

Твердотельная электроника. Сложные функциональные блоки
РЭА. Материалы научно-технической конференции. – М.:
МНТОРЭС им. А.С. Попова, 2013.– С. 108-111.

КРЕМНИЙ-ГЕРМАНИЕВАЯ СВЧ СБИС СЕЛЕКТОРА КАНАЛОВ ПРИЕМНИКА СПУТНИКОВОГО ТЕЛЕВИДЕНИЯ

И.В. Малышев, Л.П. Ионов, В.Н. Павлов, В.В. Милехин, Р.С. Шабардин
ОАО «НИИМА «Прогресс», г. Москва

Последние годы все большую значимость приобретает цифровое телевидение (ЦТВ). Наряду с кабельным и наземным цифровым телевидением, спутниковое телевидение рассматривается как один из наиболее эффективных способов передачи телевизионной информации. В России спутниковое телевидение развивается в соответствии с европейскими стандартами DVB-S/S2.

За рубежом такими фирмами как Maxim, STMicroelectronics, Philips и другими для спутниковых селекторов каналов разработан ряд микросхем в диапазоне до 2.2 ГГц на основе КМОП и БиКМОП технологий. В общем случае эти схемы являются многофункциональными в достаточно широком частотном диапазоне и включают все основные элементы радиотракта – усиление, преобразование частот, выбор канала, фильтрация.

В докладе приводятся результаты разработки первой отечественной многофункциональной микросхемы DVB-S/S2 тюнера, разработанной на основе кремний-германиевой (SiGe) БиКМОП технологии с проектными нормами 0.25 мкм.

Упрощенная структура разработанной микросхемы приведена на рисунке 1. Микросхема представляет собой приемник прямого преобразования, т.е. непосредственно преобразует входной сигнал в базовую полосу частот для последующего аналого-цифрового преобразования и цифровой обработки.

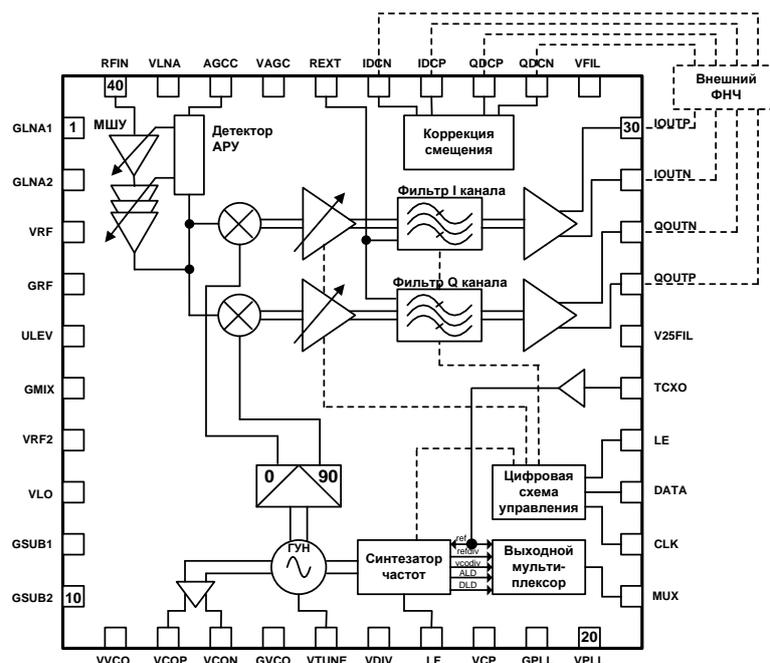


Рисунок 1 – Структурная схема DVB-S тюнера

Микросхема включает следующие основные блоки:

- высокочастотный (ВЧ) усилитель с переменным коэффициентом усиления и схемой автоматической регулировки усиления (АРУ);
- квадратурный смеситель;
- программируемый 2-канальный фильтр нижних частот с регулируемым усилением;
- синтезатор частот с широкополосным генератором, управляемым напряжением (ГУН) и схемой управления.

Одними из основных задач, решаемых при разработке приемников прямого преобразования, являются обеспечение согласования амплитуды и фазы квадратурных каналов, а также проблема смещения нуля [1]. Вследствие различных погодных условий, потерь сигнала в кабеле, а также различного усиления в преобразователях спутниковых антенн, уровень сигнала на входе микросхемы обычно может изменяться более чем на 65 дБ [2]. Такой широкий динамический диапазон требует наличия регулируемых усилителей.

В разработанной схеме смещение нуля компенсируется, во-первых, введением общей обратной связи по постоянному току (внешний ФНЧ) с выхода схемы на вход программируемого фильтра и, во-вторых, переносом основного усиления тракта на ВЧ усилитель.

ВЧ усилитель состоит из 5 усилительных каскадов и детектора АРУ. Входной малошумящий каскад обеспечивает усиление сигнала с малым коэффициентом шума, регулируемые каскады предназначены для реализации требуемого широкого диапазона перестройки усиления, выходной каскад обеспечивает требуемый уровень усиления.

Упрощенная электрическая схема входного малошумящего каскада показана на рисунке 2(а). Схема обеспечивает хорошее входное согласование (75 Ом) и низкий коэффициент шума в широком диапазоне

частот. Принципиальная электрическая схема регулируемого каскада приведена на рисунке 2(б). Регулировка усиления осуществляется за счет перераспределения токов в верхних дифференциальных парах (транзисторы Q5-Q12).

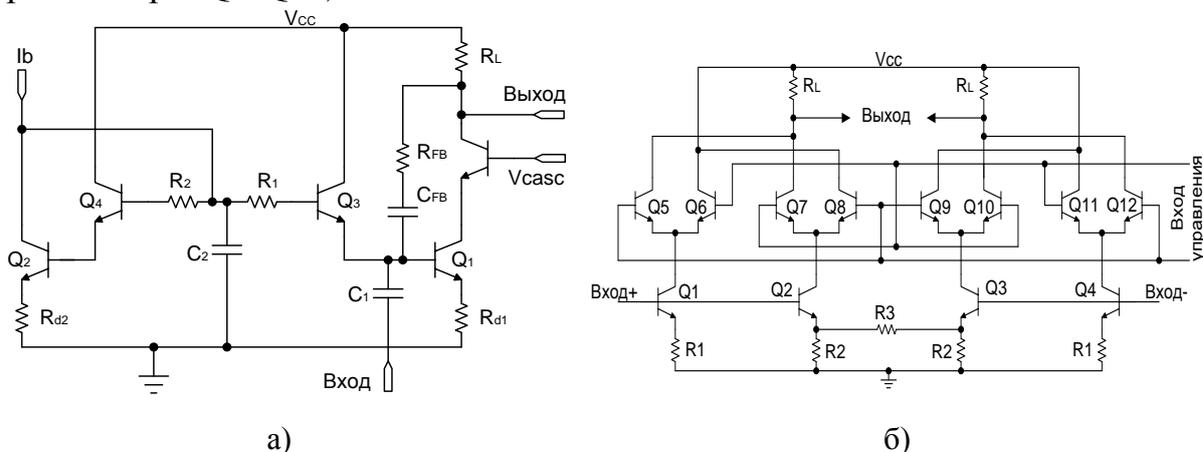


Рисунок 2 – Электрические схемы входного малошумящего каскада (а) и регулируемого каскада ВЧ усилителя (б)

Квадратурный смеситель построен на основе ячеек Джилберта и полифазного фильтра, работающего в широком диапазоне частот за счет многокаскадной структуры [3].

Синтезатор частот с ГУН, основан на классической схеме ФАПЧ с частотно-фазовым детектором и токовым ключом. Широкополосный ГУН позволяет получать сигнал с частотами 920-2200 МГц. Реализовать заданный частотный диапазон на одном генераторе затруднительно. Поэтому используется два генератора, отвечающих за верхний и нижний диапазоны. Каждый из двух генераторов имеет цепь аналоговой настройки частоты с помощью варикапов и цепи дискретной настройки, выполненные с помощью подключаемых или отключаемых емкостей.

Для формирования АЧХ основного канала в микросхему включен двухканальный программируемый фильтр нижних частот с регулируемыми усилителями. Фильтр представляет собой лестничный перестраиваемый активный фильтр Баттерворта 7 порядка. Выбор лестничной структуры определяется ее экстремально низкой параметрической чувствительностью и легкостью управления частотными характеристиками фильтра. Схема активного лестничного фильтра (рисунок 3) получена заменой индуктивностей схемы пассивного прототипа их гираторными эквивалентами. Гираторы реализованы встречно-параллельным соединением двух преобразователей напряжения в ток (ПНТ).

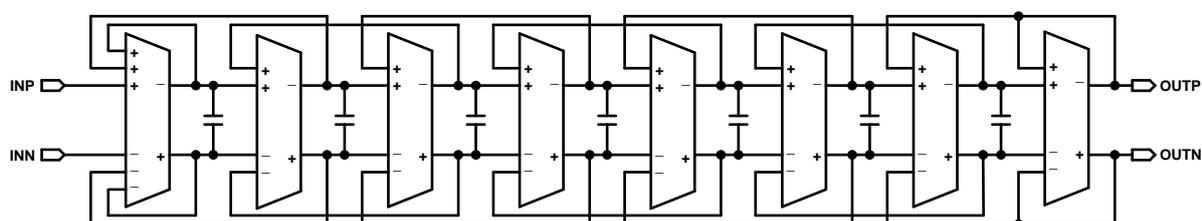


Рисунок 3 – Принципиальная электрическая схема фильтра

Перестройка частотных характеристик фильтра выполняется изменением тока смещения ПНТ посредством схемы управления. Схема управления выполнена по принципу «ведущий-ведомый» с использованием системы фазовой автоподстройки частоты и состоит из фазового детектора, опорного фильтра и управляемого семиразрядного цифро-аналогового преобразователя (ЦАП). Ведущим элементом схемы управления является опорный фильтр, а ведомым – основной фильтр. Оба эти элемента выполняются в одном элементном базисе, что исключает влияние технологических разбросов. Управляемый ЦАП осуществляет дискретную перестройку частоты среза фильтра в диапазоне от 4 МГц до 40 МГц.

Топология кристалла селектора каналов DVB-S/S2 приемника представлена на рисунке 4. Микросхема собирается в 40-выводной QFN корпус.

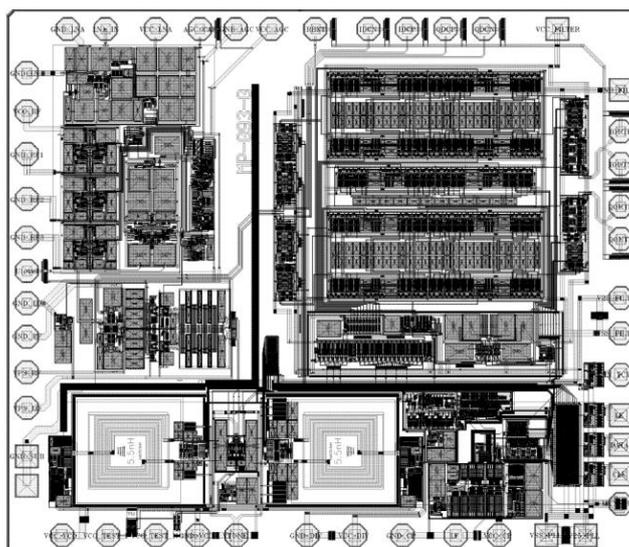


Рисунок 4 – Топология микросхемы селектора каналов

Основные параметры изготовленной микросхемы, представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные параметры микросхемы

Диапазон рабочих частот	920 – 2200 МГц
Максимальный коэффициент усиления	не менее 80 дБ
Диапазон регулировки усиления	не менее 70 дБ
Диапазон регулировки усиления в тракте ВЧ	не менее 60 дБ
Диапазон регулировки усиления в фильтре	не менее 10 дБ
1-дБ компрессия по входу	не менее -5 дБм
Коэффициент шума приемника	не более 8 дБ

Полоса пропускания фильтра	4...40 МГц
Фазовые шумы	-85 дБн/Гц@10кГц -95 дБн/Гц@100кГц -115 дБн/Гц@1МГц
Ток потребления	120 мА@Vcc=3В
Размер кристалла	2,5 x 2,1 мм ²

В настоящее время микросхемы исследуются на применение в спутниковой телевизионной аппаратуре и в многофункциональных трактах аппаратуры специального назначения.

1. B.Razavi, "Design considerations for direct conversion receivers", IEEE J. Transactions on Circuits and Systems, vol. 44, pp. 428-435, June 1997.
2. Y.Shi, F.F. Dai, "A fully integrated broadband direct-conversion receiver RFIC for satellite tuner", IEEE 8th International Conference on ASICON'09, pp. 375-378, 2009.
3. Salma Ait Fares, "Mobile and wireless communications: network layer and circuit level design", InTech, pp. 226-228, January 2010.

Авторы:

_____ И.В. Малышев

_____ Л.П. Ионов

_____ В.Н. Павлов

_____ В.В. Милехин

_____ Р.С. Шабардин