

Малогабаритная широкополосная активная приёмная антенна для СВ и КВ

Вячеслав Грошев,
г. Симферополь
10.05.2021г.

Введите текст

Создание данной антенны стало результатом многочисленных попыток автора осуществить нормальный приём радиосигналов в диапазонах СВ и КВ в условиях проживания в панельном железобетонном типовом 9-этажном здании в городской среде, характеризующейся наличием в эфире промышленных помех высокого уровня в широком диапазоне радиочастот. Кроме того, немаловажным фактором являлась ограниченность квартирного пространства, не позволяющая установку каких-либо классических полноразмерных антенн упомянутых диапазонов волн. Было перепробовано несколько вариантов суррогатных проволочных антенн, рамочных резонансных, однако результаты их применения в конкретных условиях оставляли желать лучшего. Было изучено множество технической литературы соответствующей тематики, материалов радиолюбительских интернет-форумов. Постепенно выкристаллизовалось убеждение, что для упомянутых выше условий лучше всего подойдёт активная антенна (антенна-усилитель), вынесенная на какое-то расстояние за пределы здания (с учётом реальных взаимоотношений с соседями и действующих нормативно-правовых документов). Исходными предпосылками для создания нижеприведенной конструкции антенны явилось ознакомление с публикациями по MiniWhip и EH антеннам, изучение принципов их работы.

Предлагаемая антенна предназначена для радиоприёма в диапазонах СВ и КВ, имеет малые габариты и не требует наличия заземления, что и определяет её успешное применения в условиях современной городской жилой застройки.

На рис. 1 показана эквивалентная схема приёмной антенны [1].

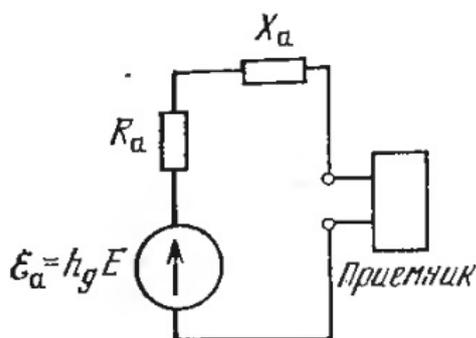


Рис.1. Эквивалентная схема приёмной антенны.

Величина подводимого ко входным клеммам приёмника напряжения сигнала определяется ЭДС антенны \mathcal{E}_a , её активным R_a и реактивным X_a сопротивлениями. Связь между ЭДС антенны и напряжённостью электрического поля E в точке приёма задаётся коэффициентом пропорциональности h_d , который называется действующей высотой антенны. R_a называют сопротивлением излучения антенны. В случае короткой антенны (длиной менее четверти длины волны), сопротивление излучения невелико (не более нескольких десятков Ом) и уменьшается по мере укорочения антенны (отношения длины антенны к длине волны - h/λ):

$$R_a = 1600 (h_d/\lambda)^2$$

Реактивное сопротивление определяется выражением:

$$X_a = W \operatorname{ctg} (2\pi h/\lambda),$$

где W – волновое сопротивление провода антенны,
 h – длина антенны.

Реактивное сопротивление короткой антенны имеет емкостной характер, сильно возрастает по мере укорочения антенны, и может быть представлено эквивалентной ёмкостью антенны C_a (рис.2). В данном случае величиной R_a можно пренебречь, принимая во внимание её малую величину.

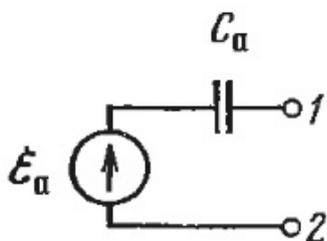


Рис. 2. Эквивалентная схема короткой антенны.

При подключении к точкам 1 и 2 входа антенного усилителя получаем эквивалентную схему входной цепи этого усилителя, приведенную на рис.3а.

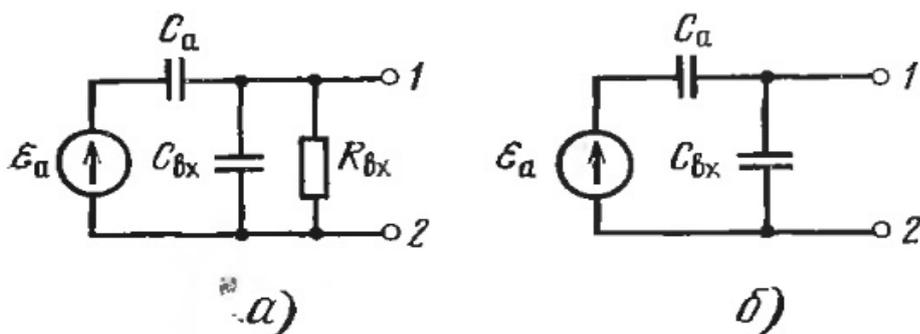


Рис. 3. Эквивалентные схемы антенны и входной цепи антенного усилителя.

Если антенный усилитель выполнить на современных высокочастотных полевых транзисторах, можно обеспечить весьма высокое значение входного активного сопротивления $R_{вх}$

$R_{вх} \gg 1/\omega C_{вх}$ и пренебречь им.

Тогда схема получает вид, показанный на рис. 3б и напряжение на входе антенного усилителя (в точках 1 и 2) будет определяться выражением

$$U_{12} = \frac{\mathcal{E}_a}{1 + C_{вх}/C_a}$$

Таким образом, при выполнении перечисленных выше условий, напряжение на входе усилителя будет тем ближе к величине ЭДС антенны, чем меньше будет величина отношения $C_{вх}/C_a$. То есть необходимо стремиться, по мере возможности, к уменьшению $C_{вх}$ и увеличению C_a (что эквивалентно уменьшению X_a).

Современные высокочастотные полевые RF транзисторы имеют весьма низкие значения входной емкости $C_{вх}$ и емкости обратной связи сток-затвор $C_{ос}$. Однако минимизация этих емкостей в антенном усилителе ограничивается следующими соображениями. Поскольку сигнал антенны подводится ко входу усилителя во всём диапазоне частот без какой-либо фильтрации, с

целью обеспечения отсутствия перекрестных и интермодуляционных искажений в усилителе ужесточаются требования к его линейности и динамическому диапазону. Последние напрямую зависят от схемотехники усилителя и правильно выбранного режима работы активных элементов (в нашем случае – полевых транзисторов). Для обеспечения линейности требуется увеличение рабочего тока, протекающего через транзистор. При этом увеличивается рассеиваемая транзистором мощность, что требует применения в усилителе транзисторов средней или большой мощности, которые имеют более высокие значения $S_{вх}$ и $S_{ос}$. по сравнению с маломощными транзисторами.

Как видно из вышеприведенного выражения, величина X_a напрямую определяется величиной волнового сопротивления провода антенны W . При этом

$$W = \sqrt{\frac{L_{a.пог.}}{C_{a.пог.}}},$$

где $L_{a.пог.}$ и $C_{a.пог.}$ – погонная индуктивность и погонная емкость провода антенны.

Погонная индуктивность и погонная емкость антенны не зависят от длины полотна антенны и определяются площадью поверхности антенного проводника. Таким образом, для снижения величин W и X_a (и, соответственно, увеличения C_a) необходимо выполнять полотно антенны в виде проводящей поверхности (например – металлического цилиндра) возможно большего диаметра, либо, как это сделано в диполе Надененко, в виде круговой системы большого числа параллельных проводников.

В [3] и [4] описаны емкостные ЕН-антенны, имеющие емкостной приёмный элемент, выполненный в виде двух расположенных на одной оси металлических цилиндров большого диаметра. Каждый из цилиндров здесь можно рассматривать как обособленную емкость. (Вообще говоря, ЕН антенны являются новым, недавно разработанным типом антенн. Желая ознакомиться с принципами их работы автор рекомендует к изучению материалы [5], [6]). Вместе цилиндры образуют конденсатор, раскрытый в окружающее пространство (в нашем случае - C_a). Электромагнитное поле в области расположения такого конденсатора вызывает в нём ток смещения (реактивный ток). Если последовательно с этим конденсатором будет соединена входная ёмкость антенного усилителя ($S_{вх}$), то этот ток, протекая в последовательной реактивной цепи, создаст на ней напряжение (U_{12}), которое и будет являться принимаемым сигналом.

Основываясь на вышеприведенных теоретических допущениях, автор предпринял попытку изготовления малогабаритной широкополосной активной приёмной антенны.

Структурная схема антенны приведена на рис. 4.

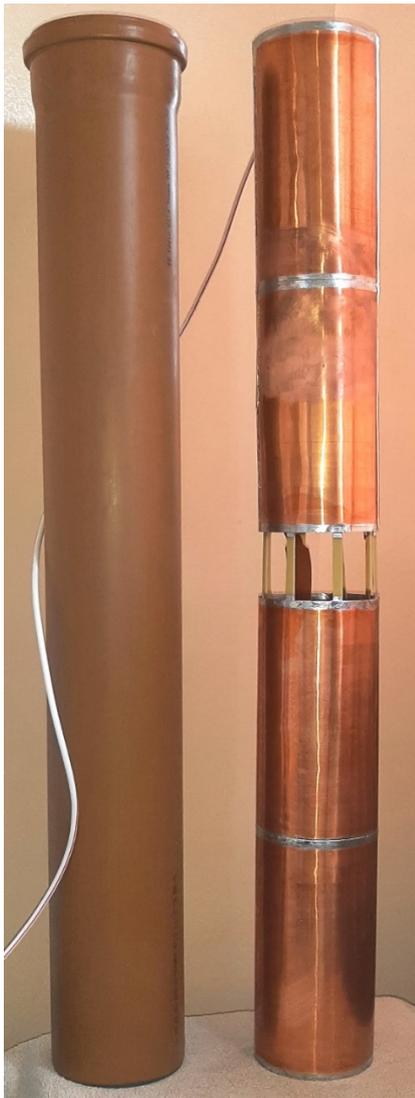


Рис. 7. Общий вид антенны.

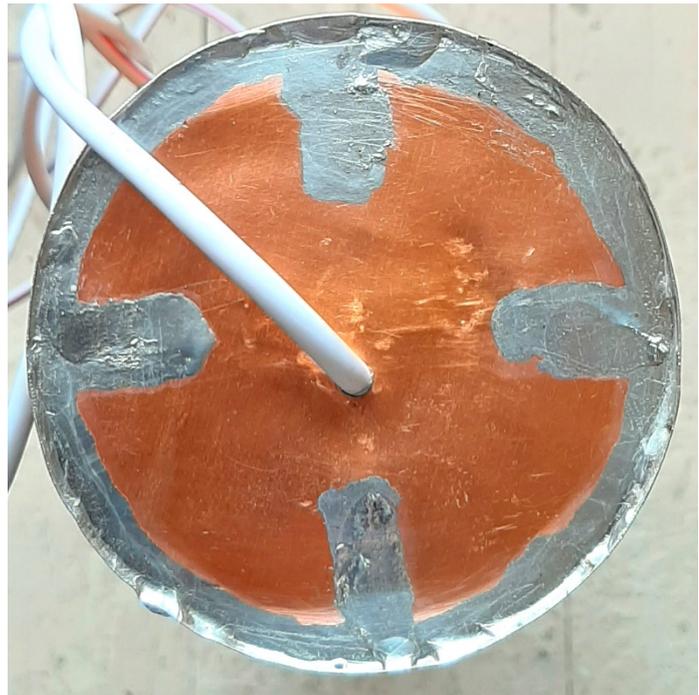


Рис. 8. Вывод коаксиального кабеля из цилиндра.

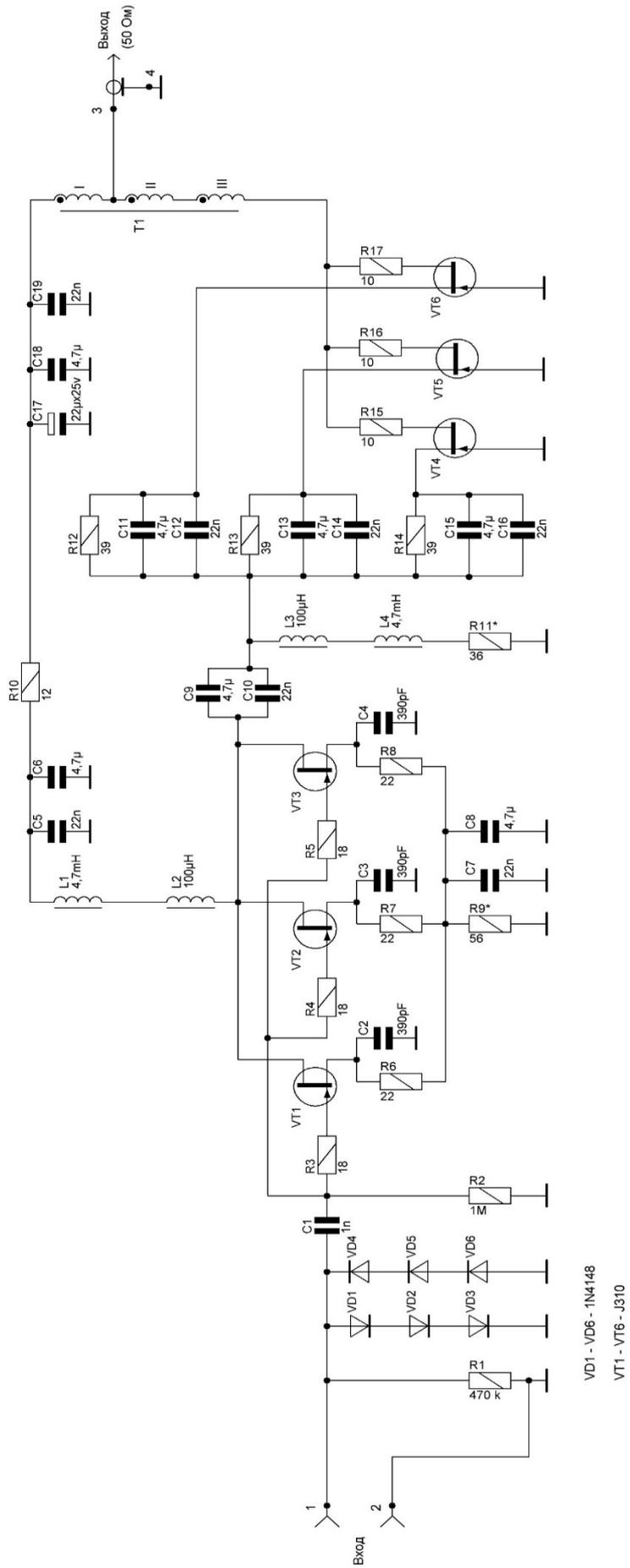


Рис. 9. Принципиальная схема антенного усилителя.

Выводы антенны «б» (Рис. 4) обладают собственной индуктивностью, носящей в данном случае паразитный характер. С целью минимизации этой индуктивности они выполняются в виде медных лент шириной 32 мм с переходом на концах, паяемых к контактным дорожкам антенного усилителя, на ширину 20 мм (Рис. 6).

Антенный усилитель по выходу имеет согласование с 50-омной нагрузкой и подключается к ней коаксиальным кабелем типа RG-58C/U. Питание антенного усилителя осуществляется по этому же коаксиальному кабелю.

Принципиальная схема антенного усилителя приведена на рис. 9.

По сути – это каскодный усилитель с параллельным питанием, выполненный на малошумящих высокочастотных полевых транзисторах J310. Нагрузкой усилителя является ШПТЛ Т1 с коэффициентом трансформации 3:1, обеспечивающий выходной импеданс схемы 50 Ом.

Коэффициент усиления по напряжению усилителя со входа (точки 1 и 2) при нагрузке 50 Ом составляет около 10 дБ. Ширина полосы пропускания усилителя по уровню -3 дБ составляет 0,1 - 33 МГц. Каждый каскад выполнен на тройке транзисторов, включенных параллельно. Постоянный ток стока каждого из 6 транзисторов составляет 12,5 мА. Параллельное включение транзисторов, во-первых благоприятно с точки зрения шумовых свойств каскада, во-вторых обеспечивает достаточно высокую величину суммарного тока каскадов, что в свою очередь приводит к достаточному запасу по перегрузочной способности усилителя. Для каждой тройки производится подбор транзисторов по величине напряжения $U_{зи}$ при заданном токе стока 12,5 мА. Желательно, чтобы разброс этого напряжения в тройке не превышал 0,5 В. Схема измерения $U_{зи}$ приведена на рис. 10.

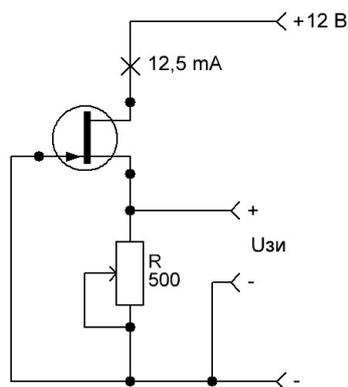


Рис.10. Схема измерения $U_{зи}$ транзистора.

Подав питание, потенциометром R устанавливают ток стока транзистора равным 12,5 мА, после чего замеряют напряжение $U_{зи}$. Как показывает опыт, разброс параметров J310 из одной партии невелик и подбор транзисторов больших затруднений не вызывает. При необходимости разницу в величине $U_{зи}$ можно скомпенсировать в схеме усилителя подбором резисторов R6 – R8 и R12 – R14.

Сердечник ШПТЛ Т1 выполнен в виде 4-х склеенных вместе ферритовых колец FT-50-77 (габариты $\Phi 12,7 \times 7,6 \times 4,8$; магнитная проницаемость – 2000). Для намотки используют плоский жгут из 3-х проводников, отделённый от плоского компьютерного шлейфа. Обмотка состоит из 6 витков (рис. 11). Затем выводы соединяются с учётом фазирования каждой обмотки согласно схемы на рис. 9.

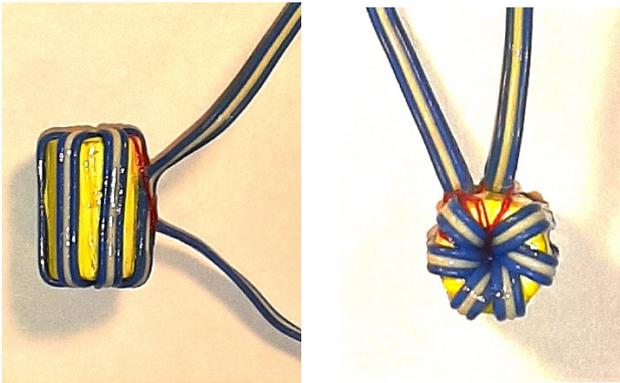


Рис. 11. Конструкция ШПТЛ Т1.

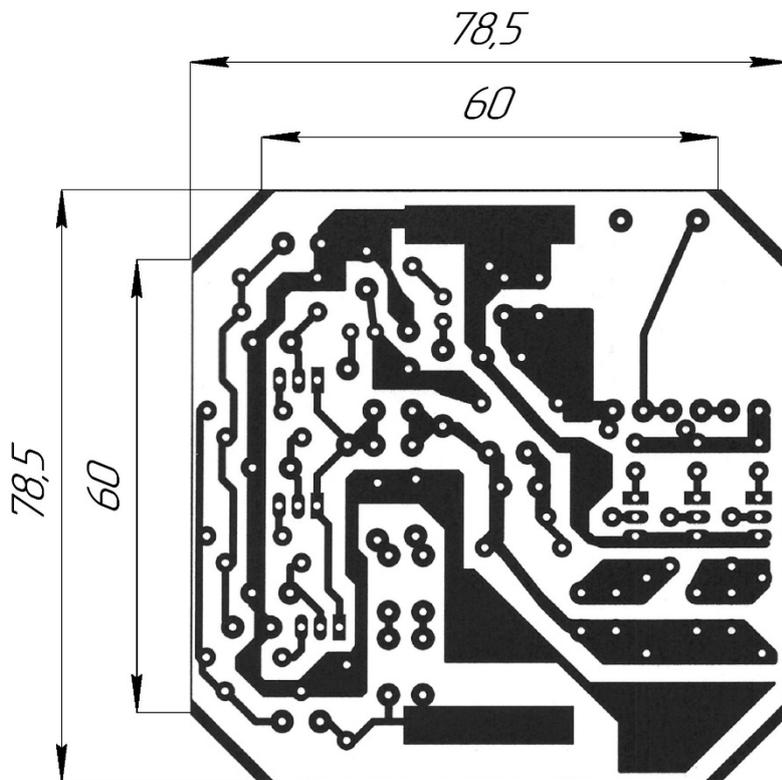


Рис. 12. Габариты и разводка печатной платы антенного усилителя (повёрнуто для применения технологии ЛУТ).

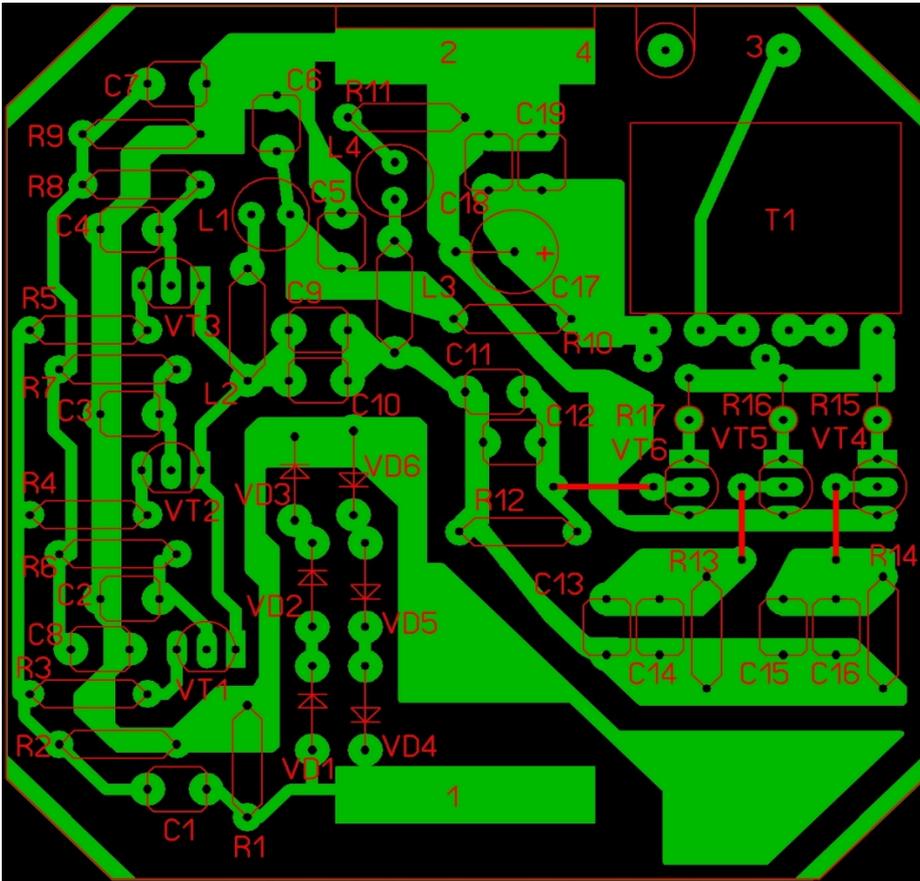


Рис.13. Расположение элементов на плате антенного усилителя.



Рис. 14. Внешний вид платы АУ со стороны элементов.

Выходной коаксиальный кабель крепится к ленточному выводу антенны «земляного» цилиндра проволочными хомутами. С целью устранения протекания тока ВЧ по внешней стороне оплётки коаксиального кабеля (устранения антенного эффекта кабеля) и влияния на антенный вывод, на кабель в непосредственной близости от точки его подключения к усилителю и вблизи выхода из цилиндра на участках длиной 13 – 15 см надеты ферритовые кольца с магнитной проницаемостью 400 (рис. 15). Автор использовал ферритовые трубки китайского производства $\Phi 14 \times 7 \times 28$ мм с измеренной магнитной проницаемостью 350.

Вблизи выходного конца антенного кабеля тоже монтируется запорный ВЧ дроссель. Автор выполнил его в виде 6 витков антенного кабеля, намотанного на ферритовое кольцо $\Phi 28 \times 15 \times 8$ мм с магнитной проницаемостью 400 (Рис. 16).



Рис. 15. Вывод выходного коаксиального кабеля.



Рис. 16. Запорный дроссель на конце антенного кабеля.

Выход антенного кабеля подключается на вход устройства питания и согласования (далее – УПС), схема которого приведена на рис. 18. Это устройство выполняет следующие функции:

- обеспечивает питание антенного усилителя по его выходному коаксиальному кабелю;
- осуществляет гальваническую развязку антенного усилителя и радиоприёмника (что в ряде случаев существенно снижает уровень помех приёму);
- обеспечивает частотную преселекцию принимаемых сигналов;
- обеспечивает возможность ступенчатого ослабления входного сигнала (ручной аттенюатор) с целью предотвращения перегрузки входных цепей радиоприёмника возможными мощными принимаемыми сигналами.

С выхода УПС сигнал подаётся на антенный вход радиоприёмника.

Для питания антенного усилителя используется трансформаторный адаптер питания со встроенным линейным стабилизатором, обеспечивающий напряжение 12 В при токе нагрузки не менее 0,15 А. Применение импульсного адаптера в данном случае может быть причиной мощной импульсной помехи, наводимой на сигнальные цепи, что недопустимо.

Трансформатор Tr1 обеспечивает гальваническую развязку антенного усилителя и радиоприёмника. При этом существенно ослабляется энергия низкочастотных помех в спектре принимаемых сигналов и снижается вероятность перегрузки ими входных цепей приёмника. Трансформатор представляет собой ШПТЛ (Рис.17), выполняется на таком же сердечнике, что и ШПТЛ антенного усилителя. Содержит 7 витков из 2-х скрученных вместе проводов марки ПЭВ-2 диаметром 0,25 мм. Число скруток на 1 см длины – 4,5. При подключении концов обмоток, важно обеспечить их правильную фазировку согласно схеме (рис.18).

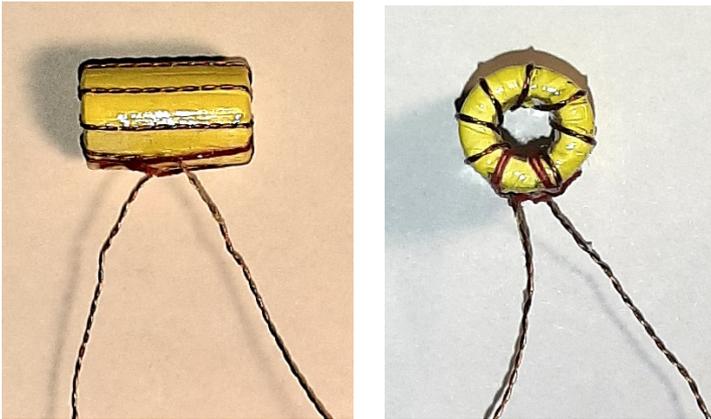


Рис. 17. Конструкция ШПТЛ Tr1.

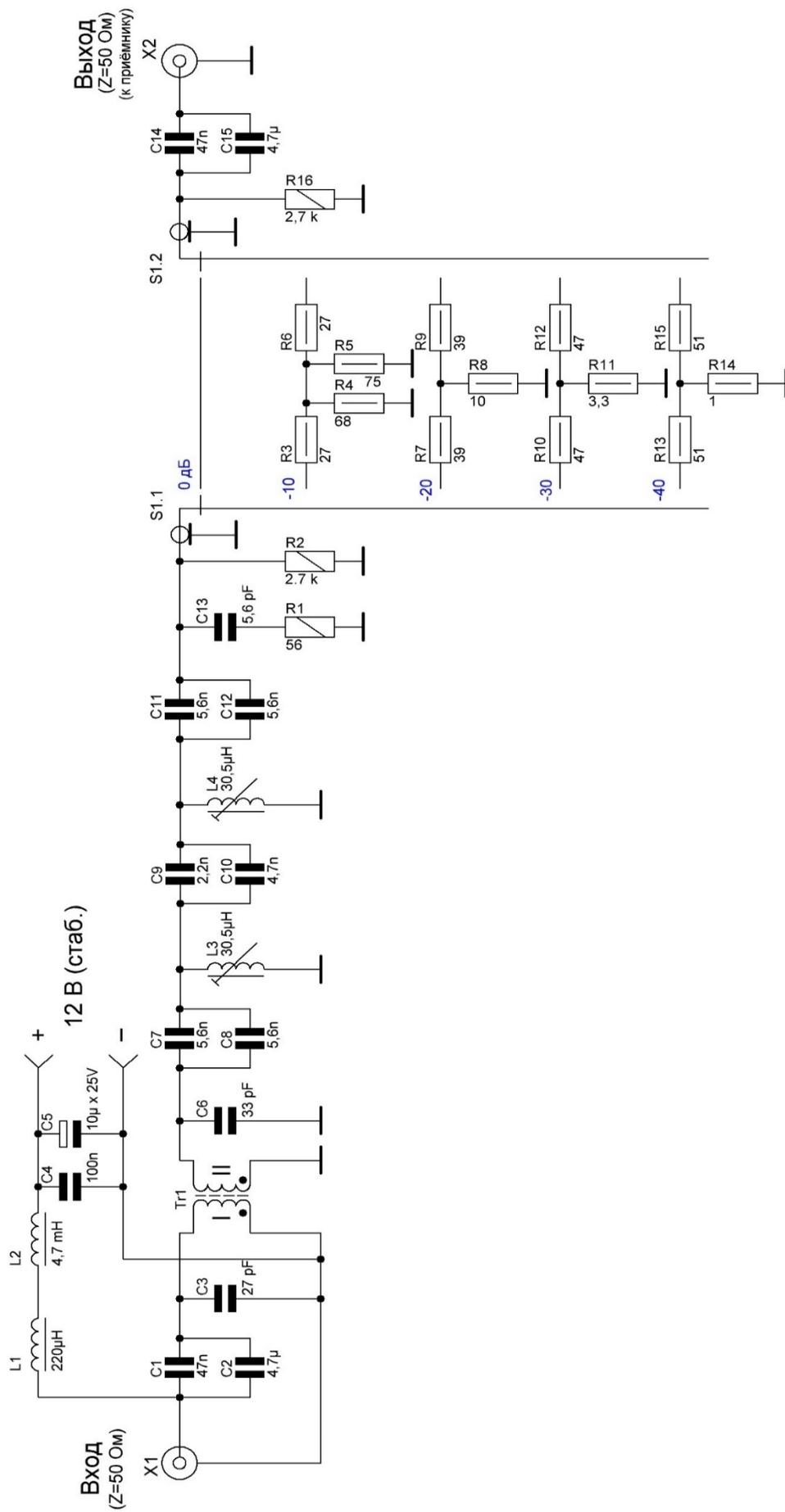


Рис. 18. Схема устройства питания и согласования (УПС).

Конденсаторы С3 и С6 осуществляют компенсацию индуктивностей рассеяния ШПТЛ. Фильтр высоких частот С7,С8,Л3,С9,С10,Л4,С11,С12 имеет частоту среза около 150 кГц и дополнительно ослабляет низкочастотные помехи. Если радиоприёмник не имеет преселектора на входе, то вместо этого ФВЧ лучше установить систему переключаемых входных полосовых фильтров, например, приведенную на рис.2.45 в [7]. Это позволит дополнительно повысить помехозащищённость и снизить требования к перегрузочной способности приёмника.

Л1, Л2 представляют из себя стандартные ВЧ дроссели. Катушки Л3, Л4 размещены в сердечниках из карбонильного железа СБ-12 с подстроечниками и имеют по 40 витков провода ПЭЛШО 0,1мм. С помощью подстроечника индуктивность катушки устанавливается равной 30,5 мкГ. Конденсаторы фильтра желательнее отобрать с отклонением от приведенного на схеме номинала не более +/- 2%.

Цепь С13, R1 улучшает согласование фильтра на частотах выше максимальной рабочей.

В устройстве применён переключаемый ручной аттенюатор для ступенчатого регулирования уровня сигнала поступающего на вход приёмника. Он обеспечивает отсутствие перегрузок входа приёмника мощными принимаемыми сигналами и оптимизирует отношение сигнал/шум для принимаемой станции. Аттенюатор выполнен в виде набора постоянных резисторов (R3 – R15) мощностью 0,5 Вт, коммутируемых переключателем S1 типа П2Г-3. Резисторы монтируются непосредственно на выводах S1.

Конденсаторы С14, С15 можно исключить, если на входном антенном гнезде приёмника отсутствует потенциал относительно общего провода. Если приёмник имеет входной импеданс на антенном входе выше, чем 50 Ом, величину резистора R16 нужно скорректировать соответствующим образом, чтобы суммарный импеданс, приводимый к движку S1.2 составлял 50 Ом. При этом R16 конструктивно переносится в разъём соединительного кабеля, подключаемого к антенному входу приёмника. Сам кабель – коаксиальный, с волновым сопротивлением 50 Ом. Например, для известного китайского приёмника Tecsun PL-660, имеющего входной импеданс на гнезде внешней антенны примерно 1,2 кОм, элементы R16,С14,С15 размещаются внутри антенного штекера (3,2 мм), подключаемого к гнезду для внешней антенны. При этом величину R16 следует уменьшить до величины 56 Ом. В связи с тем, что внутри такого штекера совсем немного свободного места, указанные элементы желательнее использовать в конструктиве SMD-компонентов.

Вариант размещения готовой антенны показан на рис.19.

В качестве несущего кронштейна применён стандартный кронштейн для крепления спутниковой приёмной ТВ антенны с регулируемой длиной выноса, купленный автором в интернет-магазине. Кронштейн прикреплён к стенке балконного ограждения. Длина выноса от стенки составляет 110 см. (Теоретически лучше было бы сделать вынос ещё большим, но здесь приходится учитывать местные ограничивающие факторы). Даже при таком выносе, антенна позволяла принимать сигналы радиоловительских станций в диапазонах 40 и 20 м (не говоря уже о вещательных), тогда как попытка приёма на неё сигналов в любом из диапазонов при расположении внутри жилой комнаты, ничего кроме рёва помех в динамике не дала.

Справедливости ради нужно отметить, что промышленные помехи никуда не делись и успешно принимаются антенной, в особенности на частотах ниже 10 МГц (с постепенным ростом интенсивности их сигналов по мере снижения частоты), однако всё же на их фоне возможен приём отдельных станций. Помогает в этом и ручной аттенюатор в УПС.

Дальнейшее ослабление сигналов помех возможно (и проверено на практике автором) при применении фазового подавителя эфирных шумов. Одно из таких устройств, например, описано в [8]. Однако в таком случае потребуется вторая приёмная антенна, аналогичная описываемой, которую, по-видимому, лучше было бы разместить внутри балкона квартиры. При этом подавитель шумов конструктивно удобно было бы выполнить совместно с УПС в едином блоке.



Рис. 19. Размещение антенны.

Данную антенну автор применяет в настоящее время в комплекте с SDR приёмником AirSpy HF+ Discovery. Программное обеспечение – SDRSharp, v.1.0.0.1732. На рис. 20 – 25 приведены скрин-фото спектрограмм принимаемых сигналов, сделанные в разных диапазонах на протяжении одного дня.

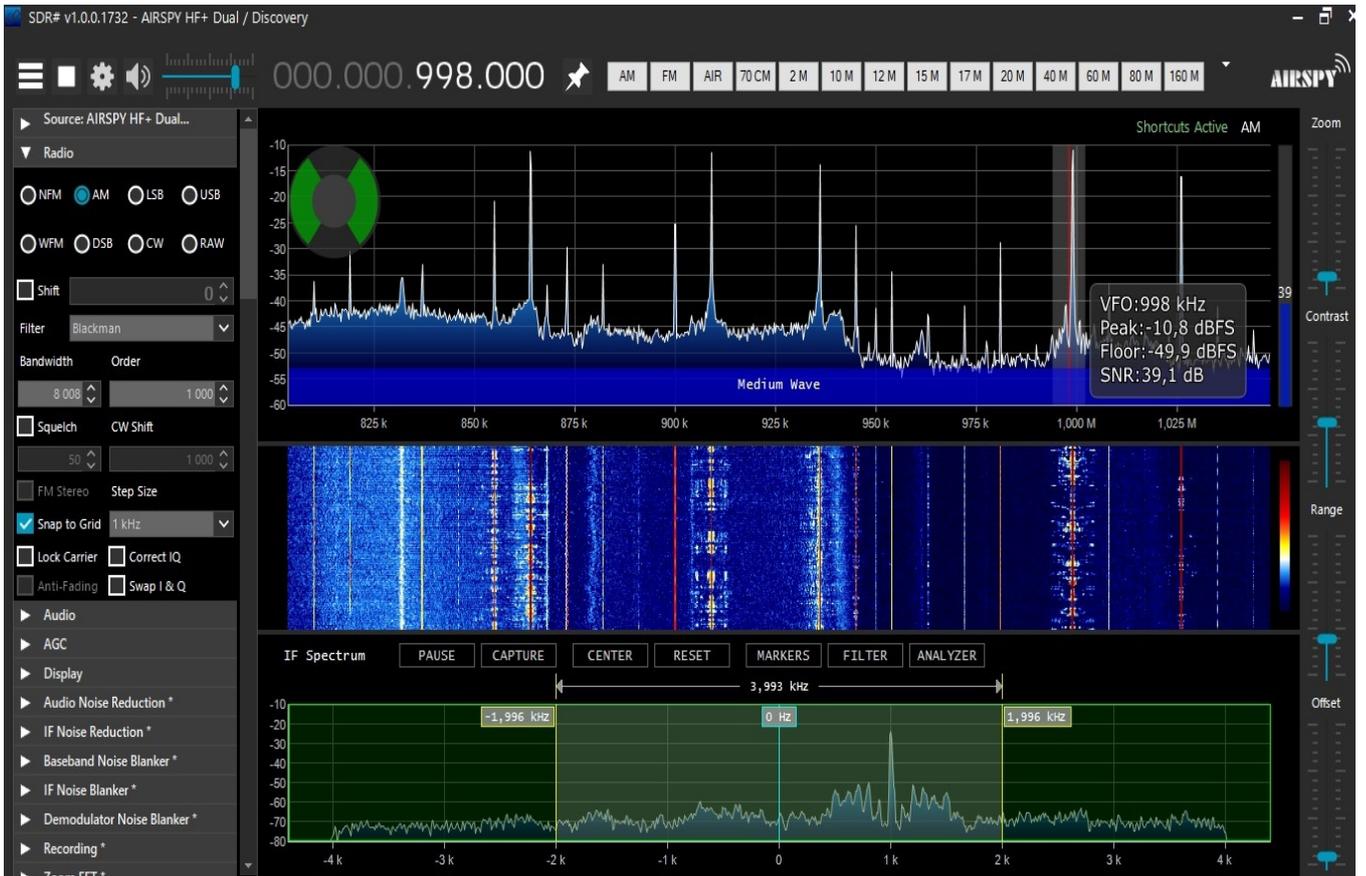


Рис. 20. Диапазон СВ.

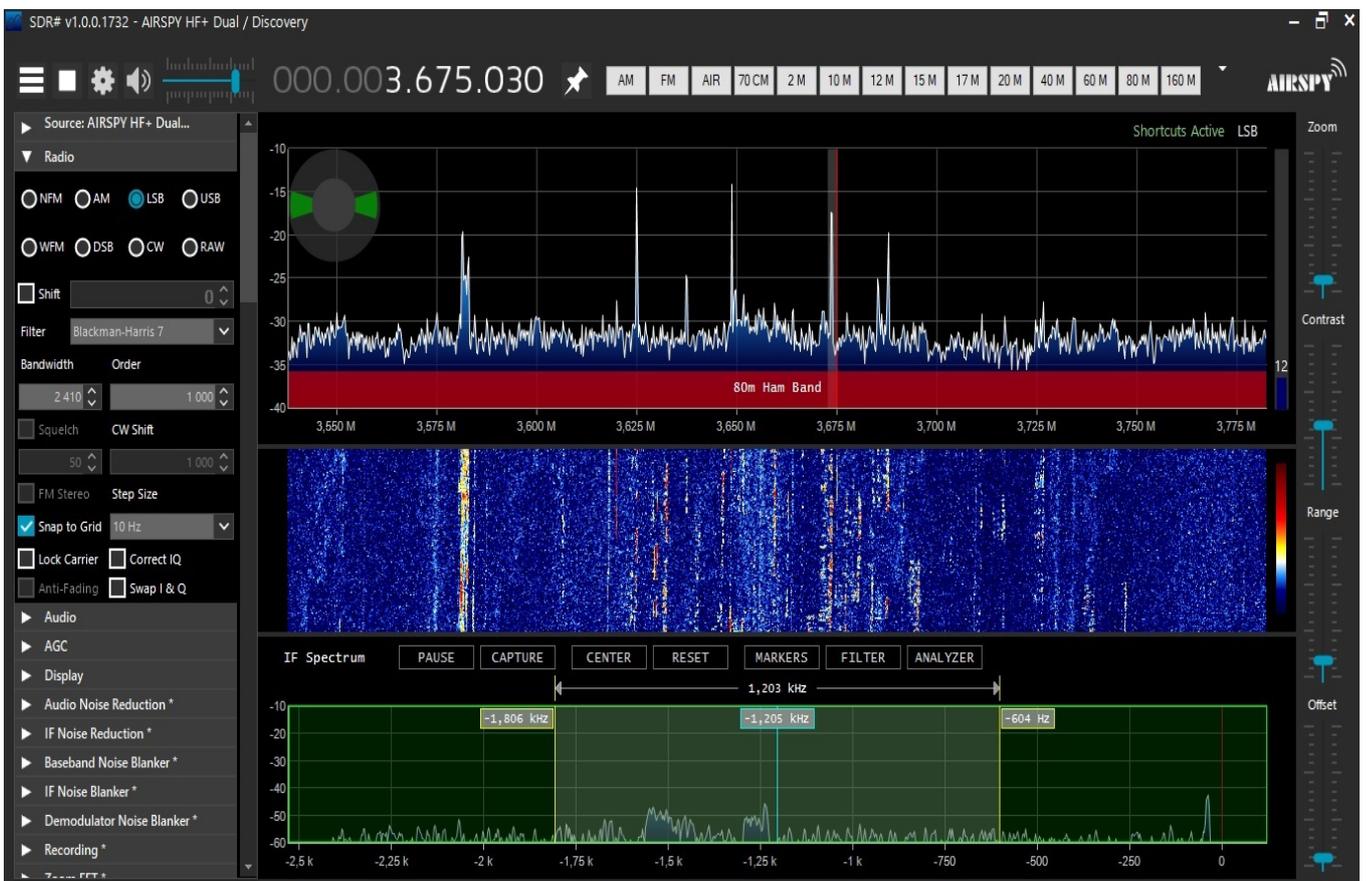


Рис. 21. Любительский диапазон 80 м.

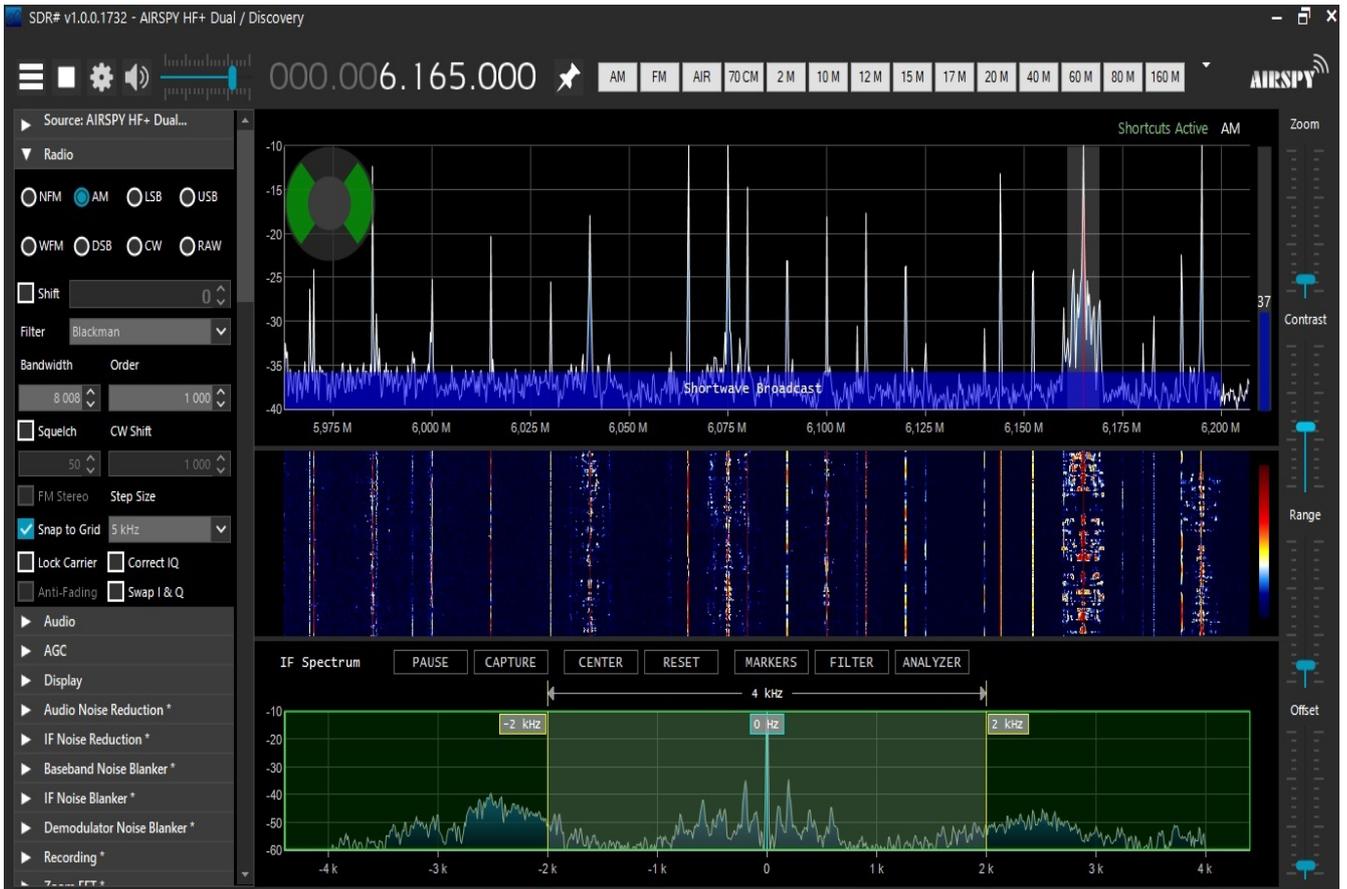


Рис. 22. Диапазон 49 м.

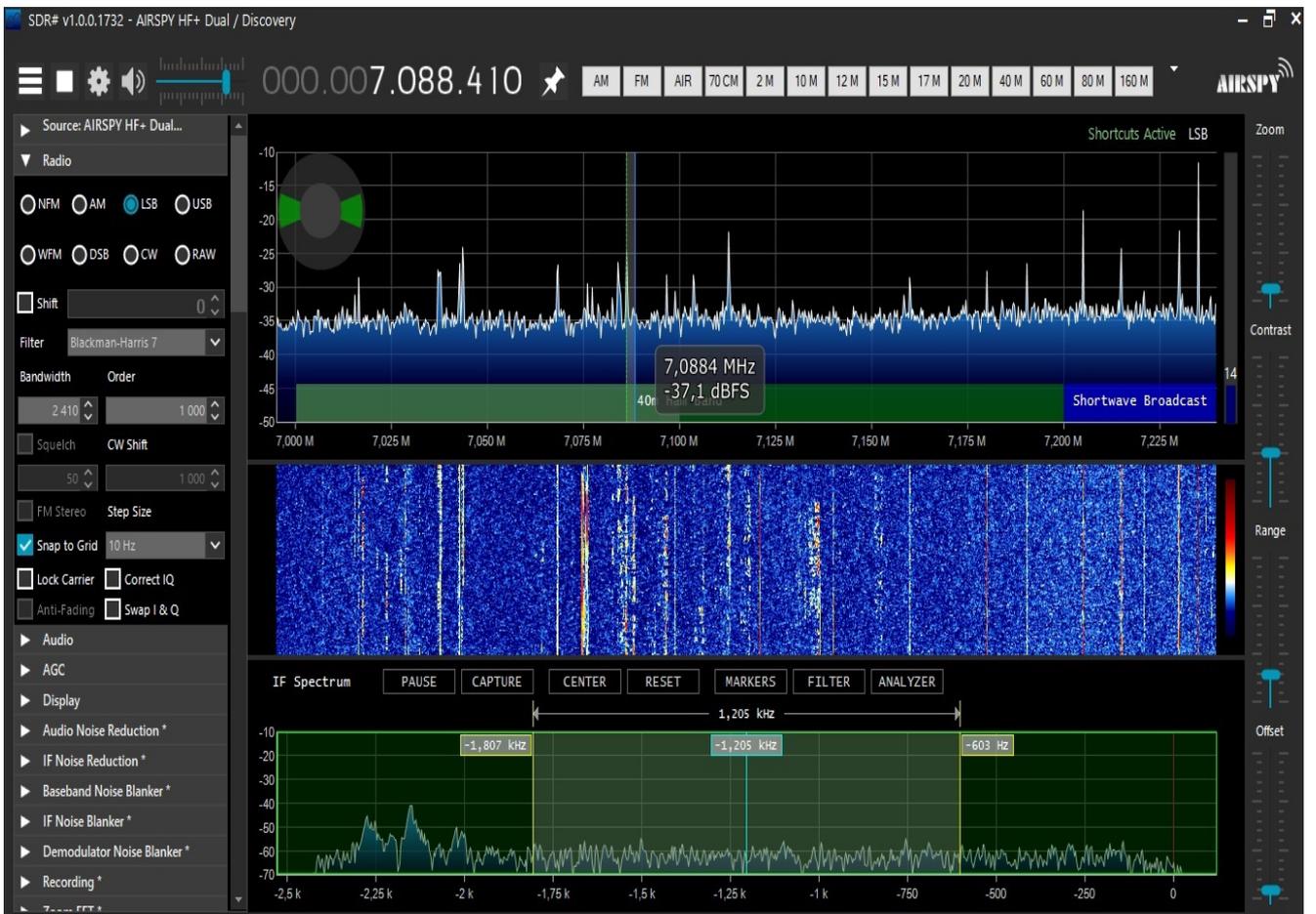


Рис. 23. Любительский диапазон 40 м.

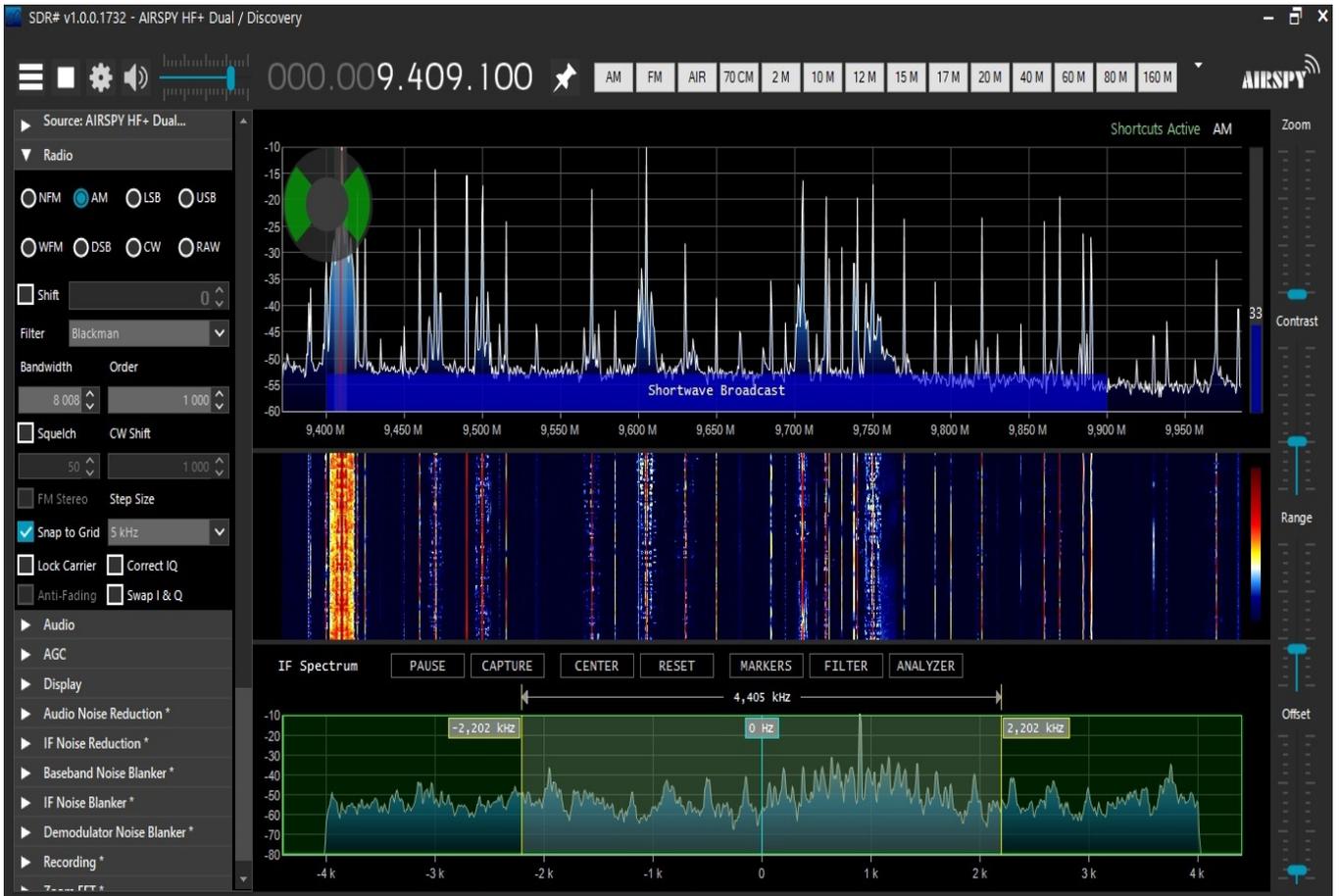


Рис. 24. Диапазон 31 м.

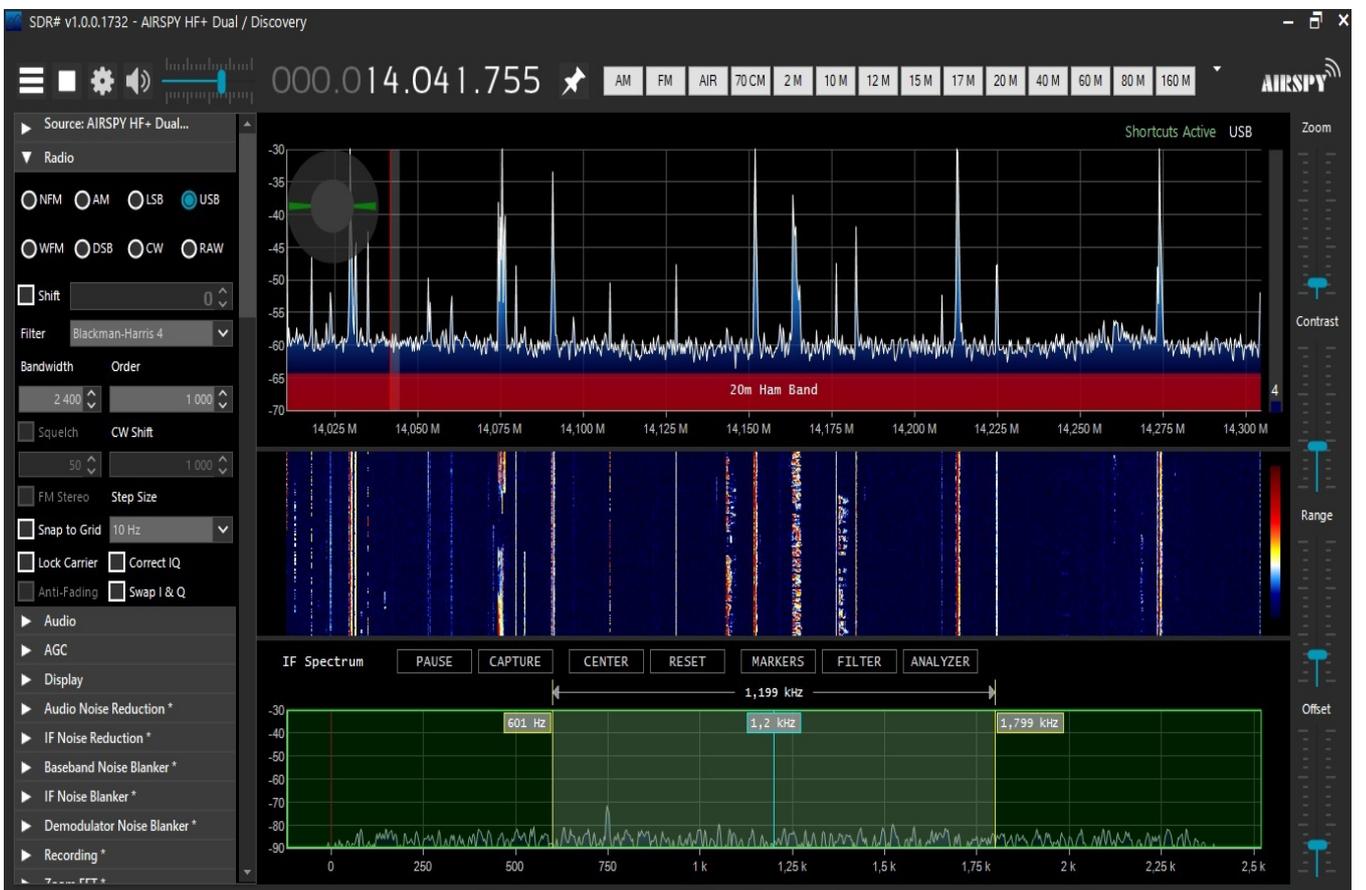


Рис. 25. Любительский диапазон 20 м.

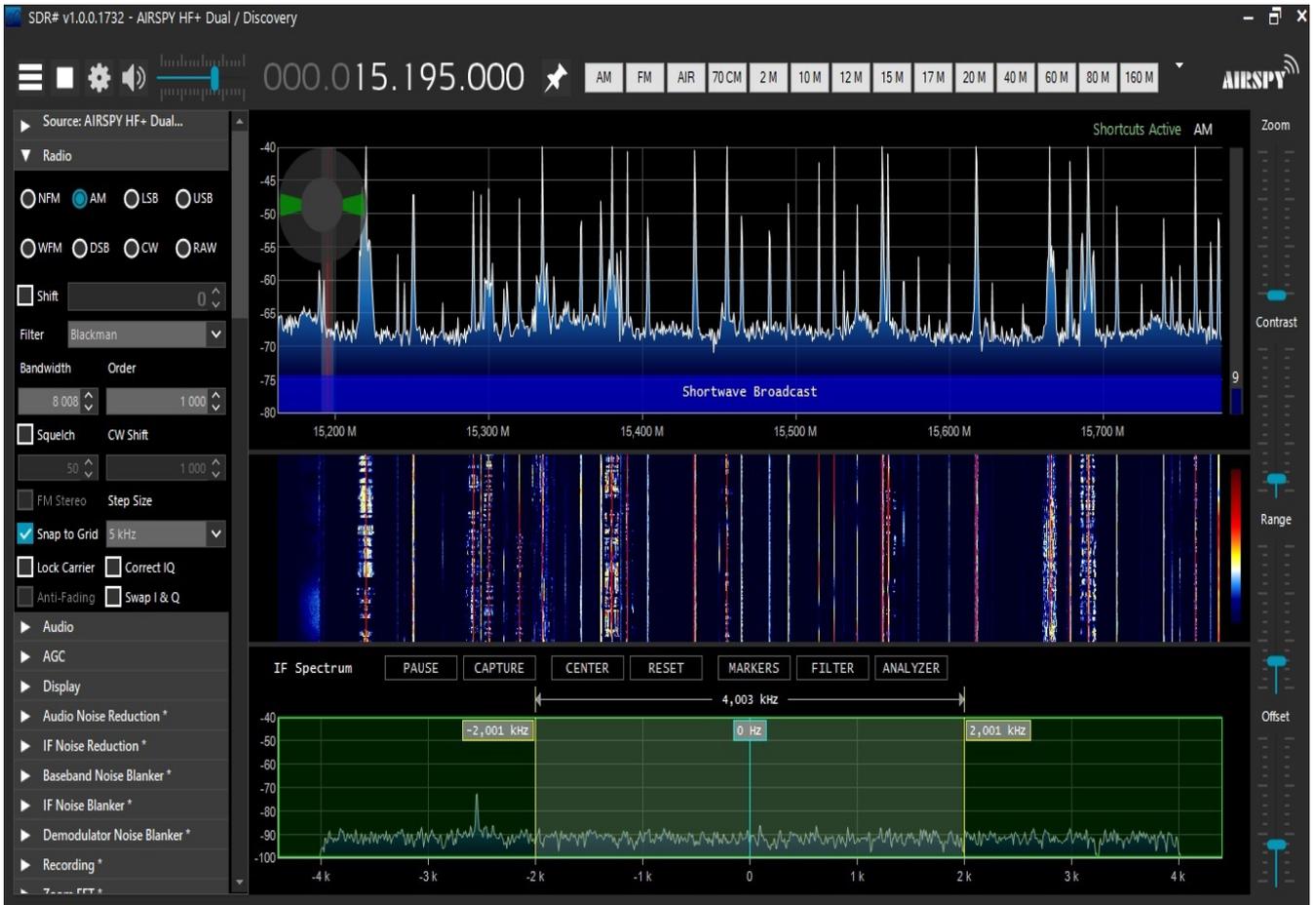


Рис. 26. Диапазон 19 м.

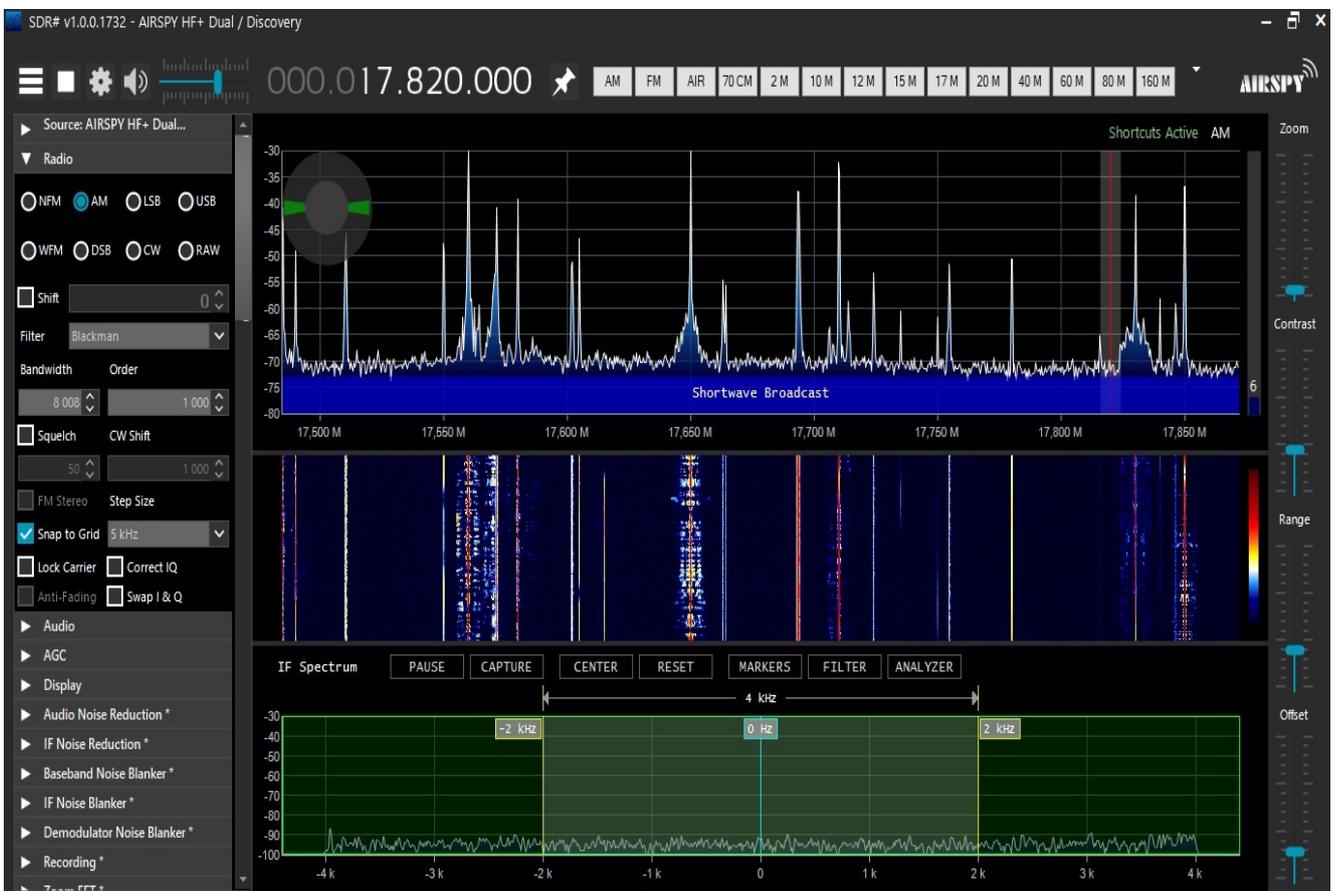


Рис. 27. Диапазон 16м.

В заключение хотелось бы привести соображения о путях повышения эффективности данной антенны. Как следует из формул, приведенных в начале статьи, эффективность антенны определяется во-первых - отношением $S_{вх}/C_a$, во-вторых – отношением h/λ .

Увеличить емкость антенны C_a можно посредством увеличения диаметра медных цилиндров. При этом снижается величина волнового сопротивления цилиндров. Вследствие отсутствия у автора необходимого измерительного оборудования, привести какие-то оптимальные показатели величины диаметра цилиндров не представляется возможным.

Уменьшить входную емкость антенного усилителя можно, например, установив вместо 3-х транзисторов в первом каскаде только 2-х (при сохранении или небольшом увеличении рекомендованного значения тока стока каждого из них). В этом случае динамический диапазон АУ безусловно снизится, однако вполне возможно, что при существующих местных условиях приёма, это не вызовет заметных перекрёстных и интермодуляционных искажений. Кроме того, можно применить более высокочастотные транзисторы с меньшими значениями $S_{вх}$ и $C_{ос}$.

Что касается увеличения высоты цилиндров h , то здесь следует помнить, что антенна считается короткой и начинает проявлять емкостные свойства, если длина каждого цилиндра не будет превышать четверти длины самой короткой принимаемой волны. Если минимальную длину волны принять равной 10 м ($f=30$ МГц), то длину каждого цилиндра не следует увеличивать более 2 м. При этом следует учитывать возможность размещения антенны больших габаритов в имеющемся в распоряжении пользователя личном пространстве.

Литература:

1. А. Л. Драбкин, Е.Б. Коренберг, Антенны, «Радио и Связь», М.,1992, стр. 30, 56-57.
2. В. Т. Поляков, Техника радиоприёма, Простые приёмники АМ сигнала, «ДМК», М., стр. 138 – 142.
3. Robert T. Hart, Coaxial inductor and dipole EH antenna, United States Patent No 6,956,535 B2, Oct.18, 2005.
4. В. Ю. Фалёса, Г. Г. Божченко, В.П. Морозов, Антенна малогабаритная емкостная с согласующей катушкой индуктивности, патент РФ RU 2 470 424 C1, 2006.01.
5. Ted Hart, Introduction to EH antennas, <http://www.ehant.qrz.ru/book.pdf>.
6. В.В. Кононов, Тайны емкостных антенн, СПб, 2019.
7. Э. Ред, Справочное пособие по высокочастотной схемотехнике, «Мир», М.,1990, стр. 112.
8. И. Гончаренко, Подавитель эфирных помех, «Радио», №№2,3, 2003г.

Трошев В.В.