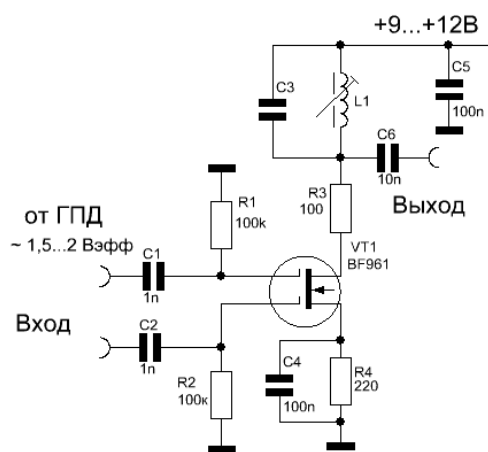


# Простой приемник наблюдателя на двухзатворных полевых транзисторах

Сергей Беленецкий, US5MSQ

Современные двухзатворные полевые транзисторы (ДПТ), например импортные серий BF9xx, доступны и дешевы, имеют малые шумы и большую крутизну, относительно малый разброс параметров и при этом хорошо защищены от статики. Смесители на ДПТ получаются исключительно простые и эффективные, типовая схема включения показана на рис.1. Напряжение сигнала подается на первый затвор, а напряжение гетеродина плавного диапазона (ГПД) – на второй. Максимальный динамический диапазон (по интермодуляции - порядка 70дБ, по блокированию – более 90дБ) получается при близком к нулю напряжении смещения на затворах. Высокое выходное сопротивление (порядка 10-20 кОм) очень хорошо согласуется с широко распространенными магнитоотрицательными ЭМФ на частоты порядка 500 кГц, а малый ток стока (порядка 1-1,5мА) позволяет применить непосредственное включение обмотки возбуждения ЭМФ. При этом довольно большая крутизна преобразования (примерно 1,5...2мА/В) позволяет получить высокую чувствительность даже без УПЧ. Высокое входное сопротивление по обоим входам также существенно упрощает сопряжение с преселектором и ГПД.



На основе этих смесителей, используя завалившийся в тумбочке маловостребованный дисковый электромагнитный фильтр (ЭМФ) на 500кГц со средней полосой пропускания, за пару часов неспешной, в удовольствие, работы с паяльником автором был сделан очень простой как по схеме, так и наладке, достаточно чувствительный и помехоустойчивый супергетеродин. Приятно отметить, что и в наши дни создание простых радиоприемников для наблюдений за любительскими станциями привлекательно для многих радиолюбителей, о чем свидетельствует большой интерес, проявленный коллегами в процессе обсуждения на форуме [1]. Это и побудило меня разработать на одной и той же основе несколько вариантов КВ приемников, чтобы показать,

насколько простыми могут быть схемные решения при использовании ДПТ. Это самый простой (базовый) однодиапазонный вариант супергетеродинного приемника. Его принципиальная схема представлена на рис.2. Входной сигнал любительского диапазона 80 м (полоса частот 3,5...3,8 МГц) величиной не менее 1 мкВ поступает на регулируемый аттенюатор 0R1, выполненный на сдвоенном потенциометре. По сравнению с одиночным потенциометром подобное решение обеспечивает большую глубину регулировки ослабления (более 60дБ) во всем КВ диапазоне, что позволяет обеспечить оптимальную работу приемника практически с любой антенной. Далее сигнал поступает на входной двухконтурный диапазонный полосовой фильтр (ДПФ), образованный катушками индуктивности L1, L2 и конденсаторами C2, C3, C5, C6 с внешне-емкостной связью через конденсатор C4. Показанное на схеме подключение к первому контуру через емкостной делитель C2C3 рекомендуется для низкоомной антенны (четвертьволновый “луч” длиной около 20 м, диполь или “дельта” с фидером из коаксиального кабеля). Для высокоомной антенны в виде отрезка провода длиной значительно меньше четверти длины волны выход аттенюатора 0R1 подключают к выводу платы X1, соединенному с первым контуром (L1C2C3) входного фильтра через конденсатор C1. Способ подключения каждой антенны подбирают экспериментально по максимальной громкости и качеству приема.

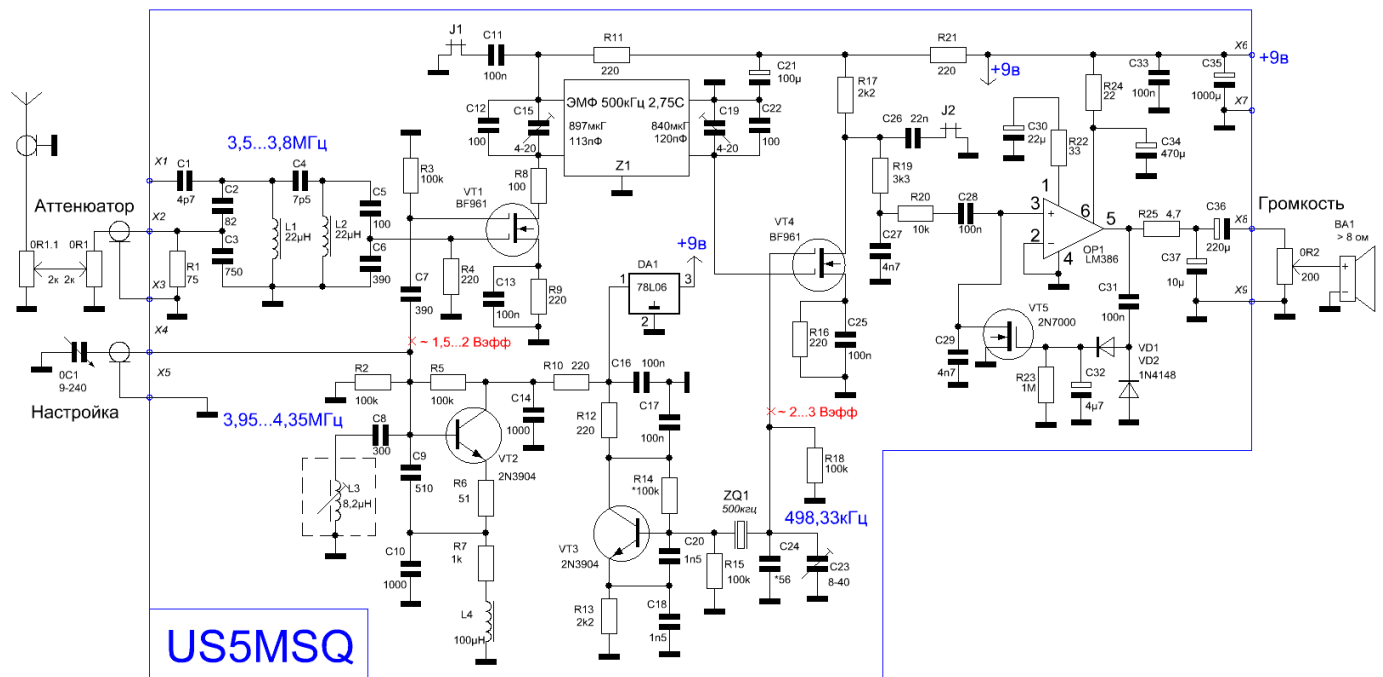


Рис.2 Принципиальная схема однодиапазонного приемника

Схема этого двухконтурного ПДФ оптимизирована под сопротивление антенны 50 ом и сопротивление нагрузки (R4) 200ом, При этом его коэффициент передачи за счет трансформации сопротивлений составляет примерно +3дБ, что обеспечивает реализацию высокой чувствительности – не хуже 1 мкВ. В виду того, что с приемником может применяться антенна любой, случайной длины, да и при регулировке аттенуатором сопротивление источника сигнала на входе ПДФ может меняться в широком диапазоне, чтобы получить в таких условиях достаточно стабильную АЧХ, по входу ПДФ установлен согласующий резистор R1. В качестве катушек применены готовые малогабаритные дроссели стандартных номиналов, которые дешевы, уже широко доступны и, главное, можно отказаться от столь нелюбимых многими начинающими радиолюбителями самодельных катушек. Выделенный ДПФ сигнал величиной не менее 1,4 мкВ подается на первый затвор полевого транзистора VT1. На второй его затвор поступает через конденсатор C7 напряжение гетеродина величиной порядка 1...3 Вэфф. Сигнал промежуточной частоты (500 кГц), являющийся разностью частот гетеродина и сигнала, величиной порядка 25...35 мкВ выделяется в цепи стока смесителя контуром, образованным индуктивностью обмотки ЭМФ Z1 и конденсаторами C12C15. Развязывающие цепочки R11C11 и R21C21 защищают общую цепь питания смесителей от попадания в нее сигналов гетеродина, промежуточной и звуковой частоты. Первый гетеродин приемника выполнен по схеме емкостной трехточки (вариант Клаппа) на транзисторе VT2. Контур гетеродина составлен из катушки индуктивности L3 и конденсатора C8,C9,C10. Частоту гетеродина можно перестраивать (с некоторым запасом по краям) в диапазоне 4000-4300 кГц конденсатором переменной емкости (КПЕ) OC1. Резисторы R2,R5 и R7 определяют и жестко задают (за счет глубокой ООС) режим работы транзистора по постоянному току, чем и обеспечивается высокая стабильность частоты. Резистор R6 улучшает спектральную чистоту (форму) сигнала. Питание обоих гетеродинов +6в стабилизировано интегральным стабилизатором DA1. Цепочки R10C14C16 и R12C17 защищают общую цепь питания обоих гетеродинов и развязывают их друг от друга. Основную селекцию сигналов в приемнике выполняет ЭМФ Z1 с полосой пропускания 2,75 кГц со средней полосой пропускания. В зависимости от типа примененного ЭМФ селективность по соседнему каналу (при расстройке на 3 кГц выше или ниже полосы пропускания) достигает 60...70дБ. С его выходной обмотки, настроенной конденсаторами C19, C22 в резонанс на промежуточную частоту, сигнал поступает на детектор, который выполнен по схеме, аналогичной первому смесителю, на полевом транзисторе VT4. Его высокое входное сопротивление позволило получить минимально возможное затухание сигнала в ЭМФ основной селекции (порядка 10-12дБ), поэтому на первом затворе величина сигнала составляет не менее 8...10 мкВ. Второй гетеродин приемника выполнен на транзисторе VT3 почти по такой же схеме, что и первый, только вместо индуктивности применен керамический резонатор ZQ1. В этой схеме генерация колебаний возможна только при индуктивном сопротивлении

цепи резонатора, т.е. частота колебаний находится между частотами последовательного и параллельного резонансов. Нередко в подобных приемниках во втором гетеродине используют довольно дефицитный комплект - кварцевый резонатор на 500 кГц и ЭМФ с верхней полосой пропускания. Это удобно, но заметно удорожает приемник. В нашем приемнике в качестве частото задающего элемента применен широко распространенный керамический резонатор на 500кГц от пультов ДУ, имеющий достаточно широкий межрезонансный интервал (не менее 12-15кГц). Подстройкой емкости конденсаторов С23, С24 второй гетеродин легко «тягается» по частоте в диапазоне, как минимум 493-503 кГц и, как показал опыт, при исключении прямых температурных воздействий обеспечивает достаточную для практики стабильность частоты. Благодаря этому свойству, для нашего приемника подходит практически любой ЭМФ со средней частотой около 500 кГц и полосой пропускания 2,1...3,1 кГц[2]. Это может быть, скажем, ЭМФ-11Д-500-3,0В или ЭМФДП-500Н-3,1 или ФЭМ-036-500-2,75С, использованный автором, с буквенными индексами В, Н, С. Буквенный индекс указывает, какую боковую полосу относительно несущей выделяет данный фильтр — верхнюю (В) или нижнюю (Н), или же частота 500 кГц приходится на середину (С) полосы пропускания фильтра. В нашем приемнике это не имеет значения, поскольку при налаживании частоту второго гетеродина устанавливают на 300 Гц ниже полосы пропускания фильтра, и в любом случае будет выделяться верхняя боковая полоса. Требуемую частоту второго гетеродина для конкретного ЭМФ с полосой пропускания П (кГц) можно определить по простейшим формулам

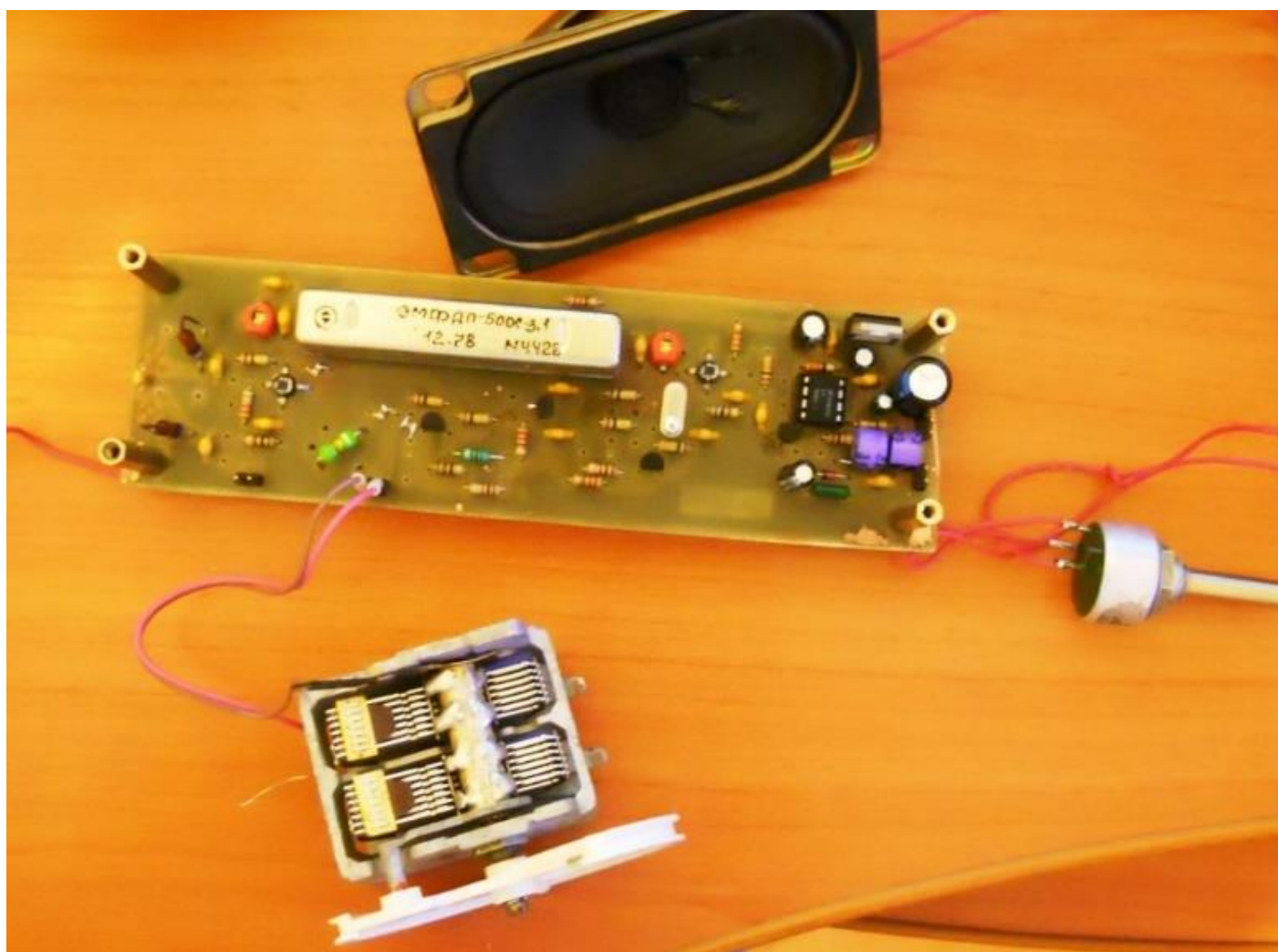
- для ЭМФ с верхней полосой  $F=500\text{кГц}$ ,
- со средней полосой  $F(\text{кГц})=499,7 - П/2$ ,
- с нижней полосой  $F(\text{кГц})=499,4 - П$ .

Напряжение сигнала второго гетеродина частотой около 500 кГц (в авторском экземпляре 498,33 кГц) и величиной порядка 1,5...3 Вэфф поступает на второй затвор VT4 и в результате преобразования спектр однополосного сигнала переносится с ПЧ в область звуковых частот. Коэффициент преобразования (усиления) детектора примерно 4. Выделенный вторым смесителем на резисторе R17 сигнал звуковой частоты величиной порядка 30-40 мкВ проходит через трехзвенный ФНЧ с частотой среза примерно 3кГц, образованный цепью С26,R19,С27,R20,С29. Очищенный от паразитных продуктов преобразования и остатков сигнала второго гетеродина сигнал поступает через разделительный конденсатор С28 на вход УЗЧ (вывод 3 DA2), сделанный на основе популярной LM386N-1[3]. Для получения требуемой чувствительности и обеспечения эффективной работы АРУ, коэффициент усиления УЗЧ повышен до 500 благодаря включению цепи R22, С30 в цепи ООС. Нагрузка УЗЧ - регулятор громкости подключается через дополнительный однозвенный ФНЧ (R25,С37) с частотой среза примерно 3кГц, дополнительно снижающий внеполосные шумы, что заметно повышает комфортность прослушивания эфира на современные широкополосные малогабаритные динамики или низкоомные телефоны, например компьютерные мультимедийные. Усиленный УЗЧ сигнал детектируется диодами VD1,VD2, и управляющее напряжение АРУ поступает в цепь затвора регулирующего VT5. Как только величина регулирующего напряжения превысит пороговое (примерно 1В), транзистор открывается и образованный им совместно с резистором R20 делитель напряжения за счет отличных пороговых свойств такого регулятора весьма эффективно стабилизирует выходной сигнал звуковой частоты на уровне примерно 0,65-0,7 Вэфф, что соответствует максимальной выходной мощности примерно 60 мВт, а на 1бонном – 30 мВт и приемник будет достаточно экономичным. При такой мощности современные импортные динамики с высоких КПД способны озвучить трехкомнатную квартиру, а вот для некоторых отечественных динамиков может показаться маловато, тогда можно повысить в 2 раза порог АРУ, установив в качестве VD1,VD2 красные светодиоды, при этом питание УНЧ нужно будет поднять до 12 В.

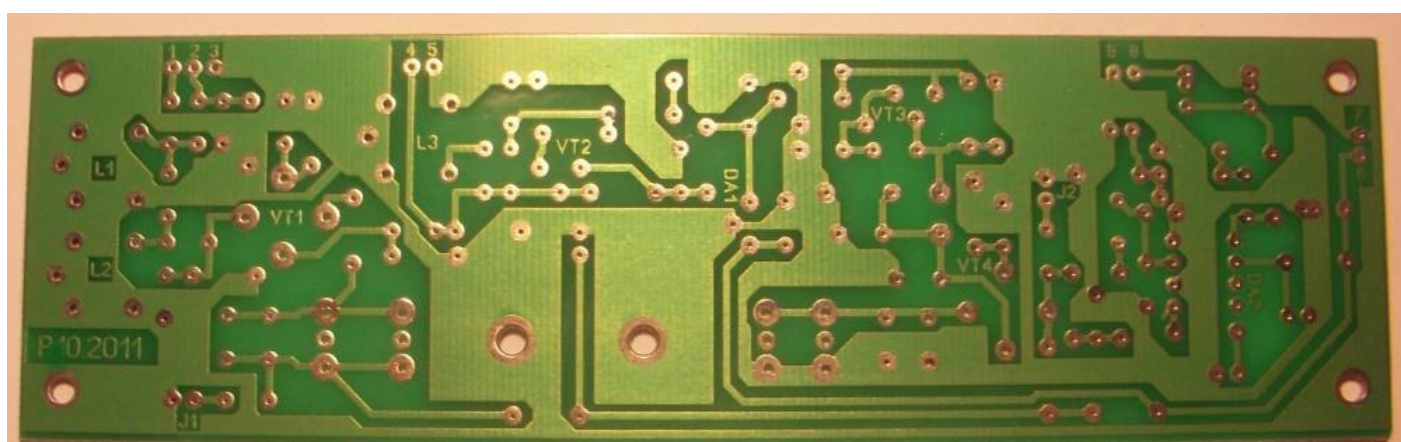
В режиме покоя или при работе на высокоомные головные телефоны приемник довольно экономичен - потребляет порядка 12 мА. При максимальной громкости звучания подключенной к его выходу динамической головки сопротивлением 8ом потребляемый ток может достигать 45 мА.

Блок питания годится любой промышленного изготовления или самодельный, обеспечивающий стабилизированное напряжение +9...12 В при токе не менее 50 мА. Для автономного питания удобно применять батарейки, размещенные в специальном контейнере или аккумуляторы.

Например, аккумулятора на 8,4 В размером с "Крону" и емкостью 200мА/час хватает более чем на 3 часа прослушивания эфира на динамик при средней громкости, а при применении высокоомных телефонов – более 10 часов.



Все детали приемника, кроме разъемов, переменных резисторов и КПЕ, смонтированы на плате из одностороннего фольгированного стеклотекстолита размером 45x160мм. Чертеж платы со стороны печатных проводников приведен на рис. 3, а расположение деталей – на рис.4.



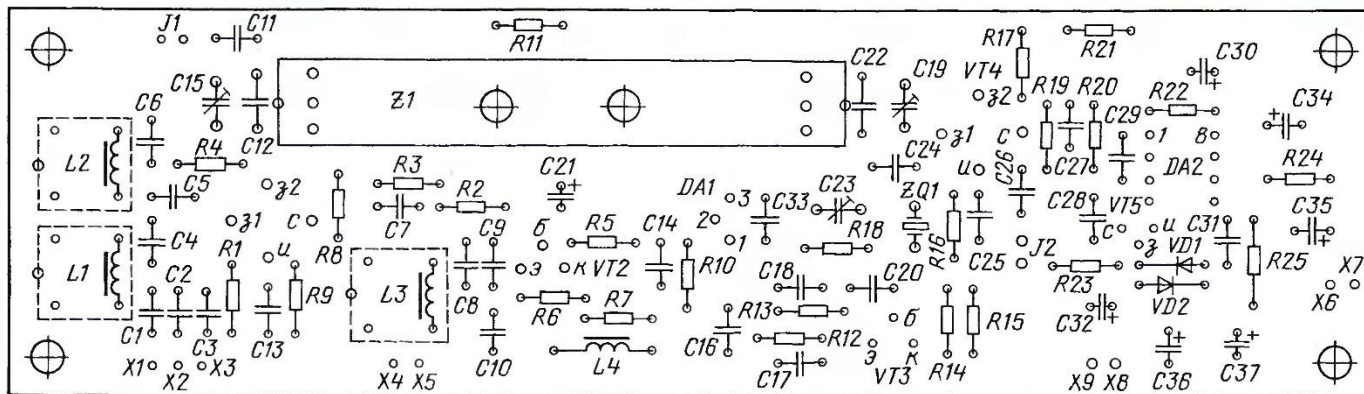
**Фото 35. Плата приемника на 2-х затворных транзисторах.**

Транзисторы VT1,VT4 могут быть любой из серий BF961, BF964, BF980, BF981 или отечественные КП327. Для некоторых из этих транзисторов может потребоваться подбор истоковых резисторов до получения тока стока 1...2 мА. Для гетеродинов подойдут импортные общецелевые



транзисторы n-p-n типа 2SC1815, 2N2222 или отечественные КТ312, КТ3102, КТ306, КТ316 с любыми буквенными индексами. Полевой транзистор VT1 2N7000 может быть заменен аналогами BS170, BSN254, ZVN2120а, КП501а. Диоды VD1, VD2 1N4148 можно заменить на любые кремниевые КД503, КД509, КД521, КД522. Постоянные резисторы — любого типа мощностью рассеивания 0,125 или 0,25 Вт. Детали, устанавливаемые навесным монтажом на шасси (см. рис.8), могут быть любого типа.

### Монтажная схема



Потенциометры 0R1 – сдвоенный, может иметь сопротивление 1-3,3кОм, 0R2 – 47-500 Ом. Конденсатор настройки 0C1 — желательно малогабаритный с воздушным диэлектриком с максимальной емкостью не менее 240пФ. При отсутствии такого конденсатора можно использовать малогабаритный КПЕ транзисторного радиовещательного приемника. Конечно, конденсатор настройки полезно было бы оснастить простейшим верньером с замедлением 1:3... 1:10. Керамические контурные конденсаторы малогабаритные керамические термостабильные (с малым температурным коэффициентом емкости (ТКЕ) — групп П33, М47 или М75) КД, КТ, КМ, КЛГ, КЛС, К10-7 или аналогичные импортные (дисковые оранжевые с черной точкой или многослойные с нулевым ТКЕ - МР0). Триммеры CVN6 фирмы BARONS или аналогичные малогабаритные. C26, C29 желательно термостабильные пленочные, металлопленочные, например серий MKT, MKP и аналогичные. Остальные керамические блокировочные и электролитические – любого типа импортные малогабаритные. Для катушки гетеродинной катушки L3 использован готовый каркас с ферритовым подстроечником 600нН и экраном от стандартных контуров ПЧ 465 отечественных транзисторных радиоприемников (в частности, от радиоприемника “Альпинист”), для которого формула расчета количества витков для получения требуемой индуктивности равно  $W=11*\sqrt{L[\text{мкГн}]}$ , в нашем случае для получения 8,2мкГц требуется 31 виток провода диаметром 0,17-0,27мм. После намотки катушки равномерно в 3х секциях внутрь каркаса ввинчивают подстроечник, и затем эта конструкция заключается в алюминиевый экран, при этом штатный цилиндрический магнитопровод не используют. Вообще, в качестве каркаса самодельных катушек любые доступные радиолюбителю, разумеется с соответствующей корректировкой печатных проводников:

- очень удобны и термостабильны импортные от контуров ПЧ 455кГц, подобные примененному в [3], подстроечником которого служит ферритовый горшок, имеющий резьбу на наружной поверхности и шлиц под отвертку, количество витков для получения требуемой индуктивности равно  $W=6*\sqrt{L[\text{мкГн}]}$ , в этом случае для получения 8,2мкГц требуется 17 витков провода диаметром 0,17-0,27мм.

- для популярных броневых сердечников типа СБ12а формула расчета количества витков для получения требуемой индуктивности равно  $W=6,7*\sqrt{L[\text{мкГн}]}$ , в этом случае для получения 8,2мкГц требуется 19 витков провода диаметром 0,17-0,27мм.

- если использованы готовые каркасы диаметром 7,5мм с подстроечниками СЦР и экранами от контуров ПЧ блоков цветности телеприемников, то при длине намотки 8мм (при малом числе витков намотку ведем виток к витку, а при большом числе витков - в навал) формула расчета количества витков для получения требуемой индуктивности равно  $W=14*\sqrt{L[\text{мкГн}]}$ , в этом случае для получения 8,2мкГц требуется 40 витков провода диаметром 0,17-0,27мм.

Как уже отмечалось выше, в ПДФ в качестве катушек индуктивности применены стандартные импортные малогабаритные дроссели типа ЕС24 и аналогичные. Разумеется, если приобрести готовые дроссели требуемой индуктивности проблематично, можно применить и в ПДФ самодельные катушки, рассчитав число витков по приведенным выше формулам. И наоборот, если возникнут трудности с намоткой самодельных катушек, в качестве L3 также можно применить готовый импортный дроссель 8,2мкГ. Наш коллега Г.Глухов (RU3DBT) при изготовлении этого приемника пошел таким путем (рис.5) и отмечает вполне удовлетворительную стабильность частоты ГПД[1]. В качестве дросселя L4 годится любой готовый индуктивностью в пределах 70-200мкГн, но можно применить и самодельный, намотав на ферритовом колечке диаметром 7-10мм проницаемостью 600-2000 20-30 витков (большее число витков соответствует меньшим значения диаметра и/или проницаемости).

**Налаживание.** Правильно смонтированный приемник с исправными деталями начинает работать, как правило, при первом же включении. Тем не менее, полезно провести все операции по наладке приемника в последовательности, изложенной ниже. Все регуляторы надо поставить в положение максимального сигнала, а сердечники катушек в L7, L8 в среднее положение. Сначала с помощью мультиметра, включенного в разрыв питания, проверяем, что потребляемый ток не превышает 12-15мА, в динамике должен прослушиваться собственные шумы приемника. Далее, переключив мультиметр в режим измерения постоянного напряжения, измеряем напряжения на всех выводах микросхем DA1, DA2 – они должны соответствовать приведенным в таблице 1

**Таблица 1**

вывод	Напряжение, В	№вывода DA1	Напряжение, В
Исток VT1	0,25	1	6,0
Сток VT1	8,1	3	9,0
Исток VT4	0,25	№вывода DA2	Напряжение, В
Сток VT4	6,1	1	1,29
Эм. VT2	2,1	3	0
Кол. VT2	5,5	5	4,43
Эм. VT3	2,1	6	8,90

Проведем простейшую проверку общей работоспособности основных узлов.

При исправном УНЧ прикосновение руки к выводу 3 DA2 должно вызывать появление в динамике громкого, рычащего звука. Прикосновение руки к общей точке соединения C27R19R20 должно привести к появлению такого же по тембру звука, но заметно меньшей громкости – это включилась в работу АРУ. Проверяем токи стоков ДПТ по падению напряжения на истоковых резисторах R9 и R16, если оно превышает 0,44 В, т.е. ток стока ДПТ превышает 2мА, нужно увеличивая сопротивление истоковых резисторов добиться уменьшения тока до уровня порядка 1-1,5мА. Для установки расчетной частоты второго гетеродина снимаем технологическую перемычку (джампер) J2 и вместо нее к этому разъему подключаем частотомер. При этом VT4 выполняет функцию развязывающего (буферного) усилителя сигнала второго гетеродина, что практически полностью устраняет влияние частотомера на точность установки частоты. Это удобно не только на этапе налаживания, но в дальнейшем, в процессе эксплуатации, позволит проводить оперативный контроль, а при необходимости и подстройку, частот гетеродинов без полной разборки приемника. Требуемой частоты добиваемся подбором C24 (грубо) и подстройкой триммера C23(точно). Возвращаем на место перемычку (джампер) J2 и аналогично, подключив частотомер вместо технологической перемычки (джампера) J1 проводим проверку, а при необходимости и укладку (подстройкой индуктивности L3), диапазона перестройки ГПД, который должен быть не уже 3980-4320 кГц. Если диапазон перестройки ГПД окажется излишне широк, что вполне вероятно при использовании КПЕ с большей максимальной емкостью, последовательно с ним можно включить

дополнительный растягивающий конденсатор, требуемую емкость которого надо будет подобрать самостоятельно. Для настройки в резонанс входной и выходной обмоток возбуждения ЭМФ подают (через конденсатор емкостью 20...100 пФ) с ГСС на первый затвор транзистора VT1 немодулированный сигнал частотой, соответствующую середине полосы пропускания ЭМФ (в авторском варианте - 500 кГц) и подбором величины конденсаторов C12, C22 (грубо) и точной подстройкой триммерами C15, C19 по максимуму выходного сигнала. При этом, во избежание срабатывания АРУ, уровень сигнала ГСС поддерживают таким, чтобы сигнал на выходе УНЧ не превышал 0,4Вэфф. Как правило, для ЭМФ неизвестного происхождения неизвестна даже ориентировочная величина резонансной емкости, а она, в зависимости от типа ЭМФ, может быть в пределах от 62 до 150пФ. Можно существенно облегчить настройку, если предварительно измерить индуктивность обеих катушек ЭМФ, например, посредством простой приставки [4]. Тогда резонансную емкость для каждой катушки (а индуктивность их отнюдь не одинакова, разница может достигать 10%, так в моем экземпляре ЭМФ индуктивность составила 840 и 897мкГн) легко определим по формуле

$$C[\text{пФ}] = 101320 / L[\text{мкГн}].$$

Если значения контурных элементов ПДФ соответствуют указанным на схеме с точностью не хуже +5%, дополнительной настройки не требуется. При самодельных катушках настройку ПДФ можно сделать по стандартной методике с использованием ГСС. Для нормальной работы приемника на диапазоне 80м желательно подключить наружную антенну длиной не менее 10-15м. при питании приемника от батарей полезно подключить заземление или провод противовеса такой же длины. Хорошие результаты дает использование в качестве заземления металлических труб водоснабжения, отопления или арматуры балконного ограждения в панельных железобетонных зданиях.