕ:

144 МГц – 2 x 5...35 пФ;

432 МГц – 2 x 3...15 пФ.

Максимальная ёмкость КПЕ для диапазона 50 МГц будет составлять 2 x 50 пФ, для диапазона 1296 МГц – 2 x 10 пФ. КПЕ применены с одновременным изменением ёмкости "в одну сторону", т.е., при вращении ротора, обе ёмкости КПЕ одновременно увеличиваются или уменьшаются (КПЕ типа "бабочка"). Есть другой тип дифференциальных КПЕ, когда, при вращении ротора, одна ёмкость увеличивается, а другая на столько же уменьшается. Такие КПЕ тоже могут найти применение в (других) согласующих устройствах. Катушки на УКВ и (линии) СВЧ обычно выполняют из серебрянного провода для достижения их максимальной добротности. Можно выполнить их и из обмоточного провода (прямо в лаковой изоляции), подобрав количество витков и расстояния между ними под конкретную нагрузку (из-за узкополосности и наличия КПЕ с одинаковыми половинами, вряд ли СУ будет строго симметричным, при разных входных и выходных импедансах передатчика (через КСВ-метр) и антенны, соответственно). В противном случае, СУ будет излишним, антенну следует подключать прямо к выходу передатчика, если антенна согласована с фидером. Это – в идеале, на практике и приходится применять различные СУ, чтобы обеспечить передатчику отдачу максимальной мощности в нагрузку без риска выйти из строя, кроме того, СУ ещё и чистит выходной спектр сигналов передатчика.

Поскольку роторы КПЕ находятся под ВЧ потенциалом, вокруг их осей, если они металлические, в передней стенке блока просверлены отверстия на 2 мм больше диаметров этих осей, ручки выполнены из механически стабильной пластмассы и имеют увеличенные размеры как по диаметру, так и

длине, с целью как можно меньшего влияния на настройку блока со стороны рук оператора. Кроме того, большие диаметры ручек служат "верньером" для более быстрой и точной настройки СУ; следует учесть, что угол вращения ротора дифференциального КПЕ вдвое меньше, чем у обычного, и составляет (от положения минимальной ёмкости КПЕ до максимальной) всего 90 градусов. Слева от ручек КПЕ на рис. 2 видны эскизы малогабаритных (40x40 мм по размерам их лицевой части) измерительных головок (микроамперметров на 50...100 мкА), которые можно использовать как в качестве измерителей напряжённости поля, индикаторов выходной мощности (токов в антенны), так и в качестве измерителей КСВ-метров с соответствующими переключателями и регуляторами. Высокая чувствительность индикаторных измерительных головок нужна по двум причинам: чтобы можно было работать с минимально возможными выходными мощностями (QRP-работа) и как можно меньше нагружать выходные цепи передатчика. Детали КСВ-метров могут быть отделены от СУ дополнительными внутренними экранами. Также экраном можно разделить катушки L1 и L2 или/и расположить их оси перпендикулярно относительно одна другой. Такой способ сократит излучение в эфир ненужных гармоник, которые минуя СУ за счёт непосредственно связанных между собой катушек индуктивности L1 и L2. Поскольку схема СУ, в конце концов, – симметричная, можно менять местами вход СУ и его выход, но только один раз перед настройкой, и в будущем соблюдать это направление прохождения токов от передатчика в антенну на практике. Удобнее расположить вход слева по рис. 2 (в каждом отсеке корпуса СУ), так как это позволяет удобнее подключать измерители (провод от передатчика проходит через ферритовое кольцо проницаемостью 30...50, на котором намотана катушка, с которой снимается трансформированное

напряжение РЧ, выпрямляется и подводится к измерительной головке, при индикации тока в антенной цепи. Вторичную обмотку токового трансформатора КСВ-метра можно выполнить таким же образом, но по схеме со средним отводом: обмотка наматывается сдвоенным проводом в шёлковой изоляции (ПЭЛШО), после намотки начало одного провода соединяется с концом другого и заземляется, свободные выводы подключаются каждый к своему диоду, после которого следует конденсатор развязки на общий провод, отсюда переключателем ("прямая-отражённая") полученное напряжение подаётся на измерительную головку, снабжённую регулятором и подключенную другим выводом к общему проводу. Измерение КСВ ничем не отличается от процедуры, описанной на страницах радиолобительской литературы, например, в книге Карла Ротхаммеля "Антенны": сначала, включив передатчик в режим пониженной мощности, регулятором КСВ-метра устанавливаем стрелку головки на конечное правое деление шкалы (максимум) в режиме измерения прямой (падающей) волны, затем переключаем КСВ-метр в режим измерения обратной волны и смотрим результат, медленно вращаем ось КПЕ С1 СУ соответствующего диапазона и снова производим замеры КСВ. При навыке достаточно будет с уже известной антенной "опустить" стрелку на нулевое деление шкалы головки измерителя (в идеале, при КСВ = 1) или близкое к этому значение, определяемое степенью согласования антенны с фидером (и передатчика с фидером). Если интересует более точное значение КСВ, то снова, переключив КСВ-метр в режим измерения падающей волны, устанавливаем стрелку на конечное значение шкалы, например, 100 мкА, переключаем КСВ-метр в режим обратной (отражённой) волны и получаем результат:

$$КСВ = (I_k + I_n) / (I_k - I_n),$$

где:

I_k – конечное показание тока измерительной головкой КСВ-метра,

I_n – начальное показание тока измерительной головкой КСВ-метра.

Например:

- при $I_k = 100$ мкА и $I_n = 0$ мкА,
 $КСВ = (100 + 0) / (100 - 0) = 1$;

- при $I_k = 100$ мкА и $I_n = 50$ мкА,
 $КСВ = (100 + 50) / (100 - 50) = 3$.

Если специально задаться целью, то можно в данном корпусе блока СУ разместить и КСВ-метр полосковой конструкции. Но описываемая конструкция СУ предназначена, в основном, как приставка к передатчикам (трансиверам), имеющим собственные (встроенные) КСВ-метры или отдельные КСВ-метры, включаемые между выходом передатчика и фидером антенны (здесь: между КСВ-метром и антенной). Встраивание КСВ-метра внутрь СУ можно рассматривать как опцию (можно встраивать, можно – не встраивать, если есть альтернатива).

Катушки СУ (L1 и L2) наматываются одинаковыми и впаиваются между центральными выводами гнезд BNC (XW1 и XW2) и выводами половин КПЕ (согласно рис. 1). Для настройки необходим широкодиапазонный приёмник или сканер (желательно с режимом SSB), система АРУ будет притуплять пик шумов, если есть возможность, то АРУ лучше отключить или использовать минимальные сигналы шумов на входе (сократить размеры вспомогательной антенны). Подключаем к антенному гнезду XW2 СУ антенну или вспомогательный изолированный длинный провод (длиной 5...10 и более метров), антенное гнездо приёмника соединяем с гнездом СУ XW1 отрезком коаксиального кабеля с ответными частями соединителей. Включаем приёмник и настраиваем его на ожидаемую частоту. Вращая ротор С1 СУ, наблюдаем рост шумов и их пик. Если это происходит на нужном диапазоне и в среднем положении ротора КПЕ, то параметры катушек соответствуют норме и можно эксплуатировать такое СУ на выбранном диапазоне, если такого не происходит, то шагами по 5...10 МГц следует изменять частоту настройки приёмника вверх и/или

вниз от выбранной ранее частоты и снова попытаться обнаружить увеличение шумов и их пик и скорректировать количество витков катушек (одновременно обеих); если частота пика шумов находится ниже необходимой, то количество витков в катушках уменьшаем, если выше – перематываем катушки, увеличив количество витков; если ошибка в настройке небольшая, то выводим пик шумов в центр положения ротора КПЕ растягиванием или сжатием витков обеих катушек (чем больше диаметр намотки катушек, тем меньше витков для заданной частоты будет иметь катушка, тем меньше будет её междувитковая ёмкость, тем больше размеры катушки, на более высоких частотах катушка превращается в линию). Лучше всего окончательную подстройку производить на штатной антенне, с которой будет работать данное СУ (растягивая и сжимая витки катушек L1 и L2, можно довести согласование антенны до очень близкого к единице значения в режиме передачи – см. ниже). Отключив широкодиапазонный приёмник, подключаем к СУ трансивер того диапазона, на который рассчитано данное СУ, к которому подключаем резонансную антенну этого же диапазона (или суррогатную, что, однако, нежелательно). Также, как и в случае с приёмником, сначала, вращая ротор С1 СУ, настраиваем его на максимум шумов в приёмнике трансивера, затем уточняем настройку по КСВ-метру (минимальный КСВ) – на передачу (сначала, при пониженной мощности). Только после этого можно подавать полную мощность (это СУ вынесет 50...100 Вт РЧ (малая "бабочка" от РСИУ и катушки, намотанные проводом 1,5 мм), хотя всё зависит от применённых деталей, диаметра проводов катушек и зазоров в дифференциальных конденсаторах переменной ёмкости).

Следует отметить: при уменьшении максимальной ёмкости КПЕ С1 в СУ, что может быть вызвано желанием увеличить зазор между пластинами КПЕ, сужается диапазон перестройки СУ, запас

по перестройке необходим для перекрытия всего рабочего диапазона и подключение других антенн. Для ориентировки, в заключение, привожу данные катушек L1 и L2 для диапазона 50 МГц: провод диаметром 1,0...1,5 мм, по 7 витков

на оправке 25 мм при КПЕ ёмкостью 2 x 5...35 пФ. Естественно, для более высокочастотных диапазонов количество витков катушек будет меньше, вплоть до прямых линий, и наоборот.

73! CHEERIO!

Литература

1. В. Беседин. СУ на УКВ в виде П-контура. - Радиолобитель, 2019, №8, стр. 39...41.

2. В. Беседин. Фильтр – согласующее устройство. - Радиолобитель, 2018, №12, стр. 32...33.

