

## Ультразвуковой приёмник

Виктор Беседин (UA9LAQ)

г. Тюмень

E-mail: ua9laq@mail.ru

Ультразвуковой приёмник, который за рубежом больше известен под названием Bat Detector (BD) – “обнаружитель” летучей мыши, является устройством, позволяющим услышать ультразвуки, издаваемые, например, летучими мышами. Различают несколько типов BD:

- BD с делением частоты;
- BD гетеродинного типа (с преобразованием частоты);
- BD с “замедлением”;
- BD с DSP (с цифровой обработкой сигнала).

BD с делением частоты – наиболее простое устройство, которое позволяет поделить частоту ультразвукового сигнала до частоты, воспринимаемой человеческим ухом. Такой приёмник является широкополосным и позволяет не пропустить сигналы во всём наблюдаемом диапазоне частот. Однако он не имеет амплитудной обработки сигнала, а выходной звуковой сигнал не является “точной копией” входного. Например, звуки, издаваемые летучей мышью, напоминают сигналы от счётчика Гейгера, т.е., состоят из последовательности щелчков. На вход BD обычно подаются сигналы частотой около 40 кГц от преобразователя ультразвуковых сигналов в электрические. В приёмнике эти сигналы усиливаются, а затем их частота делится на 16, так что сигнал, например, частотой 40 кГц будет воспринят человеческим ухом как имеющий частоту 2,5 кГц. Сигнал частотой 2,5 кГц может быть затем усилен и подан на головные телефоны или динамическую головку. BD такого типа работает на небольшом расстоянии от объекта, т.е., приёмнику требуется довольно сильный входной сигнал. Устройство не имеет сопутствующих шумов на выходе и может легко помещаться в кармане, так как имеет небольшие размеры. Внутренняя “начинка” состоит, как правило, из нескольких усилительных микросхем, двоичного счётчика - делителя и небольшого количества сопутствующих им деталей. Такое устройство можно рассматривать только как датчик присутствия сигнала, так как анализ формы этого сигнала не производится. BD с делением частоты желательнее применять для обнаружения объекта наблюдения, а наблюдение за объектом можно проводить с помощью узкополосного приёмного устройства с гетеродином.

“Гетеродинный” BD является, по сути дела, тем же радиоприёмником, только с низкой принимаемой частотой, имеющим на входе акусто-электрический ультразвуковой преобразователь. Электрический сигнал с преобразователя усиливается и подаётся на смеситель, на который также поступает сигнал от местного гетеродина. Разностный ЗЧ сигнал с выхода смесителя вновь усиливается и подаётся на головные телефоны или динамическую головку. BD гетеродинного типа

также имеет небольшие размеры, но, в отличие от BD с делением частоты, позволяет прослушивать слабые сигналы, причем выходной сигнал является “копией” входного, смещённого вниз по частоте. Поскольку такой BD фактически представляет собой приёмник прямого преобразования и имеет достаточно высокую чувствительность, то на выходе приёмника постоянно присутствует белый шум той или иной интенсивности в зависимости от применённых компонентов и коэффициента усиления устройства.

Изменяя частоту гетеродина BD, можно настраиваться на различные участки рабочего диапазона и определить, например, разновидности летучих мышей, так как они “работают” в разных участках ультразвукового диапазона. Однако, при этом есть риск пропустить сигнал, если заранее не настроить устройство на нужную частоту.

BD с замедлением (широкополосные, работающие, в отличие от BD с делением частоты, не в режиме реального времени, а с задержкой, необходимой на запись “порции” входного сигнала) представляют собой очень дорогие устройства, использующие принцип высокоскоростного цифрового записывающего устройства (магнитофона). После записи сигнала его воспроизводят со скоростью, составляющей 1/10, 1/32 или 1/64 часть от скорости записи. Прослушивая записанный сигнал, анализируют частотные, амплитудные и спектральные характеристики, причём сделать это можно или непосредственно на месте записи, или, спустя некоторое время (даже годы), в лаборатории.

BD с цифровой обработкой сигнала (DSP) является довольно сложным устройством, но позволяет проводить всесторонний анализ ультразвуковых сигналов. Такие устройства чаще всего применяются в научно-исследовательских учреждениях.

Ухо нормального ребенка способно воспринимать звуковые колебания от 20 Гц до 20 кГц. С возрастом верхняя граница чувствительности уха снижается (например, для среднего возраста – до 14 кГц, причем чувствительность снижается у мужчин быстрее, чем у женщин). Летучие мыши излучают ультразвуковые сигналы в диапазоне частот от 20 до 210 кГц (в зависимости от подвида), причём каждая особь издаёт свой уникальный сигнал. Летучая мышь, занятая поисками пищи, издаёт сигналы с регулярными интервалами. После поимки насекомого сонар летучей мыши издаёт непрерывную серию импульсов – “обеденное урчание”. Следует отметить достаточно большую мощность издаваемых летучими мышами ультразвуковых “криков”, поскольку в промежутках между “посылками” особь должна прослушивать отраженные от возможных целей и окружающей обстановки эхо-сигналы. Её органы слуха являются очень чувствительными

“приёмниками”, но чтобы не “оглохнуть” от собственного крика, уши летучих мышей имеют специальные шторы, которые при собственном крике закрываются. Длительность посылок сонара летучей мыши составляет от 0,2 до 100 мс.

Оказывается, и крысы издают ультразвуковые сигналы; взрослые особи – частотой около 22 кГц, “молодежь” – около 40 кГц, звуки агрессии – примерно 50 кГц, а на частоте примерно 55 кГц звучит так называемый “смех” крыс, когда они играют или находятся в комфортном состоянии.

Кроме того, ВД позволяет услышать стрекотание кузнечиков, большая часть “разговора” которых происходит на ультразвуковых частотах. Человек в возрасте, в силу ухудшения восприятия верхних частот, может совсем не слышать это стрекотание.

При мониторинге ультразвукового диапазона частот, например, в лесу, можно услышать много посторонних звуков – шум упавшей листвы, травы и т.д., поэтому, для обнаружения особи, издающей ультразвуковые сигналы, необходимо останавливаться каждые 10 шагов (эффективно приборы работают на расстоянии до 15...20 м) и, установив частоту ВД около 35...40 кГц, медленно поворачивать прибор вправо-влево по кругу. Шуршащая подстилка из прошлогодних листьев предупреждает особь о приближении человека. Нужно иметь терпение и талант наблюдателя. Спугнуть особь может даже звенящая мелочь или связка ключей в кармане, звуки которых очень четко регистрирует ВД. Быстро вращающиеся колеса, например, велосипеда тоже создают специфический ультразвуковой сигнал. На результаты “охоты” с ВД сильно влияет погода – кузнечики даже в сильную жару могут разом замолчать, не говоря уже о дожде.

Летучие мыши, кузнечики... “Кому это нужно?”, – возможно, спросит кто-то из читателей. Оказывается, нужно – натуралистам, биологам и другим неравнодушным к Природе людям. Но применение ВД значительно шире: они позволяют найти утечку в газопроводе, баллоне, газовой плите, авто-, мото-, велокамере, коронирующие “тихие” разряды, отобрать идентичные детали, услышать сигналы от различных предметов, найти плохие электрические контакты.

Таким образом, после знакомства с темой, пришла пора перейти к делу – к изготовлению ВД. За рубежом такие приёмники применяются уже с начала 50-х годов XX века, все упомянутые выше типы ВД выпускаются серийно. Однако заинтересованные читатели могут начать освоение ультразвукового диапазона или с переделки старого длинноволнового приёмника, или с изготовления конвертера к имеющейся КВ/УКВ приёмной аппаратуре, или с простейшего ВД. Именно такой приёмник, оригинальная схема ([1]) которого частично выполнена на отечественных деталях, предлагается вниманию читателей.

Ультразвуковой приёмник (блок-схема на рис. 1) представляет собой устройство “гетеродинного” типа,

имеет высокую чувствительность и позволяет с достаточной точностью воспроизводить входные сигналы, сдвигая их спектр в область звуковых частот. Прибор состоит из входного акусто-электрического преобразователя (ультразвукового микрофона), усилителя сигнала, поступающего с микрофона, смесителя, гетеродина и УЗЧ. Как видно из структурной схемы, основное отличие ультразвукового приёмника от обычного радиоприёмника заключается в том, что на входе вместо антенны установлен ультразвуковой микрофон.

Принципиальная схема устройства приведена на рис. 2. Ультразвуковой сигнал поступает на микрофон ВМ1, который преобразует акустические сигналы в электрические. Поскольку микрофон выполнен на основе пьезокерамики, он обладает очень высоким электрическим сопротивлением постоянному току и высоким выходным импедансом, поэтому может быть подключен ко входу усилителя с большим входным сопротивлением непосредственно, без разделительного конденсатора.

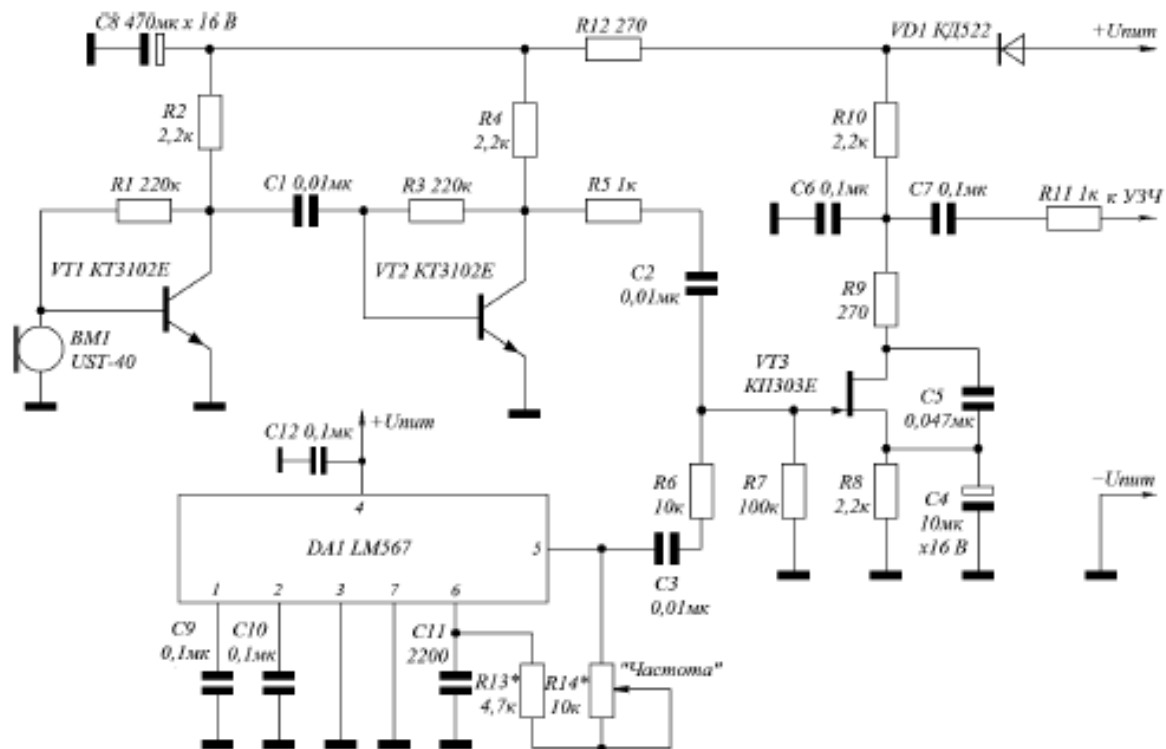
Усилитель ультразвукового сигнала выполнен на двух идентичных каскадах, собранных по схеме с общим эмиттером. Применены транзисторы, имеющие большой коэффициент передачи по току. Конденсаторы С1, С2, С7 – разделительные. Резисторы R1 и R3 обеспечивают установку режимов работы транзисторов по постоянному току, а также отрицательную обратную связь. Резисторы R2 и R4 – коллекторные нагрузки транзисторов VT1 и VT2, соответственно. Фильтры, ослабляющие гармоники ультразвуковых сигналов и напряжения гетеродина, выполнены соответственно на цепочках R5-С2 и R6-С3.

Гетеродин собран на микросхеме DA1. Плавную перестройку частоты обеспечивает потенциометр R14, “укладка” диапазона осуществляется изменением сопротивления резистора R13 (сверху по частоте) и применением потенциометра с иным сопротивлением (снизу).

Ультразвуковой сигнал и напряжение гетеродина подаются на смеситель, выполненный на полевом транзисторе VT3, в котором подавляется суммарная частота, а разностная, находящаяся в диапазоне звуковых частот, выделяется и подается через ФНЧ С6-С7-R11 на УНЧ. Его схема приведена на рис. 3. УНЧ выполнен на двух транзисторах КТ3102Е и микросхеме К174ХА10. Полоса пропускания ограничена сверху



Рис. 1. Блок-схема ультразвукового приёмника



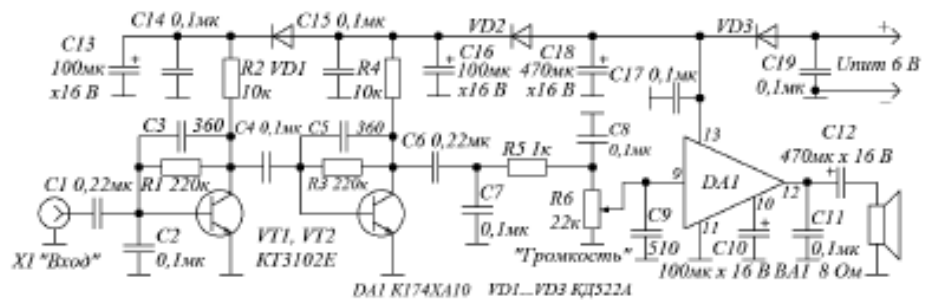
**Рис. 2.** Ультразвуковой приёмник. Блок гетеродина - предварительного усилителя - смесителя. Схема принципиальная электрическая

частотой около 3...4 кГц, "развязка" по питанию между каскадами осуществляется диодами, самовозбуждение выходного каскада (вследствие длинных проводов к громкоговорителю и ВЧ наводок) устранено подключением конденсатора емкостью 0,1 мкФ параллельно выходу УНЧ.

Диод VD1 служит для защиты устройства от ошибочного подключения источника питания в неверной полярности и элементом "развязки" по питанию высококачественного УНЧ. Приёмник питается от аккумулятора напряжением 6 В, потребляемый ток в режиме покоя – 21 мА.

Приёмник собран на двух печатных платах из двустороннего фольгированного стеклотекстолита. На одной из них (рис. 4) расположены усилитель ультразвукового сигнала, гетеродин и смеситель за исключением ультразвукового микрофона, диода VD1 и резистора R11 (рис. 2). Два последних элемента являются соединительными цепями с платой УЗЧ (рис. 6). Расположение элементов на указанных печатных платах приведено соответственно на рис. 5 и рис. 7.

Слой фольги со стороны установки деталей соединен с общим проводом и используется как экран, отверстия для выводов деталей, не соединенных с общим проводом, раззенкованы. Конденсатор C11 (рис. 2) припаян непосредственно к выводам микросхемы DA1 со стороны проводников, а корпус полевого транзистора VT3 установлен в отверстие в плате (выводами вверх).



**Рис. 3.** Ультразвуковой приёмник. Блок усилителя звуковых частот (УЗЧ). Схема принципиальная электрическая

Изготовленное устройство практически не требует настройки, при применении исправных деталей и отсутствии ошибок в монтаже приёмник начинает работать сразу. Проверить генерацию гетеродина можно на слух, подключив R14 сопротивлением 100 кОм (при большом сопротивлении этого резистора на выходе гетеродина присутствуют уже звуковые частоты). Затем, для большего удобства установки частоты, сопротивление этого потенциометра следует выбрать в пределах 10...22 кОм. В авторском варианте диапазон перестройки приемника с потенциометром сопротивлением 10 кОм составил 19,5...98 кГц.

Сначала ко входу ультразвукового усилителя вместо микрофона UST-40 был подключен капсюль ЗП-22, а на выходе УНЧ – динамическая головка, приёмник устойчиво самовозбуждался из-за акустической "завязки". Использование вместо громкоговорителя головных телефонов лишь частично решало проблему. Установка эффективного фильтра верхних частот, подавляющего НЧ сигналы, поступающие с капсюля

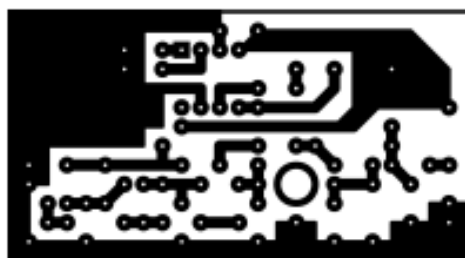


Рис. 4. Ультразвуковой приёмник. Эскиз монтажной платы блока предварительного усилителя - гетеродина - смесителя. Вид со стороны печатных проводников. Размеры: 60x32,5x1,5 мм

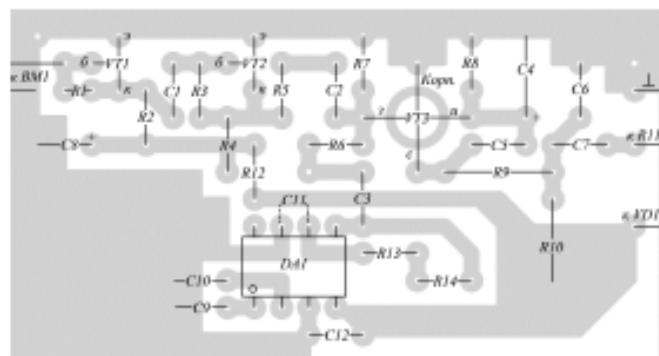


Рис. 5. Ультразвуковой приёмник. Эскиз монтажной платы блока предварительного усилителя - гетеродина - смесителя. Вид со стороны установки деталей

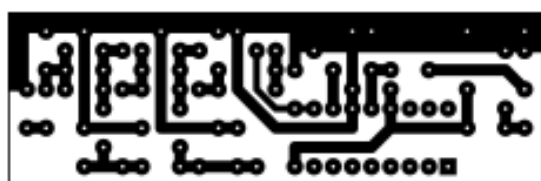


Рис. 6. Ультразвуковой приёмник. Эскиз монтажной платы блока усилителя ЗЧ. Вид со стороны печатных проводников. Размеры: 70x22,5x1,5 мм

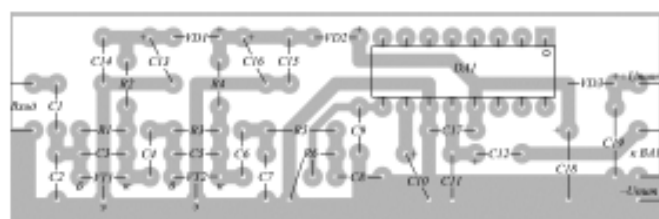


Рис. 7. Ультразвуковой приёмник. Эскиз монтажной платы блока усилителя ЗЧ. Вид со стороны установки деталей

ЗП-22, который предназначен для работы в диапазоне низких частот и ослабляет ультразвуковые колебания, затруднялась необходимостью подавления возможных ВЧ наводок на входе приёмника с помощью фильтра нижних частот. Применение двух последовательно включенных фильтров привело бы к затуханию полезного сигнала, увеличению уровня собственных шумов, усложнению устройства и необходимости увеличения коэффициента усиления, а это снизило бы устойчивость устройства.

Проблема казалась неразрешимой, но... подключение специального ультразвукового микрофона UST-40 её мгновенно разрешило. При практически полном усилении по низкой частоте устройство перестало самовозбуждаться при работе не только с головными телефонами, но и с динамической головкой. Этот микрофон сам по себе служит полосовым фильтром, так что необходимость в дополнительных фильтрах сразу отпала. Микрофон был припаян непосредственно к печатной плате короткими проводами.

При конструировании устройства, имеющего небольшие размеры, придется размещать и микрофон, и динамик на одной плате. Во избежание акустической "завязки" и тот, и другой необходимо разнести на максимально возможное расстояние и установить на "амортизаторы", изготовленные из поролона или резины. Если планируется использовать "выносной" микрофон, то необходимо применять согласующие устройства как в узле микрофона, так и в приёмнике, из-за значительного ослабления сигнала. Емкость экранированного соединительного кабеля будет ослаблять сигнал тем больше, чем выше выходной импеданс микрофона и входной импеданс приёмника.

Корпус приёмника желательно изготовить из металла или хотя бы металлизировать, чтобы обеспечить экранировку от наводок, проникающих через электромагнитное поле напрямую, на выводы деталей устройства. Конструктивно микрофон лучше расположить снаружи, просунув его выводы через предназначенные для них отверстия в торцевой стенке корпуса. Можно расположить микрофон напротив микросхемы LM567, "утопив" его в корпус, но тогда между схемой гетеродина и ВМ1 придется установить экран. Если потребуется укорочение выводов ВМ1, то эту операцию нужно осуществлять очень осторожно, как, например, у кварцевого резонатора.

Оси микрофона и динамика разносятся так, чтобы обеспечить минимальное попадание гармоник и шума с выхода устройства на вход, что обеспечит устойчивость работы и максимальный динамический диапазон. Усиление в описываемом приёмнике может показаться избыточным (в оригинале применен усилитель лишь на одной микросхеме LM386 с коэффициентом усиления 20), но радиолюбитель по своему усмотрению сможет использовать этот запас.

Улучшения параметров устройства можно ожидать при использовании на входе малошумящих транзисторов, менее "шумного" гетеродина, балансного смесителя, набора полосовых микрофонов. При увеличении напряжения питания, например, до 9 В, может потребоваться подбор напряжения гетеродина и экранирование этого узла.

Радиолюбители-экспериментаторы на входе приёмника могут установить разъём для подключения сменных микрофонов-преобразователей, которые следует подключать без соединительных кабелей или применяя согласующие узлы. При проведении исследований ультразвукового спектра с использованием компьютера

или осциллографа на выходе приёмника следует установить буферный каскад. Такой же каскад требуется для подключения линейного входа магнитофона. В высококачественных ультразвуковых приёмниках обязательно следует экранировать всё устройство, а также устанавливать фильтры верхних и нижних частот.

Немного об экспериментах с ВД. Поскольку, особенно – зимой, летучих мышей в Сибири найти сложно, автору пришлось для испытания устройства изыскивать другие источники ультразвуковых колебаний. Поднёс на расстояние сантиметра к микрофону электронные наручные часы и, вращая ручку регулировки частоты, нашёл сигнал ГТИ частотой 32,687 кГц, который принимался на расстоянии до 20 см от микрофона (на шкале установки частоты сделал риску с соответствующей пометкой). Двигаясь по частоте выше и потирая палец о палец (так делают, когда речь идет о деньгах), нашёл участок, где это действие выглядит так, как будто идет обработка наждачной бумагой, причём спектр шуршания при перестройке частоты постоянно меняется. Есть частота, на которой шум имеет самую узкую полосу, что соответствует резонансной частоте микрофона UST-40. С помощью ГСС установил, что эта частота составляет 40,2 кГц. Шуршание газетной бумаги, полиэтиленовой пленки напоминает грохот, а потом удивляемся, почему это коты мчатся прочь, стóит встряхнуть полиэтиленовый пакет. Стоило взять куртку, как металлическая пряжка её пояса, находящаяся в 2 м от прибора, захлопотала так, как будто я ударил ею по микрофону. Вдохи и выдохи ртом, профессиональное звукооператорское “тсс...” ничего не дали, но стоило вдохнуть через нос, такие шумы и переливы услышал...

Звукооператоры могут получить от ВД кладёз звуков – из миниатюрного бубенчика можно “выжать” звук большого колокола, перекачивание шайб подобно звону цепей...

Проверил действие доплеровского сдвига частоты при приближении источника сигнала (капсуля ЗП-22, подключенного к ГСС) к микрофону и удалении от него. Затем с помощью движения рук создал ситуацию и прослушал звуковую картину, которая возникает в зоне действия ультразвукового сигнала. По-видимому, на эту аномалию и реагируют летучие мыши. Очевидно, что на этом принципе можно создать охранную систему. С другой стороны, определенный интерес представляет ультразвуковая система связи, передачи данных или сигнализации. В такой системе

используются ультразвуковые, а не электромагнитные волны, и, соответственно, отсутствуют запреты и ограничения, накладываемые службами радиоконтроля.

Вращая ручку установки частоты прибора, на частоте 52,5 кГц обнаружил помеху. Это оказалась наводка на вход приёмника из сети переменного тока через свернутый провод удлинителя. В этой ситуации не помог даже сетевой фильтр “Pilot-L”.

В общем, техника ультразвукового приёма всё ещё ждёт экспериментаторов.

При сборке ультразвукового приёмника, думаю, будут полезны шаблоны плат, разработанные в среде программы Sprint Layout 6.0, которые прилагаю для установки на сайт Редакции. Перед изготовлением плат, оцените размеры имеющихся деталей и приведите рисунки плат с ними в соответствие (например, с деталями SMD – для поверхностного монтажа). Резисторы можно монтировать вертикально, но, желательно, чтобы сигнальные их выводы или выводы с большей амплитудой усиливаемых колебаний были повернуты в сторону платы. На выходе УЗЧ, вместо конденсатора С11, можно установить традиционную цепочку, включив последовательно с С11 резистор сопротивлением 1 Ом. А в качестве С11 на плате генератора можно применить SMD-конденсатор, впаяв его между проводниками. Для исключения модулирования выходного сигнала УЗ приёмника сигналами местных радиостанций, все диоды VD1...VD3 “развязаны” в широкой полосе частот тандемами из оксидных и постоянных конденсаторов довольно большой ёмкости, но, следует обратить внимание, что соединительные провода по питанию должны быть небольшой длины и/или развязаны намоткой этими проводами на ферритовую трубку (до заполнения), которая размещается непосредственно у приёмника или внутри его корпуса. Эта мера применяется лишь в случае появления сигналов местных радиостанций на выходе УЗ приёмника, который должен быть размещён в металлическом или металлизированном корпусе. Ещё лучше (и в смысле использования приёмника на природе) применить не сетевое, а автономное питание от гальванических батарей или аккумуляторов. Соединения на платах фольги со сторон деталей можно осуществить, пропаивая выводы деталей с двух сторон плат.

Желаю успеха в общении с Природой!

Рисунки печатных плат (файл [uzp\\_lay.zip](#)) вы можете загрузить с сайта нашего журнала:

<http://www.radioliga.com> (раздел “Программы”)

#### Литература

1. <http://pwl.netcom.com/~t-rex/SBD2.html>
2. [http://njas.org/projects/bat\\_detector/img/popule1\\_orig\\_lg.gif](http://njas.org/projects/bat_detector/img/popule1_orig_lg.gif)
3. <http://www.bats.org.uk/>
4. <http://www.biology.leeds.ac.uk/staff/dawa/bats/Detector.htm>
5. <http://www.magenta2000.co.uk/kits/861.htm>

