

SDR приемник с кварцевым гетеродином



- Работает в КВ диапазоне 30 кГц ... 65 мГц
- Высокая чувствительность и избирательность
- Все виды модуляции - CW, SSB, AM, FM, DRM
- Кварцевый гетеродин
- Подключается к звуковой карте компьютера
- Программы SDRadio, WinRad, PowerSDR и др.
- Напряжение питания ... 12 в
- SMD компоненты

Software-defined radio (SDR) – это относительно новое, но очень перспективное направление в радиосвязи. При использовании технологии SDR практически весь объем работ по обработке и демодуляции сигнала перекладывается на программное обеспечение, которое запускается на персональном компьютере. С помощью программных алгоритмов могут быть реализованы такие функции, которые очень сложно получить при аналоговой обработке.

В идеальном SDR приемнике принимаемый сигнал с антенны через диапазонный полосовой фильтр поступает на быстродействующий аналогоцифровой преобразователь (АЦП), который оцифровывает весь спектр КВ диапазона. Оцифрованный сигнал можно передавать непосредственно в компьютер. Но пока вычислительной мощности персональных компьютеров недостаточно для обработки такого большого объема информации в реальном времени. Поэтому сигнал с АЦП подается на микросхему программируемой логики – FPGA, где проходит предварительную обработку. Из всего спектра вырезаются участки необходимой ширины и передаются в компьютер для дальнейшей обработки.

Аппаратно все получается очень просто – не нужно никакого гетеродина, аналоговая часть приемника сведена к минимуму. Соответственно, никаких побочных каналов приема, а динамический диапазон определяется разрядностью АЦП.

К сожалению, пока комплектующие для подобных вещей довольно дефицитные и дорогие. Да и изготовить плату, а затем смонтировать микросхему в корпусе на 208 выводов с шагом 0,5 мм в домашних условиях по силам далеко не каждому радиолюбителю. А ведь FPGA еще нужно запрограммировать. Поэтому, по крайней мере в ближайшие годы, конструирование SDR аппаратуры с непосредственной оцифровкой всего спектра сигнала с антенны останется уделом профессионалов. Хочется верить, что при серийном выпуске стоимость таких SDR приемников и трансиверов будет не очень высокой.

В настоящее время в любительских условиях реализация SDR реальна только на низких частотах

(десятки килогерц) т.к. в качестве АЦП и ЦАП обычно используется звуковая карта компьютера. Для переноса спектра ВЧ сигналов на низкую промежуточную частоту в радиолюбительских устройствах целесообразно использовать принцип прямого преобразования. Этот принцип был предложен очень давно. Радиолюбителям со стажем наверняка хорошо знакомы работы В.Т.Полякова (РА3ААЕ), который в 80-е годы прошлого века предложил много идей и схемотехнических решений для аппаратуры прямого преобразования.

Однако, несмотря на предельную простоту, высокую чувствительность и избирательность, приемники прямого преобразования не получили широкого распространения. Основной их недостаток – наличие низкочастотного зеркального канала приема. Его можно подавить фазовым методом, но это существенно усложняет схему и наладку. В результате теряется основное достоинство конструкции – ее простота, ведь аппаратная реализация широкополосных фазовращателей на элементной базе прошлого века требовала точного подбора элементов и кропотливой наладки. Станции с АМ простые приемники прямого преобразования принимать также не могли.

Только появление SDR, возможно, обеспечит массовое применение прямого преобразования в технике любительской радиосвязи. Сейчас традиционная схемотехника SDR выглядит, как показано на рис. 1.

Аналоговая часть выполнена по принципу прямого преобразования. Принимаемый сигнал через диапазонный полосовой фильтр (ДПФ) поступает на два смесителя, на которые от ГПД приходят опорные сигналы с относительным сдвигом фазы 90°. Относительный сдвиг фазы между сигналами на выходе смесителей в этом случае также составляет 90°, а частота сигналов – приблизительно от 0 до 20 кГц. Если подать эти сигналы на звуковую карту персонального компьютера, в котором НЧ фазовращатель реализован программно, то можно выделить используемую боковую полосу и подать нерабочую.

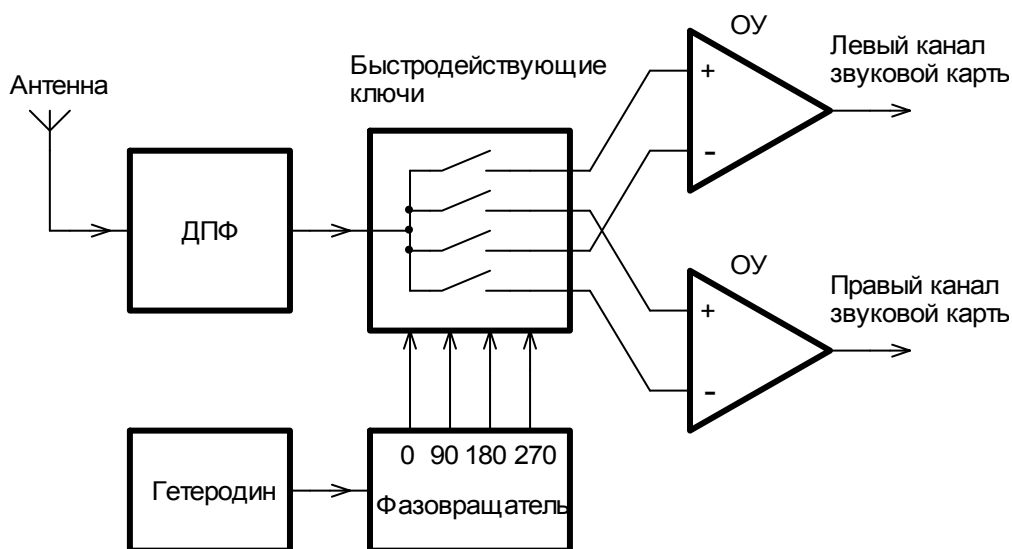


Рис.1. Структурная схема SDR приемника

SDR приёмник способен принимать и демодулировать практически все виды модуляции CW, SSB, AM, FM, а с помощью дополнительного программного обеспечения и цифровые виды связи, как радилюбительские так и коммерческие, например DRM цифровое радиовещание. Широкополосный спектр на входе звуковой карты можно использовать для панорамного индикатора. Практически все SDR программы имеют панорамный анализатор спектра.

Ну а теперь перейдем к описанию схемы и конструкции моего SDR приемника. При его разработке я поставил цель создать по возможности простой и доступный для повторения всеволновый SDR KB приемник с непрерывным диапазоном принимаемых частот 30 кГц ... 65 МГц. Это не одноплатная конструкция, каждый блок смонтирован на отдельной плате и функционально закончен. Своего рода «электронные кубики». В зависимости от целей и возможностей каждый радилюбитель может сначала собрать простой однодиапазонный приемник. Затем модернизировать его, превратив в всеволновый. Кроме того, любой блок можно собрать по другой схеме и на других комплектующих.

Приемник с кварцевым гетеродином будет перекрывать участок диапазона, равный частоте дискретизации звуковой карты компьютера. Обычно 48 кГц, т.е +/- 24 кГц от средней частоты.

За основу я взял одну из схем, предложенных известным радиолителем, пропагандистом SDR аппаратуры **Tasić Siniša – Tasa (YU1LM/QRP)** [1]. По классификации автора эта схема известна как приемник **DR2G**. Это, на мой взгляд, одна из его самых совершенных и продуманных схем. Я внес в нее лишь несколько «косметических» изменений, исправил некоторые неточности и перевел чертеж платы в формат Sprint Layout, попутно скорректировав конфигурацию печатных проводников под SMD компоненты типоразмеров 0805 и 1206. Принципиальная схема основной платы приемника показана на рис. 2.

Приемник собран на микросхемах серии 74LVC. Эта серия функциональный аналог 74НС, но она имеет существенно большее быстродействие. Например, триггер 74LVC74 может работать на частотах до 250 МГц, а ключи 74LVC4066 работают с частотой коммутации до 100 МГц и имеют сопротивление в открытом состоянии около 5 Ом. Но напряжение питания этой серии не должно превышать 3,6 В.

Высокочастотный фазовращатель собран на двух триггерах DD2, он может работать в режиме деления входной частоты на 4 или на 2. Первый режим является основным, он обеспечивает точный фазовый сдвиг опорных сигналов ключевого смесителя на 90°, что обеспечивает подавление нерабочей боковой полосы на 35...60 дБ в диапазоне до 30 МГц.

В режиме деления частоты на 2 точность фазового сдвига определяется скажностью сигнала гетеродина. Обеспечить скажность 1/1 на частотах в десятки мегагерц довольно сложно, поэтому в этом режиме подавление нерабочей боковой полосы намного меньше. Но выше 30 МГц помех тоже существенно меньше и избирательность по зеркальному каналу не имеет большого значения. Зато такое решение позволяет без усложнения схемы и конструкции расширить диапазон принимаемых частот до 65 МГц при максимальной частоте гетеродина 130 МГц. Переключатель режимов деления частоты гетеродина собран на DD1. При разомкнутых контактах SA1 фазовращатель работает в режиме деления на 4, а при замкнутых – в режиме деления на 2.

На правых по схеме элементах DA3 и DA4 собран дополнительный усилитель выходного сигнала. При его подключении переключателем SA2 уровень выходного сигнала увеличивается на 20 дБ, это может быть полезно на частотах выше 20 МГц, где уровень шумов эфира относительно невелик.

Приемник смонтирован на плате из двустороннего фольгированного стеклотекстолита размером 100x55 мм (рис.3).

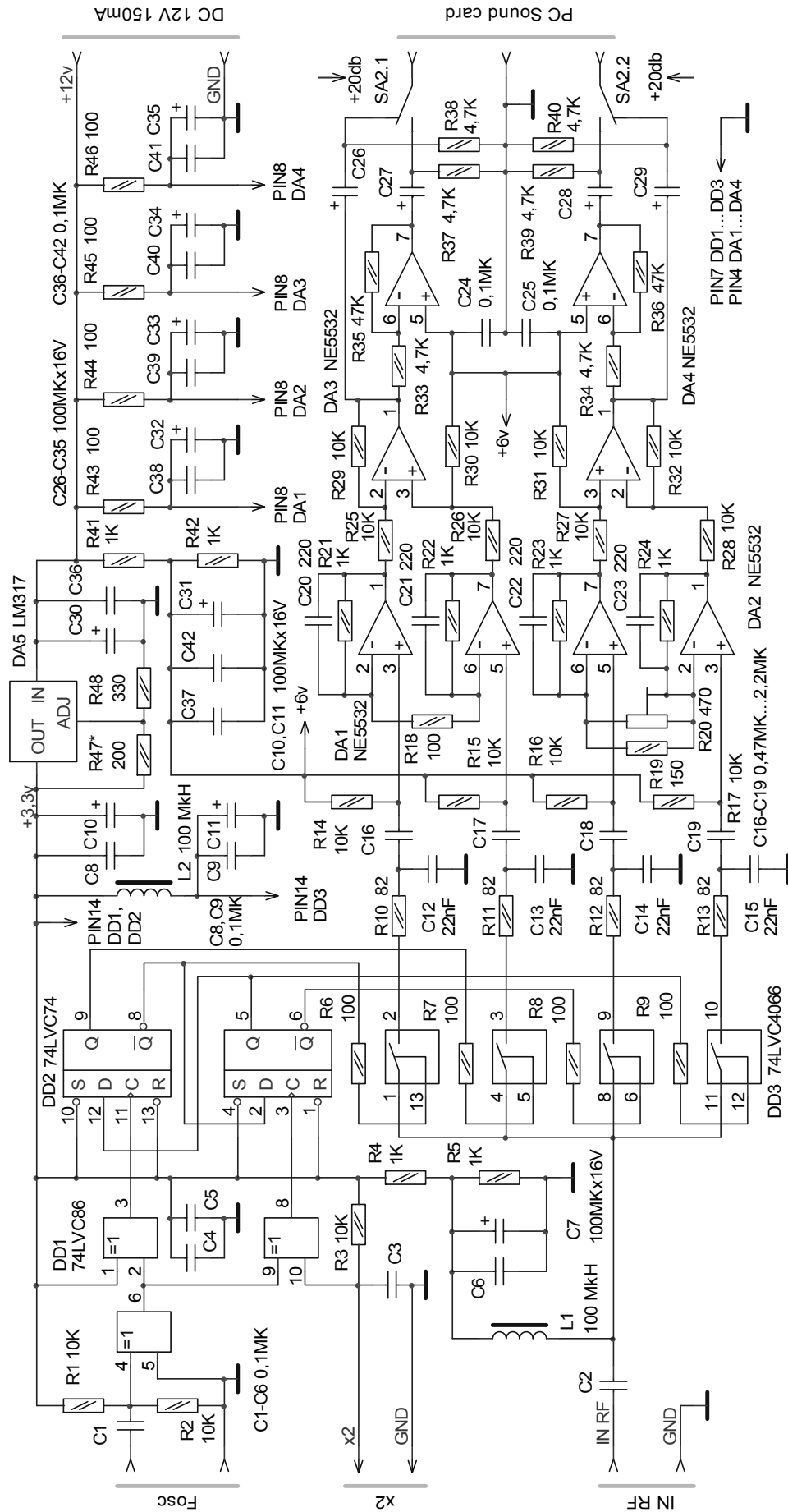


Рис.2. Принципиальная схема SDR приемника

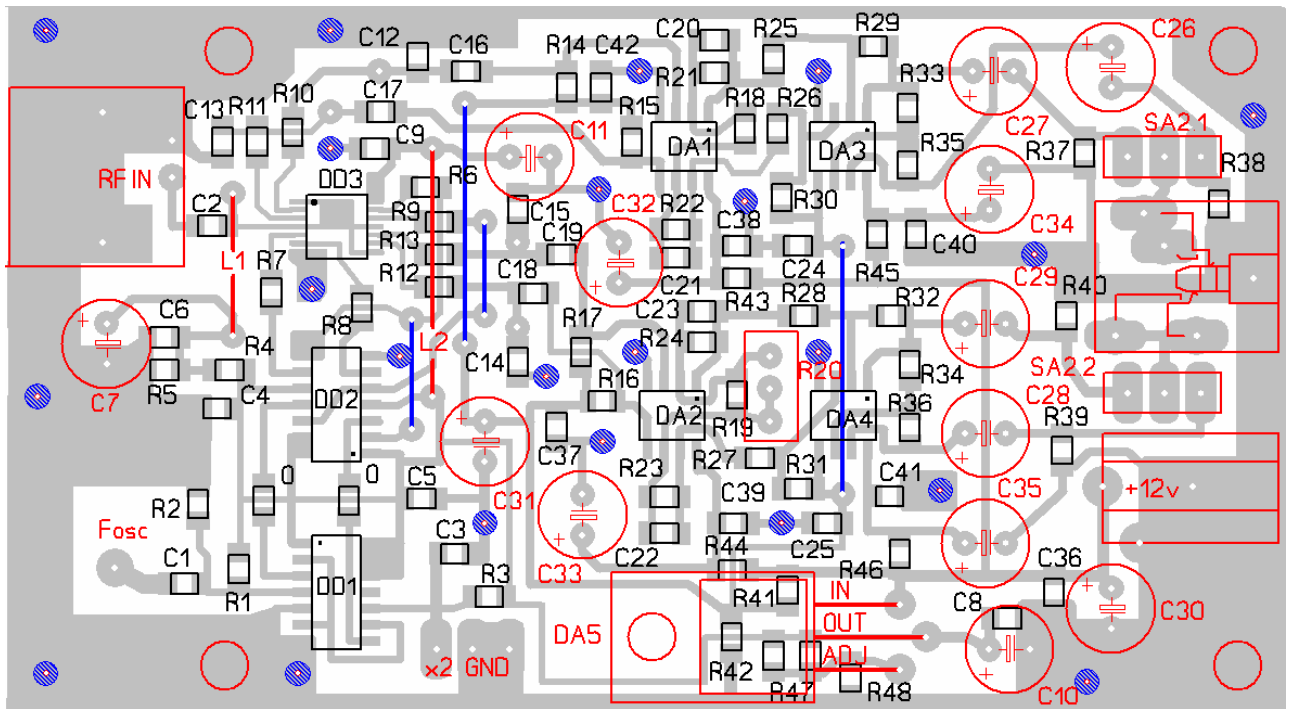


Рис.3. Печатная плата приемника (вид со стороны монтажа)

С одной стороны выполнен весь монтаж, а с другой фольга используется в качестве общего провода. Большинство элементов в корпусах для поверхностного монтажа. Резисторы и конденсаторы можно использовать типоразмеров как 0805, так и 1206. Электролитические конденсаторы и подстроечный резистор R20 монтируются как обычно, в отверстия. Конденсаторы C12...C15 можно использовать как SMD, так и обычные с выводами. Отверстия для установки элементов со стороны общего провода раззенковываются. Фольгу над отверстиями, которые показаны на рисунке синим цветом раззенковывать не нужно, это сквозные переходы, в которые необходимо запаять отрезки медного провода для соединения печатных проводников с общим проводом.

Микросхемы DD1 и DD2 в корпусах SO14, полное обозначение типа 74LVC86AD и 74LVC74AD соответственно. DD3 – в корпусе TSSOP14, полная маркировка 74LVC4066PW. Я просто не смог найти эту микросхему в другом корпусе. Но при небольшой коррекции печатных проводников можно использовать эту микросхему и в корпусе SO14. Малошумящие операционные усилители DA1...DA4 типа NE5532D8, корпус SO8. DA5 в корпусе TO220. Помните, что корпус этой микросхемы не должен иметь контакта с общим проводом платы.

Питается приемник от стабилизированного источника 12 В. Трансформатор питания нельзя размещать в одном корпусе с платой, т.к. приемник очень чувствителен к

магнитным полям. Экранировка тут не помогает, разве что поместить плату в стальную коробку с толщиной стенок несколько мм... Поэтому, лучше использовать внешний адаптер питания. Дроссель L1 можно заменить резистором 470 Ом, это значительно уменьшит чувствительность к внешним магнитным полям.

Налаживание заключается в установке напряжения на выходе DA5 3,3 В подбором резистора R47

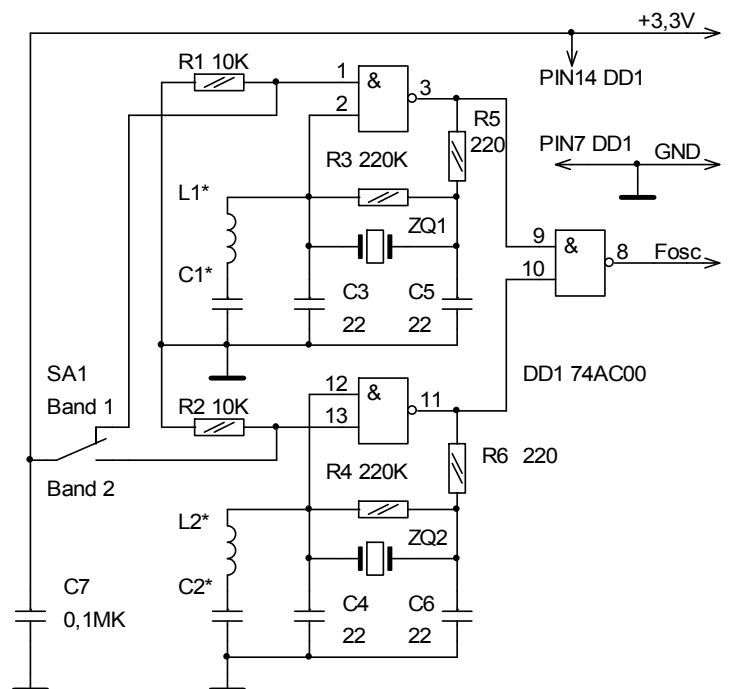


Рис. 4. Схема кварцевого гетеродина

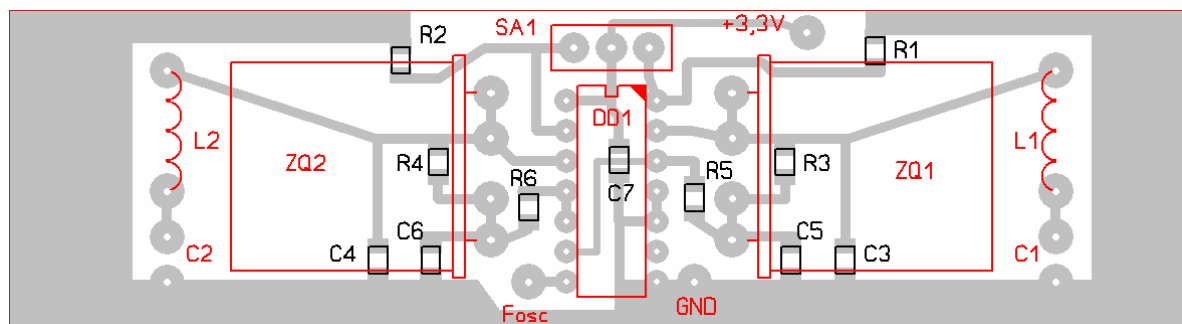


Рис. 5. Печатная плата кварцевого гетеродина (вид со стороны монтажа).

(можно поставить 2 резистора параллельно). Лучше это сделать до монтажа всех остальных микросхем на плату. Перед монтажом R20 его движок следует установить в среднее положение.

Чтобы проверить работоспособность приемника можно в качестве гетеродина использовать какой-либо генератор сигналов или кварцевый гетеродин с амплитудой выходного сигнала 1...2 В. Обратите внимание, что микросхема 74LVC86 легко может выйти из строя, если не принять обычных мер, обязательных при соединении друг с другом приборов, которые питаются от разных источников. А именно – **все внешние коммутации нужно делать обязательно при отключенном питании обоих устройств.**

В качестве гетеродина можно использовать кварцевый генератор, собранный по схеме, показанной на рисунке 4.

Частоты кварцев должны быть в 4 раза выше желаемых частот приема. Например, для кварца 28328 кГц диапазон частот приема будет 7082 +/-24 кГц. Переключателем SA1 переключаются 2 кварцевых генератора, поэтому прием можно вести на двух участках по 48 кГц каждый. Учитывая возможность работы фазовращателя в режиме деления на 2, возможен прием еще в двух участках КВ диапазона на частотах в два раза выше. Для приведенного выше примера это 14164 +/-24 кГц, но избирательность по зеркальному каналу в этом случае будет гораздо хуже.

В этой схеме можно использовать кварцы, возбуждающиеся на первой или третьей гармонике. Если используются кварцы на основной частоте, элементы L1, C1, L2, C2 устанавливать не нужно. При использовании гармоникового кварца дроссели L1, L2 и конденсаторы C1, C2 подбираются так, чтобы резонансные частоты последовательных контуров L1,C1 и L2,C2 были вблизи частоты основной гармоники кварца. Большой точности тут не требуется, можно просто подбирать индуктивность или емкость, контролируя частоту возбуждения кварца частотомером на выходе схемы. Ориентировочно, для создания условий возбуждения кварца на третьей гармонике 28328 кГц, можно использовать L1 6 мкГн и C1 47пФ.

Гетеродин смонтирован на плате из одностороннего фольгированного стеклотекстолита размерами 100x27 мм, она показана на рис. 5.

Приемник смонтирован в корпусе, спаянном из фольгированного гетинакса. После монтажа плат следует сделать внешние соединения в соответствии с функциональной схемой, показанной на рис. 6. Расположение плат в корпусе показано на рис. 7.

Переключатели SA1 и SA2 установлены непосредственно на плате приемника, но их можно вынести и на корпус. Питание гетеродина берется непосредственно с выходного вывода стабилизатора DA5 на плате приемника. Переключатель кварцевых генераторов SA1, расположенный на плате гетеродина, на рис. 6 обозначен как SA1*.

Хочу обратить особое внимание на антенну. В 80-е годы прошлого века в Кирове на кусок провода длиной 2-3 метра, протянутый около окна на кухне, на трансивер «РАДИО-76» я на 57-58 принимал любительские станции 5-го района в диапазоне 160 м. А на активную рамочную антенну диаметром около 30 см можно было уверенно слушать сигналы любительских спутников серии «Радио» в диапазоне 28 мГц.

Сейчас такой номер не проходит. В городских условиях на комнатную антенну даже вещательные станции услышать почти невозможно. Никакие эксперименты с «балконными антеннами», магнитными рамками и т.п. не дают положительных результатов. Многочисленные импульсные блоки питания бытовой техники, компьютеры, сотовая связь и многое другое отнюдь не улучшают электромагнитную обстановку.

Поэтому, во избежание разочарований, необходимо использовать только наружную антенну. Хотя бы кусок провода длиной около 20 м, брошенный из окна на ближайшее дерево или фонарный столб. Но не забывайте про электробезопасность. Этот провод не должен проходить ни под, ни над линиями электропередач. Для снятия статического электричества его следует соединить через резистор порядка 10 кОм с «землей». В качестве «земли», если нет других вариантов, можно использовать трубы отопления или (лучше) водопровода.

В некотором противоречии с теорией я подсоединил эту антенну прямо к коаксиальному кабелю 50 Ом длиной около 20 м, который пришлось протянуть через всю квартиру. На удивление, на прием все это прекрасно работает на всех КВ диапазонах! Но антенный тюнер и ДПФ на входе, конечно, ни-

когда не будет лишним. Желательно также использовать аттенуатор.

Теоретики высокочастотной схемотехники могут обвинить меня в некомпетентности, но в качестве аттенуатора я использовал обычный переменный резистор номиналом 470 Ом 1 кОм

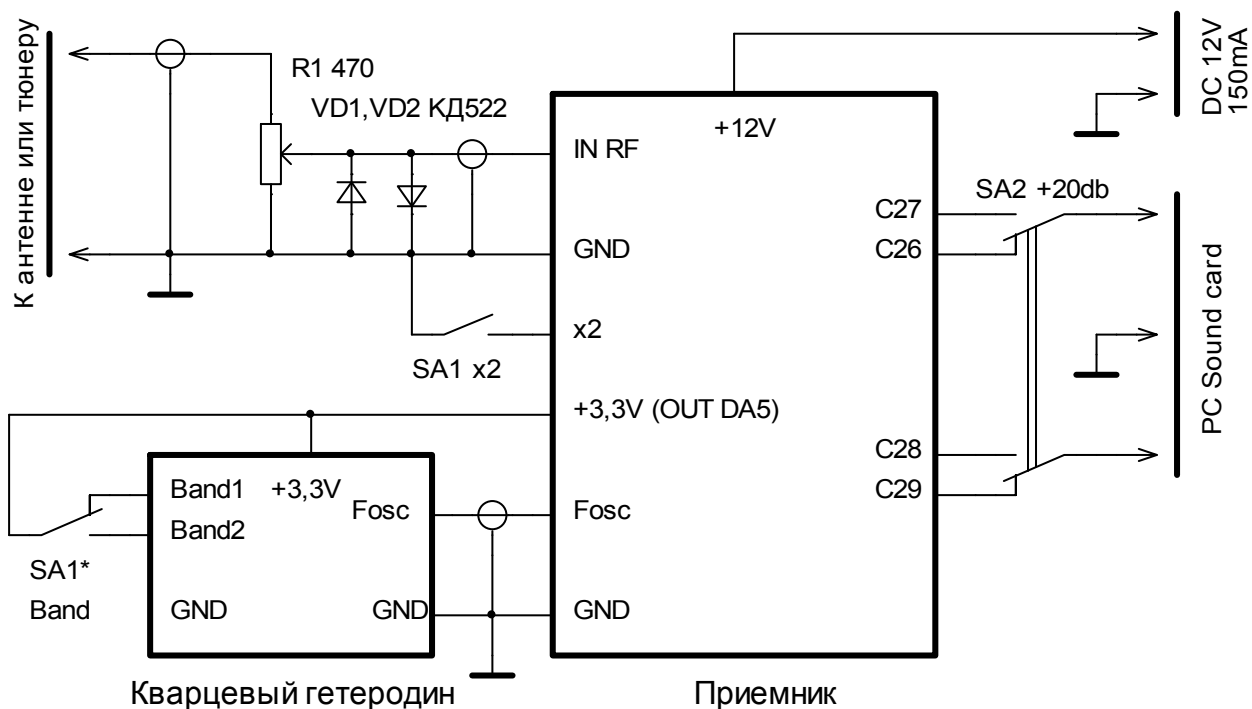


Рис. 6. Функциональная схема приемника

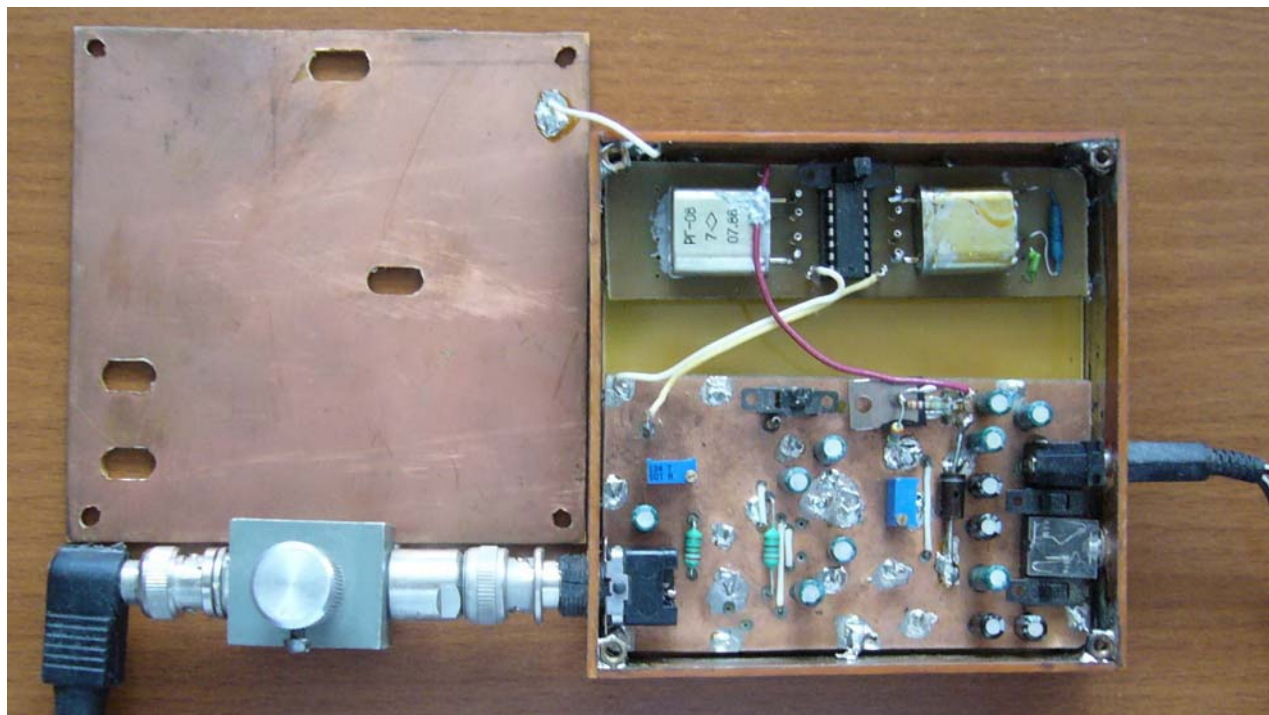


Рис.7. Расположение плат в корпусе

Идея в том, что при верхнем положении движка – это просто резистор, параллельный антенне. Если волновое сопротивление кабеля 50 Ом, то резистор 470 Ом, подключенный параллельно, согласование практически не ухудшит.

При перемещении движка к земле входное и выходное сопротивление такого “аттенюатора” будут меняться, нарушая согласование. Но ведь сигнал сильный, его нужно ослабить и некоторой расстройкой входных цепей вполне можно пренебречь. Переменный резистор можно использовать любого типа, но механически прочный, с надежным контактом движка.

При подключении к приемнику внешних соединений все питание должно быть отключено. Необходимо физически отключить компьютер от сети, вынув вилку из розетки или отключив выключатель на блоке питания. В последнюю очередь подключатся антенна.

Наконец, аппаратная часть готова. Можно устанавливать и запускать программу SDR. Для приемника с кварцевым гетеродином можно использовать одну из следующих: KGKSDR [2], Rocky [3], SDRadio или WinRad [4].

Управление и настройка этих программ интуитивно понятны. При необходимости всегда можно почитать встроенную справку по конкретной программе или поискать информацию по ней на форумах в Интернет.

Настройка аппаратной части приемника заключается в балансировке каналов для достижения максимального подавления нерабочей боковой полосы. Для этого на антенный вход нужно подать сигнал с генератора с частотой, отстоящей от центральной частоты приема на 5...15 кГц и амплитудой на 50...60 дБ выше уровня шумов. На таком же расстоянии от центральной частоты, но с другой стороны на программном анализаторе спектра на экране компьютера будет виден сигнал, принимаемый по зеркальному каналу. Вращая движок R20 на плате приемника нужно добиться минимальной амплитуды этого сигнала. Если вращение не влияет на амплитуду, значит по одному из каналов сигнал не проходит на вход звуковой карты. Возможно, ошибка монтажа, неисправный операционный усилитель, обрыв или замыкание в разъеме или кабеле.

В некоторых программах для приема SDR предусмотрена программная балансировка амплитуды и фазы в каналах. Ее следует делать после того, как каналы сбалансированы аппаратно. Если нижняя и верхняя боковые полосы поменялись местами, нужно просто поменять местами выходы приемника, подключенные к звуковой карте.

Несколько слов о звуковой карте. Безусловно, это очень важный компонент приемной системы и от ее качества зависят все параметры приемника. Полоса обзора на панорамном индикаторе равна частоте дискретизации звуковой карты. Например, если частота дискретизации 48 кГц, приемник

можно будет программно перестраивать в диапазоне +/- 24 кГц от частоты гетеродина.

Но я бы не рекомендовал сразу бежать в магазин в поисках качественной звуковой карты стоимостью в несколько сотен долларов. Очень даже не плохие результаты получаются и со встроенной AC97. И только, если что-то не устраивает, можно подумать о приобретении другой, более качественной.

Если в компьютере есть линейный вход, лучше использовать его, а микрофонный отключить в настройках системы. Если этого не сделать, возможно прямое проникновение сигнала с входа на выход звуковой карты. Субъективно это проявляется в посторонних звуках в динамиках при включенном приемнике, даже если программа SDR не запущена.

Если линейного входа нет, как в большинстве ноутбуков, придется использовать микрофонный вход. При этом потребуются установить дополнительные делители для снижения уровня сигнала. Лучше, если они будут расположены непосредственно около микрофонного входа компьютера. Номиналы резисторов делителей придется подобрать экспериментально, но их общее сопротивление не должно быть менее 2 кОм во избежание перегрузки ОУ на плате приемника. Можно приобрести и внешнюю звуковую карту с USB интерфейсом.

Хочу отметить еще один важный элемент приемной системы – мышку. Ведь это будет основной орган настройки. Особо следует обратить внимание на плавность вращения колеса прокрутки, надежность и отсутствие дребезга в кнопках, а также отсутствие случайных бросков курсора по экрану при движении мышки.

Ссылки:

- 1. HF SDR receivers
<http://www.yu1lm.qrpradio.com/sdr%20rx%20yu1lm.htm>
- 2. M0KGK SDR Decoder Software "KGKSDR"
<http://www.m0kgk.co.uk/sdr/>
- 3. Software created by Alex Shovkoplyas, VE3NEA
<http://www.dxatlas.com/Rocky/>
- 4. The weaksignals pages of Alberto, I2PHD
<http://www.weaksignals.com/>

Чертежи печатных плат в формате Sprint Layout, схемы в формате Orcad 9.1, а также описание дальнейшей модернизации этого приемника с целью превращения его во всеволновый с непрерывным диапазоном рабочих частот 30 кГц ... 65 мГц можно загрузить с сайта автора по адресам:

<http://ra4nal.qrz.ru>
<http://ra4nal.lanstek.ru>

Разработка 2010 г.

Коммерческое использование с согласия автора.
Перепечатка со ссылкой на первоисточник.