

## **ЭНЕРГЕТИКА, ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА**

УДК 621.396.21

А. М. Марков

### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИЗГОТОВЛЕНИЕ КОРОТКОВОЛНОВОГО ВСЕДИАПАЗОННОГО ТРАНСИВЕРА**

*Рассматриваются вопросы проектирования и изготовления коротковолнового трансивера (приёмопередатчика), предназначенного для проведения радиосвязей на всех любительских диапазонах рабочих частот. Приводится описание и технические параметры основных компонентов трансивера, выполненного на современной элементной базе.*

**Ключевые слова:** диапазон рабочих частот, входное сопротивление приёмника, коэффициент шума, диапазон автоматической регулировки усиления (APУ), избирательность, динамический диапазон по интермодуляции, всдиапазонный спортивный трансивер.

Основой любительской коротковолновой радиостанции служит приемопередатчик, или трансивер. От его качества во многом зависят возможности радиостанции, а значит, и спортивные достижения, её владельца. Приемный тракт трансивера должен уверенно выделить полезный сигнал из многочисленных помех, а передающий формировать высококачественный сигнал с предельно узким частотным спектром, создавая минимум помех в соседних каналах.

Способность приемно-передающей аппаратуры выполнять свои функции, её качество характеризуют рядом поддающихся точным измерениям параметров. Это относится как к профессиональной, так и к любительской аппаратуре. На параметры профессиональной аппаратуры существуют государственные стандарты, для спортивной — подобных стандартов нет. Тем не менее, условия работы в современном любительском эфире, отличающемся высокой загруженностью, предъявляют к спортивной аппаратуре очень высокие требования. Любительская КВ аппаратура строится так, чтобы обеспечить возможность наиболее дальних связей. ГОСТ на «Устройства приемные магистральной радиосвязи ...» [1, С. 10–15] регламентирует следующие параметры, пригодные для оценки спортивных приемников.

*Диапазон рабочих частот* для приемников первого и второго классов установлен равным 1,5–30 МГц. Для спортивных приемников достаточно перекрывать любительские диапазоны, в которых ведут передачи как российские, так и иностранные радиолюбители, а именно: 1,75–2,0 МГц (1,8 МГц или 160 м); 3,5–3,9 МГц (3,5 МГц или 80 м); 7,0–7,2 МГц (7 МГц или 40 м); 10,075–10,150 МГц (10 МГц или 30 м); 14,0–14,35 МГц (14 МГц или 20 м); 18,068– 18,168 МГц (18 МГц

или 16 м); 21,0–21,35 МГц (21 МГц или 15 м); 24,89–24,99 МГц (24 МГц или 12 м); 28,0–29,7 МГц (28 МГц или 10 м).

*Вид принимаемых излучений.* Из всех перечисленных в [1, С. 15–20] видов излучений российские радиолюбители используют на КВ следующие (в скобках даны названия и сокращения, принятые в литературе):

A1A — амплитудная манипуляция (телеграф, ТЛГ, CW);

J3E — однополосная модуляция с подавленной несущей (ОБП, SSB);

A3E — двухполосная модуляция с полной несущей (амплитудная модуляция, AM);

F1B — частотное телеграфирование (радиотелетайп, ЧТ, RTTY).

*Входное сопротивление приемника* должно быть 75 или 50 Ом при несимметричном входе и 200 Ом — при симметричном. При этом должен быть обеспечен коэффициент стоячей волны (КСВ) в фидере не более 3. В любительской аппаратуре обычно применяют коаксиальные фидеры с указанными стандартными значениями волновых сопротивлений, поэтому симметричный вход, как правило, излишен.

*Коэффициент шума* для приемников с одноконтурной входной цепью установлен не более 10, 12, 15 дБ (здесь и в дальнейшем три значения параметров соответствуют приемникам I, II и III классов), а при входной цепи в виде трехконтурного полосового фильтра — не более 15, 17, 20 дБ.

*Диапазон автоматической регулировки усиления (АРУ)* при изменении выходного уровня на 6 дБ установлен не менее 100, 70, 60 дБ, а диапазон ручной регулировки усиления (РРУ) — не менее 80, 74, 54 дБ. Уровень излучения гетеродинов на антенном входе, нагруженном на сопротивление 75 Ом, не более 10, 20, 20 мкВ.

*Избирательность.* ГОСТ не нормирует односигнальную избирательность по соседнему каналу, которая зависит, прежде всего, от амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) фильтров основной селекции в тракте ПЧ. Неравномерность АЧХ в полосе пропускания основного канала тональной частоты допускается не более 3 дБ для приемников первых двух классов и 6 дБ — для третьего.

*Входные цепи приемников, или преселекторы,* решают задачу ослабления приема на большинстве побочных каналов, а также согласования входного сопротивления приемника с волновым сопротивлением фидера антенны. Линейность амплитудной характеристики преселектора должна быть не хуже, чем у следующего за ним первого смесителя. Перестраиваемый преселектор можно назвать традиционным — он широко и успешно применяется на протяжении более пяти десятилетий. Обычно достаточную избирательность при простой схеме и конструкции обеспечивают трехконтурные фильтры сосредоточенной селекции (ФСС), выполненные из катушек индуктивности с добротностью 50–100.

*Усилители радиочастоты* используют в составе преселектора для улучшения чувствительности приемника. Крайне желательно обойтись вообще без УРЧ. Для этого нужно, чтобы на верхних частотах КВ диапазона коэффициент шума цепи пассивный преселектор — смеситель был не хуже 12–15 дБ, что вполне осуществимо. Если он достигает лишь около 20 дБ, можно применить широкополосный УРЧ с полосовым фильтром 21–30 МГц на входе, включаемый в случае необходи-

мости только на сравнительно тихих высокочастотных диапазонах перед основным преселектором [2, С. 44–49].

*Смесителем частот* называют электрическую цепь, создающую спектр комбинационных частот при подаче на нее двух или более сигналов разных частот. Смесители служат для изменения частоты исходных колебаний путем сложения или вычитания с частотой несущей, вырабатываемой вспомогательным генератором или гетеродином.

*Гетеродинами* называют генераторы гармонических колебаний, используемые для преобразования частоты. В спортивной аппаратуре используют гетеродины на основе автогенераторов с параметрической и кварцевой стабилизацией, а также синтезаторы частот как прямого синтеза, т. е. использующие исключительно умножение, деление и преобразование частоты, так и косвенного — на основе колец фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ).

В диапазонных генераторах КВ диапазона, используемых в гетеродинах трансиверов с одной ПЧ, применяют LC-контуры, добротность которых определяется практически только добротностью катушки индуктивности. Однако на частотах УКВ диапазона вполне приемлемые размеры имеют коаксиальные резонаторы, добротность которых нетрудно довести до нескольких тысяч. Необходимую стабильность частоты УКВ генератора можно обеспечить путем изготовления жесткой конструкции коаксиальной линии и конденсатора переменной емкости (КПЕ). Получить затем необходимые гетеродинные частоты можно путем деления частоты УКВ генератора с помощью цифровых делителей, выполненных на скоростных ЭСЛ-микросхемах. Микросхемы распространенной серии К500 обеспечивают деление частот до 205–210 МГц, серии К1500 примерно до 350 МГц. Относительный уровень собственных шумов делителей на ЭСЛ-микросхемах около (150–160) дБГц, что достаточно для гетеродинов приемников с реальной избирательностью до 120 дБ.

Частоту гетеродина обычно выбирают ниже частоты сигнала при работе на ВЧ диапазонах 14 МГц и выше, а на НЧ диапазонах — выше частоты сигнала. Это обеспечивает прием и передачу нижней боковой полосы на НЧ диапазонах и верхней — на ВЧ при неизменной частоте опорного генератора детектора приемника и балансного модулятора однополосного тракта передачи. Применив в гетеродине делитель с переменным коэффициентом деления (ДПКД), можно так подобрать коэффициенты деления  $K_d$  и выбрать такой диапазон перестройки УКВ генератора, что будет обеспечено перекрытие всех любительских диапазонов при неизменном диапазоне перестройки УКВ генератора.

*Фильтры основной селекции* обеспечивают избирательность приемников по соседним каналам. Фильтр должен обеспечивать небольшое затухание в полосе пропускания при минимальной его неравномерности, высокое затухание в полосе задерживания, узкую переходную область от полосы пропускания к полосе задерживания.

В качестве ФОС используют электромеханические фильтры (ЭМФ). Особенно популярны наборы ЭМФ с номинальной частотой 500 кГц, имеющие в своем составе фильтры с полосами пропускания от 0,3 до 10 кГц. Электромеханические

фильтры в значительной степени удовлетворяют требованиям, предъявляемым к ФОС. Затухание в полосе пропускания составляет обычно 4–10 дБ при его неравномерности не более 6 дБ. Их затухание монотонно возрастает по мере удаления от полосы пропускания и достигает 100 дБ и более.

Из доступных радиолюбителям в наибольшей степени отвечают ранее перечисленным требованиям кварцевые ФОС. Разнообразные полосовые фильтры как из дискретных резонаторов, так и монолитные — на одной пластине — выпускаются промышленностью на частоты от единиц до нескольких десятков мегагерц. Наиболее популярны фильтры, выполненные по лестничным схемам.

Система автоматической регулировки усиления (АРУ) — неотъемлемый элемент высококачественного приемника и трансивера. Автоматическую регулировку усиления используют при приеме как телефонных, так и телеграфных сигналов. Для получения напряжения АРУ выпрямляют сигнал с выхода УПЧ или УЗЧ и сглаживают с постоянной времени зарядки порядка единиц или даже долей миллисекунды и постоянной времени разрядки, в зависимости от условий приема, порядка десятых долей или единиц секунд. Процесс установления в петле АРУ должен быть апериодическим, т. е. без значительных колебаний.

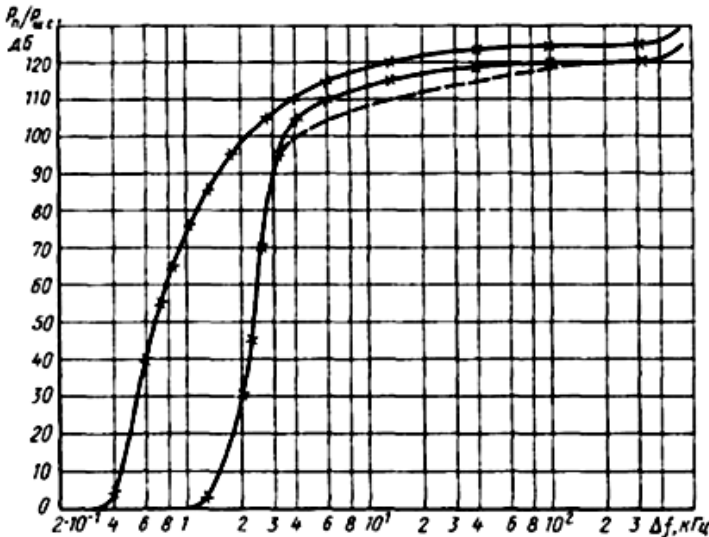


Рис. 1. Характеристики реальной избирательности приёмного тракта

Спроектированный и изготовленный трансивер предназначен для работы во всех КВ диапазонах, используемых радиолюбителями России: 160, 80, 40, 30, 20, 15, 10 м, и только на прием — в диапазоне 16 м. Входное сопротивление приемного и выходное сопротивление передающего трактов — 50 Ом. Коэффициент шума приемного тракта не более 13 дБ, что соответствует ЭДС чувствительности 0,63 мкВ при отношении сигнал-шум 10 дБ, полосе пропускания 2,5 кГц и пороговой чувствительности 127 дБм. Динамический диапазон по интермодуляции более 100 дБ, по блокированию, вызванному нелинейностью широкополосного тракта — более 140 дБ. Диапазон АРУ при изменении уровня выходного сигнала на 6 дБ бо-

лее 66 дБ, при изменении этого уровня на 18 дБ более 110 дБ. Диапазон ручной регулировки усиления более 130 дБ. Выходная мощность тракта ЗЧ при сопротивлении нагрузки 100 Ом — 200 мВт. Дрейф частоты настройки через 30 мин после включения аппарата не более 100 Гц в час в диапазоне 10 м. Характеристики реальной избирательности приемного тракта при полосах пропускания 2,5 и 0,8 кГц, измеренные при фиксированном уровне шума +3 дБ по отношению к уровню собственных шумов, приведены на рис. 1.

Выходная мощность передающего тракта трансивера в режиме CW 9 Вт, пиковая в режиме SSB 7,5 Вт. Уровень гармоник в режиме CW не более — 24 дБ, в режиме SSB не более — 30 дБ. Уровень продуктов интермодуляции третьего и пятого порядков (в режиме SSB) при подаче измерительных сигналов на вход широкополосного тракта не превышает — 42 дБ по отношению к пиковой мощности (39 дБ к мощности одного из измерительных сигналов). Уровень комбинационных побочных колебаний не более — 60 дБ. Полоса SSB сигнала по уровням — 30, — 60 и — 90 дБ с выключенным ограничителем — 3, 13 и 60 кГц, при максимальной степени ограничения — 3,6, 18 и 80 кГц (измерено при загрузке шумовым сигналом). Полоса телеграфного сигнала при скорости передачи около 120 знаков в минуту по уровням — 60 и — 90 дБ и — 1 и 8 кГц. На рис. 2 представлена зависимость плотности мощности шумов передатчика в режиме CW (кривая 1) Там же для сравнения даны усредненные шумовые характеристики передающих трактов трансиверов IC730, TS930, TS430S в режиме CW, в которых в качестве гетеродинов применены цифровые синтезаторы частоты с обзорным диапазоном (кривая 2).

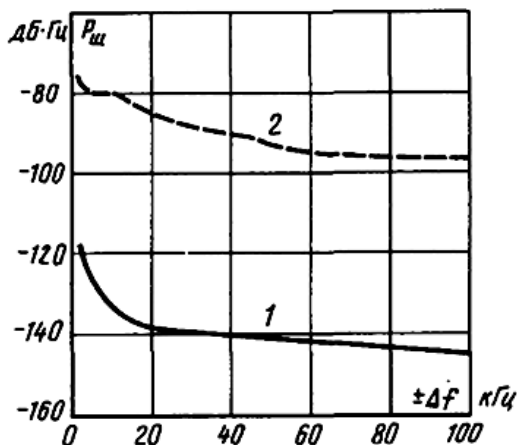


Рис. 2. Характеристика шумов передатчика в режиме CW

Мощность, потребляемая трансивером от сети при номинальной выходной мощности, не более 40 Вт. Размеры аппарата 277×163×340 мм (вместе с ручками управления). Масса 10 кг.

На рис. 3 приведена принципиальная схема фильтра основной селекции (ФОС). Кварцевые фильтры основной селекции выполнены по лестничной схеме.

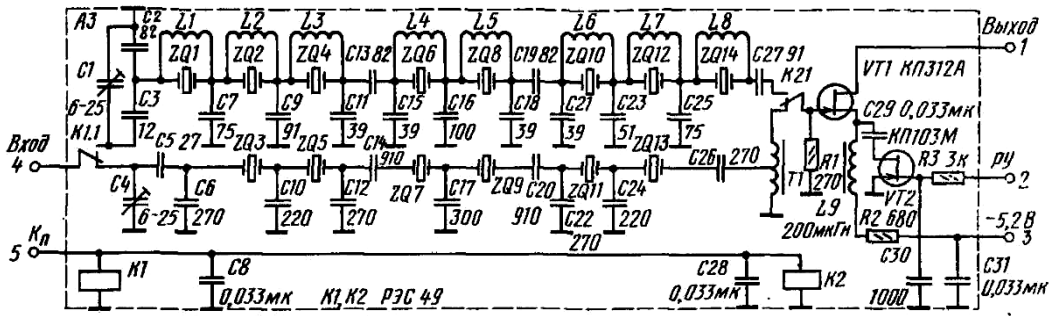


Рис. 3. Схема электрическая принципиальная ФОС

Резонаторы фильтра ZQ1 с полосой пропускания около 2,5 кГц (на схеме верхний), чтобы обеспечить указанную полосу и симметричную АЧХ, зашунтированы индуктивностями L1–L8, которые совместно с параллельными емкостями резонаторов образуют параллельные контуры, настроенные на частоту, близкую к ПЧ. Амплитудно-частотная характеристика фильтра ZQ2 с полосой пропускания около 0,8 кГц (нижний на схеме) получается достаточно симметричной и без компенсирующих индуктивностей.

Фильтры коммутируют с помощью реле K1 и K2, управляемых через транзисторный ключ на плате А9. Входы фильтров согласованы с выходным контуром ПЧ смесителя через емкостные делители C2C3 и C5C6. Фильтр ZQ1 нагружается на резистор R1 непосредственно, ZQ2 — через повышающий трансформатор T1.

Первый каскад УПЧ, расположенный в блоке ФОС, выполнен на малошумящем полевом транзисторе VT1. Усиление каскада регулируют, изменяя сопротивление канала транзистора VT2, включенного в цепь отрицательной обратной связи каскада. Такой регулировкой достигается высокая линейность амплитудной характеристики каскада при изменении его усиления.

Принципиальная схема генератора плавного диапазона (ГПД) приведена на рис. 4. Задающий диапазонный автогенератор ГПД выполнен по емкостной трехточечной схеме на малошумящем СВЧ транзисторе VT1 с заземленной базой. В колебательной системе автогенератора в качестве переменной индуктивности используется отрезок жесткой коаксиальной линии W1, нагруженной на сумму емкостей подстроечного конденсатора C3 и бесконтактного конденсатора переменной емкости (КПЕ) C4. С помощью КПЕ частота ГПД изменяется в интервале 179,5–196 МГц. Резистор R2 предотвращает самовозбуждение автогенератора на частоте резонанса индуктивности дросселя L1 и емкости конденсаторов в коллекторной цепи транзистора VT1. Этот транзистор работает в режиме АВ, постоянный ток через него определяется сопротивлением R3 и близок к 3 мА.

Эмиттерный повторитель на транзисторе VT2 выполняет функции буферного каскада, а также смещает постоянную составляющую напряжения на эмиттере транзистора VT1. Через конденсатор C2 к линии W1 подключен варикап VD1 узла расстройки.

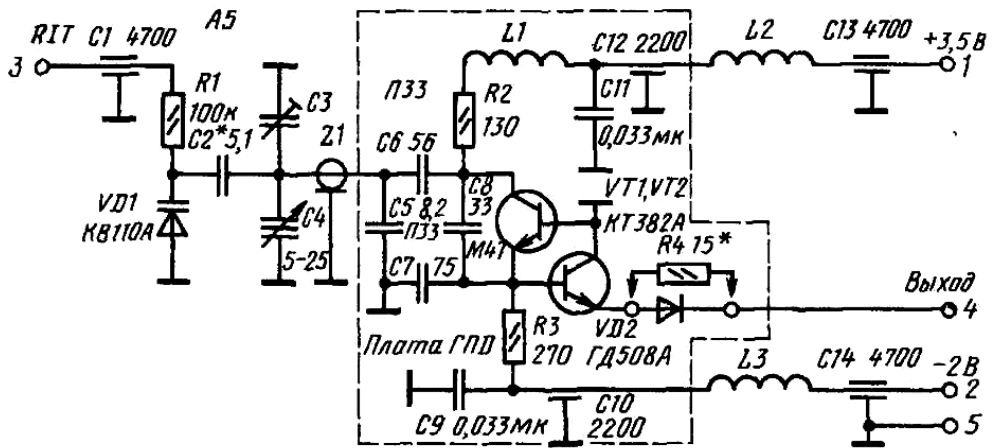


Рис. 4. Схема электрическая принципиальная блока ГПД

В блоке формирователя однополосного сигнала (ФОПС) (рис. 5) на микросхеме DD1 выполнен ключевой балансный модулятор. Под воздействием прямоугольной несущей частоты 500 кГц, поступающей на адресный вход А0 мультиплексора DD1, входы фильтра Z1 поочередно подключаются то к источнику ЗЧ сигнала, то к цепи «общий провод». Модулятор включается при поступлении на вывод 6 микросхемы DD1 напряжения низкого уровня из блока А19. Фильтр Z1 выделяет нижнюю боковую полосу, а также дополнительно подавляет перенесенные на ПЧ1 некомпенсированные в фазовом ограничителе гармоники ограниченного речевого сигнала. При указанных напряжениях питания модулятор практически не вносит искажений при размахе напряжения ЗЧ до  $\pm 3$  В.

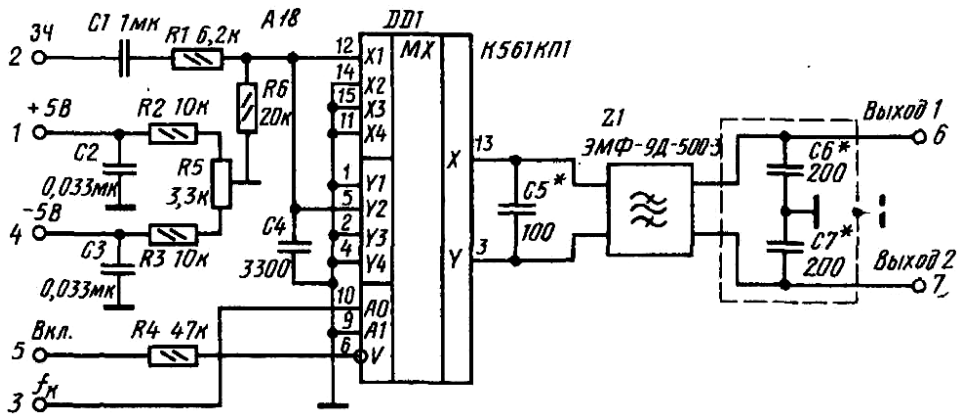


Рис. 5. Схема электрическая принципиальная ФОПС

Схема усилителя мощности (РА) представлена на рис. 6. Усилитель — трехкаскадный, все три каскада двухтактные, что облегчило достижение малого уровня интермодуляционных искажений и гармоник.

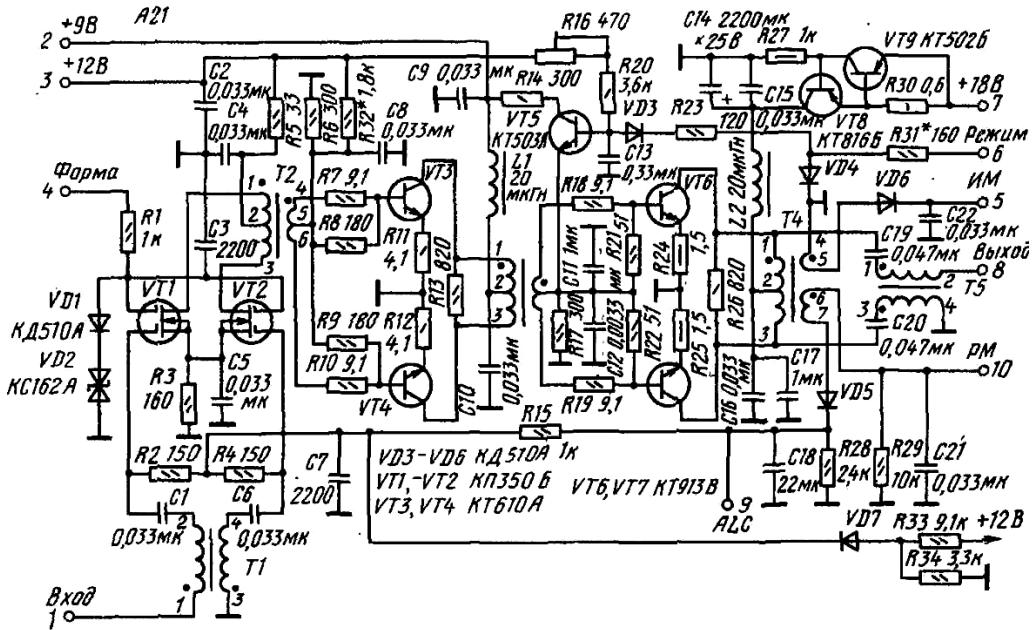


Рис. 6. Схема электрическая принципиальная усилителя мощности (РА)

Первый каскад выполнен на полевых тетрадах VT1 и VT2. Радиочастотный сигнал подается на вход каскада через симметрирующий трансформатор T1 типа линии, нагруженный на сумму сопротивлений резисторов R2 и R4. Через эти резисторы на первые затворы транзисторов VT1 и VT2 поступает напряжение из цепи регулировки усиления. Эта регулировка, как и в УПЧ приемного тракта, производится по насыщению проходных характеристик тетродов. На вторые затворы VT1 и VT2 через резистор R1 из блока A19 поступает напряжение трапецеидальной формы. Это напряжение плавно ограничено сверху с помощью цепи из диода VD1 и стабилитрона VD2, чем достигается плавность изменения уровня сигнала в верхней части телеграфных посылок. Второй каскад усиления выполнен на транзисторах VT3 и VT4, которые работают в режиме А при токе 100–120 мА. Линейность амплитудной и частотной характеристик каскада, а также его термостабильность повышены введением отрицательной обратной связи по току с помощью резисторов R11, R12 [3, С. 200–205].

Оконечный каскад выполнен на транзисторах VT6 и VT7. Он также охвачен отрицательной обратной связью по току путем включения резисторов R24, R25. Выход каскада подключен к нагрузке через симметрирующий трансформатор T5. Ток через окончательный каскад ограничен на уровне около 1А устройством на транзисторах VT8, VT9.

Большинство узлов аппарата выполнено на двусторонних печатных платах из фольгированного стеклотекстолита толщиной 1,5 мм. Внешний вид коротковолнового всдиапазонного спортивного трансивера представлен на рис. 7.





Рис. 7. Коротковолновый вседиапазонный трансивер. Внешний вид аппарата

### Заключение

В спроектированном и изготовленном коротковолновом вседиапазонном трансивере, в отличие от типовых подходов, в схеме активного смесителя широко применены логические элементы эмиттерно-связанной логики (ЭСЛ) серии К1500 с фронтами импульсов до 0,5 нс, что позволило существенно улучшить характеристики приёмного тракта. Кроме этого, генератор плавного диапазона (ГПД) выполнен с использованием отрезка жесткой коаксиальной линии и бесконтактного конденсатора переменной емкости (КПЕ). Такое техническое решение привело к повышению стабильности частоты и уменьшению уровня шумов, возникающих при изменении величины емкости КПЕ при настройке на волну радиостанции.

Реализация трансивера «в металле» позволила автору (UA1WFB) проводить радиосвязи с редкими радиостанциями, расположенными на всех континентах, включая Антарктиду, участвовать во Всесоюзных и Международных соревнованиях, показывая при этом хорошие результаты по количеству радиосвязей и дальности расстояний до корреспондента. Преимущества трансивера позволили автору завоевать Диплом первой степени за проведение радиосвязей в диапазоне 1,8 МГц в Международных соревнованиях «USSR DX Contest».

Дальнейшее усовершенствование приёмно-передающего аппарата связано с уменьшением шумов приёмного тракта и заменой аналогового генератора плавного диапазона (ГПД) на высокостабильный цифровой синтезатор частот.

Реализация такого технического решения позволит существенно улучшить технические характеристики трансивера, уменьшить количество «поражённых» точек и сделать эфир более прозрачным и объёмным.

**Литература**

1. ГОСТ 14663–83. Устройства приёмные магистральной радиосвязи гектометрового-декаметрового диапазона волн.
2. Дроздов В. В. Любительские КВ трансиверы. М.: Радио и связь, 1998. 176 с.
3. Бунин С. Г., Яйленко Л. П. Справочник радиолюбителя-коротковолновика. Киев: Техніка, 1984. 264 с.

*Об авторе(ах)*

**Марков Александр Михайлович** — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электропривода и систем автоматизации, электромеханический факультет, Псковский государственный университет, Россия.

E-mail: markov-am@mail.ru

*A. M. Markov*

**DESIGNING AND FABRICATION SHORT-WAVE HF TRANSCEIVER**

*They are considered questions of the designing and fabrications short-wave HF transceiver, intended for undertaking the radio communications on all amateur range worker frequencies. Happens to the description and technical parameters main component transceiver, run for modern element base.*

**Key words:** *range worker frequencies, input resistance receiver, factor of the noise, range of the automatic regulation of the reinforcement (ALC) and selectivity.*

*About the author(s)*

**Markov Alexander Mikhailovich**, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric drive and Systems of automations, Faculty of Electromechanical Engineering, Pskov State University, Russia.

E-mail: markov-am@mail.ru