

**ДВА СПОСОБА ПОВЫШЕНИЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ
БЫТОВЫХ РАДИОВЕЩАТЕЛЬНЫХ УКВ ЧМ-ПРИЕМНИКОВ**Е.М. Lakhmanova
V.T. Polyakov**TWO METHODS FOR INCREASING THE SENSITIVITY
OF HOME BROADCASTING VHF FM RECEIVERS**

Актуальнейшей проблемой в настоящее время является обеспечение информацией всего населения страны, особенно в отдаленных и труднодоступных районах Сибири, Дальнего Востока и Севера. Другой не менее важной проблемой является оповещение населения на случай природных или техногенных катастроф или других чрезвычайных ситуаций.

Обе эти проблемы решаются успешно при внедрении непосредственного УКВ ЧМ-вещания со спутников, поскольку УКВ ЧМ-приемники есть практически у всех, они очень дешевы и широкодоступны.

Проблема повышения их чувствительности также актуальна и без внедрения вещания со спутников, поскольку даже незначительное повышение их чувствительности расширяет радиус действия наземных УКВ ЧМ-радиостанций, установленных в крупных, а теперь уже средних и даже небольших населенных пунктах.

Сейчас радиовещание со спутников ведется параллельно с телевизионным вещанием на частотах СВЧ К-диапазона 10-11 ГГц. Для приема радиовещания со спутника необходимы параболическая зеркальная антенна («тарелка») и приемник, по сложности не уступающий телевизионному. Такие приемники состоят из высокочастотного усилительно-преобразовательного блока на 10 ГГц, устанавливаемого в фокусе параболической зеркальной антенны, кабе-

ля снижения и приемника (тюнера) на частоты 1-2 ГГц, устанавливаемого в помещении слушателя. Установка получается сложной, дорогой и малодоступной массовому радиослушателю.

По этой причине специальную установку для приема радио со спутника никто не делает. Радиовещательные программы принимают лишь иногда, и только в промежутках между просмотром телевизионных передач. Такое радиовещание никак нельзя назвать массовым. Массовым радиовещание будет только тогда, когда у слушателей будут доступные и дешевые радиоприемники, позволяющие принимать сигнал со спутников.

Заманчивой представляется идея осуществить радиовещание со спутника непосредственно в радиовещательных (РВ) УКВ-диапазонах 65–73 МГц и 88–108 МГц, используя стандарты наземного радиовещания с ЧМ (FM). Поскольку приемников на эти диапазоны у населения миллионы, спутниковое радиовещание сможет стать действительно массовым. Однако далеко не все бытовые УКВ-приемники имеют предельную чувствительность, ограниченную шумом.

Расчет показывает, что возможно непосредственное вещание со спутника в диапазоне УКВ ЧМ, и прием сигнала – даже на бытовые дешевые УКВ-приемники. Однако желательно максимально повысить чувствительность приемников для надежного приема.

Это может быть сделано двумя способами:

1) добавлением маломощного усилителя радиочастоты (УРЧ) к имеющимся бытовым приемникам с недостаточной чувствительностью;

¹ Студентка АНО ВО «Российский новый университет».

© Лахманова Е.М., 2016.

² Кандидат технических наук, профессор кафедры ТиИСиСС факультета ИСиКТ АНО ВО «Российский новый университет».

© Поляков В.Т., 2016.

2) сужением полосы пропускания приемника со стандартной 200 кГц до примерно 50 кГц с помощью обратной связи по частоте (ОСЧ) или, что лучше, использованием синхронно-фазового детектора (СФД) или приемника прямого преобразования с ФАПЧ.

Второй способ сложнее, зато он позволяет создать УКВ-радиоприемники ЧМ-сигналов, превосходящие по чувствительности примерно вдвое (на 6 дБ) все широко распространенные приемники, выпускаемые промышленностью различных стран, включая Малайзию, Японию и Китай.

В январе 2014 года Министерство связи и массовых коммуникаций РФ, Всероссийская государственная телевизионная и радиовещательная компания (ВГТРК) и Российская телевизионная и радиовещательная сеть (РТРС) приняли постановление о прекращении мощного радиовещания в России в диапазонах ДВ и СВ и существенном ограничении его в диапазоне КВ [1]. В результате огромные территории нашей страны остались совсем без информации, поскольку УКВ туда не распространяются, спутниковые приемники дороги и малодоступны, а об Интернете там знают только понаслышке.

В данное время действует сформулированная вначале 2000-х годов Концепция спутникового непосредственного вещания в РФ. В ней говорится, что спутниковое покрытие территории страны производится с трех геостационарных орбитальных позиций: 36°, 56° и 140° в.д. Из точки 36° в.д. вещание ведется на европейскую часть страны до Урала и Кавказа, аппарат в точке 56° в.д. обслуживает Урал и Сибирь примерно до Байкала, а восточные регионы получают сигнал с аппарата в точке 140° в.д. Для будущего использования зарезервированы плановые частотные каналы РСС в позициях 86° и 110° в.д. [2].

При непосредственном УКВ-вещании со спутника в стандартных УКВ-диапазонах 65–108 МГц наблюдается эффект вращения плоскости поляризации волн, проходящих сквозь плазму ионосферы при наличии геомагнитного поля Земли (эффект Фарадея).

Меры борьбы с этим эффектом давно и хорошо известны – это применение радиоволн с круговой поляризацией и соответствующих передающих и приемных антенн. Например, при использовании для приема турникетной антенны из двух скрещенных диполей, замирания сигнала, связанные с вращением плоскости поляризации, устраняются полностью.

В то же время, поглощение волн этих диапа-

зонов весьма мало и может достигать нескольких единиц децибел лишь в полярных районах. Достоинства метровых волн оценены начиная с самых ранних космических экспериментов. С тех пор и по настоящее время самая ответственная телеметрическая информация передается со спутников в метровом диапазоне волн на частотах 136...140 МГц. Там же передаются и карты погоды низкого разрешения с метеоспутников.

Рассмотрим способы повышения чувствительности приемника более детально. В тракте приемника кроме полезного сигнала всегда действует шум. Он складывается из так называемого космического шума, приходящего из космоса, атмосферного, промышленного (что очень актуально в современном мире из-за огромного количества различных электронных устройств) и внутреннего теплового шумов приемника [3].

Добавление каскада УРЧ на малошумящем транзисторе. Есть доступные транзисторы (КТ368, КП305) с коэффициентом шума 2...4 дБ ($F = 1,5...2,5$), что дает их шумовую температуру $T_{ш} = T_0(F - 1) = 150...450$ К. Это значительно меньше температуры неба $T_{н}$ в диапазоне 100 МГц (порядка 1000 К). Полоса пропускания приемника B равна 2×75 кГц (девиация частоты) плюс запас 50 кГц на неточность настройки пользователем, всего 200 кГц. Принимая общую шумовую температуру приемного тракта 1300 К, и полосу пропускания 200 кГц, по формуле Найквиста, найдём мощность шума, приведенную ко входу приемника:

$$N = k(T_{ш} + T_{н})B = 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 1300 \cdot 2 \cdot 10^5 = 3,6 \cdot 10^{-15} \text{ Вт, или } -110 \text{ дБм.}$$

В пересчете на напряжение на 75-омном входе получаем:

$$U_N = \sqrt{NR} = \sqrt{75 \cdot 4 \cdot 10^{-15}} = 0,55 \text{ мкВ.}$$

Для предельного приема радиовещательной передачи требуемое отношение сигнал/шум на выходе тракта радиоприемника (после частотного детектора, ЧД) должно быть порядка 20 дБ, при этом на входе приемника (до ЧД) достаточно превышения сигнала над шумом всего 5 дБ. В этом и состоит выигрыш от применения ЧМ. Тогда мощность сигнала $S = -110$ дБм и $U_S = 0,9$ мкВ.

Обычно у бытовых УКВ ЧМ-приемников заявляют чувствительность 5 мкВ, у лучших – 1,5...2 мкВ. Наилучшую чувствительность, по имеющимся данным, имеют автомагнитолы фирмы JVC – 0,9 мкВ. Как видим, они реализу-

ют предельную шумовую чувствительность и не требуют доработки.

Очень часто приходится иметь дело со значительным затуханием сигналов на трассе. Мощность, излучаемая в направлении приемника, качество приемника, уровень шумов в месте расположения приемника – всё имеет при этом большое значение. Минимальный уровень принимаемого сигнала зависит от усиления приемной антенны, потерь в фидере, собственных шумов приемника и полосы принимаемых частот.

Расчет затухания на трассе проведен для следующих реально существующих параметров. Длина волны $\lambda = 3$ м, расстояние $D = 36\,000$ км (геостационарный спутник), выигрыш приемной антенны – 8 дБ (диполь с рефлектором), выигрыш передающей антенны на спутнике – 20 дБ. Затухание сигнала на трассе распространения L в децибелах найдем по формуле, известной из учебников по распространению радиоволн:

$$L = -22 + 20\lg(\lambda/D) + G_1 + G_2 = -22 - 142 + 8 + 20 = -136 \text{ дБ.}$$

Мощность передатчика P , найденная по чувствительности приемника S и затуханию трассы L , составит всего $-110 + 136 = +26$ дБм, или 0,4 Вт.

Поскольку эта предельная мощность оказалась весьма малой, реально, исходя из энергетических ресурсов спутника, можно сделать от 10 до 40 Вт, избыток мощности пойдет на улучшение качества приема и/или дальнейшее упрощение приемника, увеличение числа каналов (передаваемых программ).

Так, например, отказ от направленной антенны при приеме и переход на обычную штыревую телескопическую антенну с выигрышем 2 дБ требует увеличения мощности передатчика на 6 дБ, или в 4 раза, т.е. до 1,6 Вт, передача двух-трех программ, соответственно, еще – в 2-3 раза.

В качестве усовершенствования бытового приемника было решено добавить УРЧ с целью доведения чувствительности приемника до предельно возможной, ограниченной шумом (рис. 1). Транзистор VT1 работает в так называемом барьерном режиме по схеме усилителя с общей базой (ОБ). Подстроечный резистор R2 регулирует ток транзистора, а следовательно, и усиление. Питается усилитель от одного элемента с напряжением 1,5 В. Ток транзистора можно найти по формуле $(U_{пит} - 0,5)/R$, где $U_{пит}$ – напряжение питания 1,5 В, 0,5 – падение напряжения на транзисторе, равное примерно 0,5 В, R – общее сопротивление резисторов R1 и R2. Контур

L1C2 настроен на среднюю частоту диапазона 98 МГц, или, точнее, на частоту нужной радиостанции. Положение отвода катушки подбирается для получения выходного сопротивления 75 Ом. Входное сопротивление транзистора в схеме с ОБ примерно такое же, что обеспечивает согласование с антенной.

На входе усилителя колебательный контур отсутствует, поскольку предполагается использование резонансной антенны – полуволнового турникетного диполя, уже настроенного на частоту сигнала.

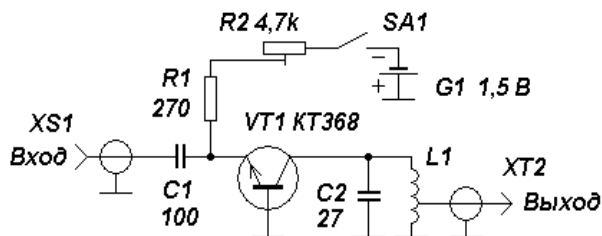


Рис. 1. Схема входного малошумящего усилителя

Коэффициент усиления зависит от добротности контура L1C2, нагруженного соединительным кабелем, и составит от нескольких единиц до примерно 20. Усилитель прост, содержит минимум деталей и может быть встроен в корпус самого радиоприемника или выполнен в отдельном корпусе в виде приставки к приемнику. Возможно также размещение усилителя около антенны, чтобы компенсировать потери сигнала в кабеле.

Сужение полосы пропускания приемника с использованием обратной связи по частоте (ОСЧ), или, что лучше, использование синхронно-фазового детектора (СФД) подробно рассмотрено в [4]. Так, если в предыдущем расчете мы положили полосу приемника $B = 200$ кГц, то после «размодуляции» сигнала с помощью ОСЧ или СФД можно сделать полосу приемника, например, 50 кГц, что в 4 раза меньше. Соответственно и мощность шума N будет вчетверо меньше. А чувствительность по напряжению – вдвое меньше, т.е. около 0,5 мкВ.

На основании проведенного исследования и полученных результатов можно сделать вывод о том, что применение обоих способов вместе (УРЧ + СФД) позволяет увеличить чувствительность бытового приемника в 6...8 раз, причем достаточно простыми и дешевыми средствами, а это открывает возможности дальнего приема наземных станций и непосредственного вещания УКВ ЧМ со спутников.

Литература

1. Радиовещание в России в 2013 году. Состояние, тенденции и перспективы развития // Отраслевой доклад Федерального агентства по печати и массовым коммуникациям. – М., 2014.
2. Локшин Б.А. Спутниковое непосредственное вещание: новые горизонты // Технологии и средства связи. – 2015. – № 2. – С. 60–65.
3. Кононович Л.М. Радиовещательный УКВ-прием. – М. : Радио и связь, 1977.
4. Поляков В.Т. Радиовещательные ЧМ-приемники с фазовой автоподстройкой. – М. : Радио и связь, 1983.