

УСИЛИТЕЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ СУПЕРГЕТЕРОДИННОГО РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКОГО ПРИЕМНИКА

© 2011 г. А. М. Королёв

Радиоастрономический институт НАН Украины
Украина, 61002, Харьков, ул. Краснознаменная, 4

Поступила в редакцию 18.06.2010 г.

Представлены результаты разработки сверхмалощумящих усилителей, допускающих охлаждение, на дециметровый диапазон длин волн. Приведены принципиальные схемы, указаны особенности конструкции. Шум-фактор усилителя ~ 0.4 дБ без охлаждения и ≤ 0.05 дБ при 15 К. Используется коммерчески доступная элементная база. Усилители рекомендуются как функциональные узлы для построения радиоастрономических и измерительных устройств.

ВВЕДЕНИЕ

Многоканальные радиоастрономические спектрометры имеют в основе супергетеродинный приемник, одним из важнейших узлов которого является усилитель промежуточной частоты (у.п.ч.). Шум-фактор и стабильность коэффициента усиления у.п.ч., наравне с характеристиками смесителя и входного усилителя, определяющим образом влияют на флуктуационную чувствительность — основной параметр радиоастрономического приемника.

Полоса рабочих частот у.п.ч. доходит до нескольких гигагерц. Чаще всего используются диапазоны промежуточных частот 0.5–1, 1–2, 2–4 ГГц, иногда выше. У.п.ч. различных типов — сверхмалощумящие, особо стабильные и широкополосные — неоднократно описаны в литературе и по мере развития элементной базы электроники продолжают совершенствоваться [1].

Настоящая работа имела целью создание универсального усилителя, устойчиво работающего в указанных выше диапазонах при комнатных и криогенных температурах и не содержащего уникальных (заказных) транзисторных структур. Кроме радиоастрономии, разработанный усилитель может использоваться в высокочувствительной измерительной технике на дециметровый диапазон длин волн.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И ХАРАКТЕРИСТИКИ У.П.Ч.

У.п.ч. имеет двухмодульную структуру: предварительный усилитель (п.у.) и выходной усилитель (в.у.). П.у. может объединяться со смесителем в охлаждаемый интегрированный узел [2]. Коэффициенты усиления п.у. и в.у. близки к 30 дБ с неравномерностью по диапазону ≤ 0.5 дБ. Суммарное усиление у.п.ч. составляет ~ 60 дБ. Коэффициент стоячей волны (к.с.в.н.) по выходу предваритель-

ного усилителя и к.с.в.н. выходного усилителя по входу во всем диапазоне рабочих частот не превышают 1.3.

Принципиальная схема п.у. показана на рис. 1. Коммерчески доступные микросхемы усилителей сверхмалощумящего класса не допускают охлаждения, либо очень дороги, поэтому п.у. построен на дискретных элементах: транзисторы — псевдоморфные полевые. Особенности проектирования сверхмалощумящих усилителей на дециметровый диапазон длин волн представлялись ранее [3].

В предлагаемом варианте усилителя цепи постоянного тока спроектированы так, чтобы переход из режима, оптимизированного для комнатной температуры, в режим глубокого охлаждения (ниже 20 К) осуществлялся простым изменением питающего напряжения ($U_{пит}$ на рис. 1) с 3 до 1.5 В. Один из важнейших параметров криоэлектронных устройств — потребляемая (рассеиваемая) мощность. Для ее минимизации использован ненасыщенный режим работы транзисторов [4] с уменьшением напряжения сток–исток до 0.5 В. Измеренная потребляемая мощность охлаждаемого п.у. близка к 30 мВт.

Величины R_3 , C_2 и R_5 , C_4 выбраны такими, чтобы исключить выброс на а.ч.х. в районе сотен мегагерц. Резистор R_1 предотвращает паразитную генерацию на частотах выше 4 ГГц, R_4 — ниже 1 ГГц. Устойчивость сохраняется при к.с.в.н. источника до 10. Воспроизводимость коэффициента усиления п.у. от включения к включению и при термоциклировании — не хуже 0.1 дБ. Долговременная стабильность всего у.п.ч. (по результатам радиометрии суммарных шумов усилителя и резистивного шумового генератора на интервале 1 ч) — не хуже 0.1 дБ. В интервале окружающих температур 0–50°С коэффициент усиления изменяется не более чем на 1 дБ, что обеспечивается действием автосмещения. Шум-фактор неохла-

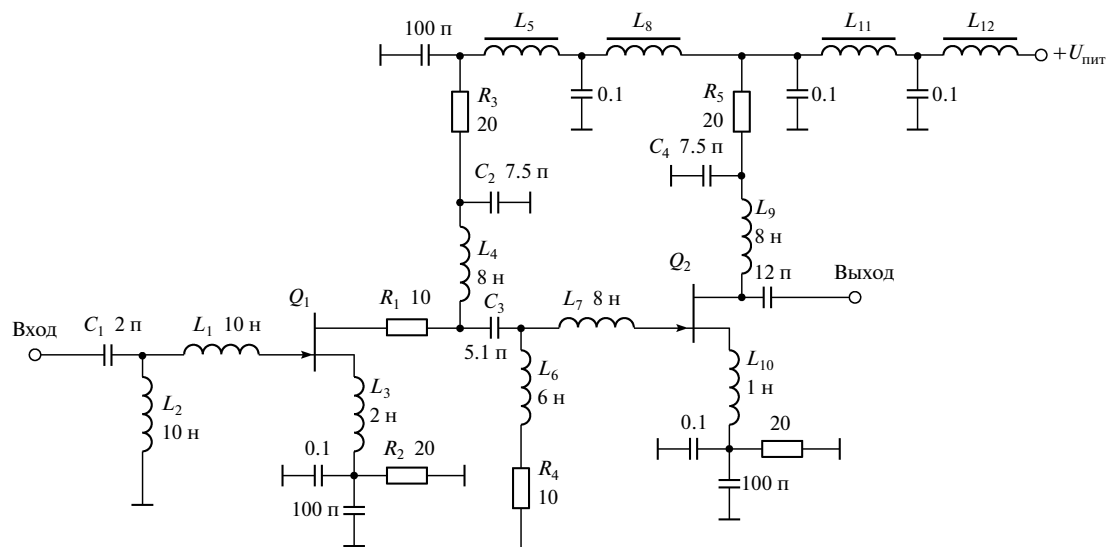


Рис. 1. Принципиальная схема предварительного усилителя на диапазон 1–2 ГГц. Q_1 – AGILENT ATF33143, ATF38143 и ATF35143 для усилителей на диапазоны 0.5–1, 1–2 и 2–3 ГГц соответственно, Q_2 – ATF34143; L_5, L_8, L_{11}, L_{12} – BLM18PG300SN1 (Murata).

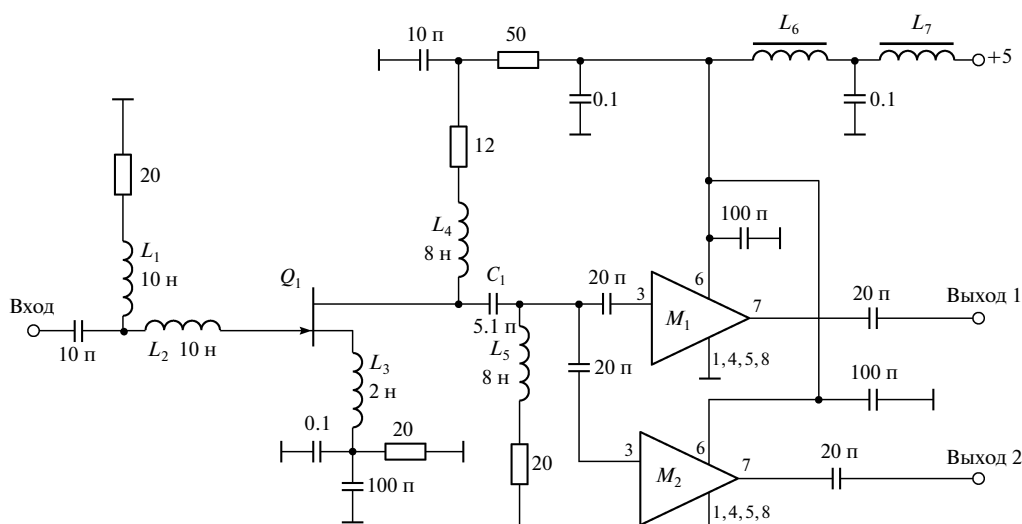


Рис. 2. Принципиальная схема выходного усилителя. Q_1 – ATF38143; M_1, M_2 – AD5354; L_6, L_7 – BLM18PG300SN1 (Murata).

ждаемых п.у. не превышает 0.5, 0.35 и 0.45 дБ для устройств на диапазоны 0.5–1, 1–2 и 2–3 ГГц соответственно. При охлаждении до 15 К шум-фактор не превышает 0.05 дБ для всех трех вариантов п.у. Входной импеданс п.у. в полосе 1–2 ГГц составляет $50 \pm 10 \pm j25$ Ом.

Принципиальные схемы усилителей на все заявленные диапазоны одинаковы. Изменяются только величины элементов L_1 – L_4 , L_6 – L_{10} , C_3 (обратно пропорционально центральной частоте диапазона, с уточнением при настройке). Сказанное относится и к в.у. (рис.2, элементы L_1 – L_5 , C_1). Во входном каскаде в.у. местная обратная связь

(L_3) обеспечивает устойчивость и низкое значение к.с.в.н. по входу (≤ 1.3). Выходная согласующая цепь (L_4, L_5, C_1) приводит к точке подключения микросхем активный импеданс 25 ± 10 Ом и обеспечивает необходимые частотные предискажения так, чтобы сквозная а.ч.х. в.у. была плоской, в то время как собственная а.ч.х. микросхем M_1, M_2 – падающая, с наклоном ~ 6 дБ на октаву.

В.у. имеет два независимых выхода – это дает возможность подключать без взаимных помех два анализатора спектра либо квадратичный детектор [5], что общепринято в практике радиоастрономических наблюдений. Коэффициент усиления

в.у. близок к 30 дБ, шум-фактор — ≤ 3 дБ, устойчивость абсолютная.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ И НАСТРОЙКИ У.П.Ч.

У.п.ч. собран на печатных платах размером 15×30 (п.у.) и 15×40 мм (в.у.), материал плат — двусторонний фольгированный стеклотекстолит толщиной 1 мм. Типоразмер конденсаторов — 0603, резисторов — 0805. Во избежание термических напряжений, при реализации п.у. в “криогенном” варианте, пассивные навесные элементы следует устанавливать вертикально, соединяя с опорными точками на плате короткими (1–2 мм) отрезками медной фольги.

Для обеспечения заявленных шумовых характеристик особое внимание следует уделить элементам C_1 , L_1 , L_2 , обеспечив их высокую добротность. L_1 , L_2 в нашем случае — цилиндрические катушки индуктивности, с внутренним диаметром и шагом 1 мм. Провод — медный посеребренный, $\varnothing 0.2$ мм. Длина образующего провода для L_1 — 15 мм, для остальных индуктивных элементов пропорционально меньше. L_1 и L_4 подсоединяются к выводам затворов транзисторов напрямую, без опорной площадки. Весьма важным является и надежное двустороннее блокирование резисторов автосмещения R_1 и R_3 .

Характеристики у.п.ч. обеспечиваются без отбора экземпляров транзисторов и подстройки их режимов. Настройка, в основном, сводится к коррекции формы сквозной а.ч.х. Для получения требуемого коэффициента усиления следует уточнить индуктивность элементов L_3 (отрезки провода

$\varnothing 0.1 \times (4 \pm 1)$ мм). Если к.с.в.н. источника сигнала превышает 10 в полосе 0.2–5 ГГц, с устойчивостью первого каскада п.у. могут возникнуть проблемы, вплоть до паразитной генерации. Увеличить устойчивость можно уменьшением индуктивности L_2 (до 50%). При этом шум-фактор возрастет на 10–20%.

ВЫВОДЫ

Шумовые и усилительные характеристики предложенного усилителя соответствуют наличествующему мировому уровню (см. сайты фирм-лидеров MITEQ, LNF и др.). Потребляемая мощность находится на уровне лучших лабораторных образцов. Элементная база усилителя коммерчески доступна. Устройство успешно эксплуатируется в составе радиоастрономических приемных систем [3, 6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Wadefalk N., Mellberg A., Angelov I. et al.* // IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques. 2003. V. 51. № 6. P. 1705.
2. *Piddyachiy V.I., Shulga V.M., Korolev A.M.* // Int. J. Infrared Millimeter Waves. 2005. V. 26. № 10. P. 1381.
3. *Королёв А.М., Шульга В.М.* // Радиофизика и радиоастрономия. 2007. Т. 12. № 1. С. 84.
4. *Korolev A.M.* // Proc. VI Intern. Kharkov Symposium on Physics and Engineering of Microwaves. Millimeter and Submillimeter Waves and Workshop on Terahertz Technologies. Kharkov (Ukraine), 2007. P. 731.
5. *Королев А.М., Король А.Н., Поладич А.В., Шкодин В.И.* // ПТЭ. 2009. № 6. С. 36.
6. *Forkman P.M., Piddyachiy V.I., Korolev A.M. et al.* // Int. J. Infrared Millimeter Waves. 2006. V. 27. № 1. P. 25.