

РАЗРАБОТКА МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ПАРАМЕТРОВ

П. С. Романовский

ВВЕДЕНИЕ

Беспроводные технологии быстро становятся общепринятым стандартом, который оказывает всестороннее влияние на нашу жизнь. К настоящему времени люди уже привыкли к таким устройствам, как GPS-навигаторы, мобильные телефоны, беспроводные модемы и многие другие. Неотъемлемая часть любого устройства с беспроводной связью – приемник сигналов. Упрощенная блок-схема высокочастотного (ВЧ) приемника приведена на рисунке 1.

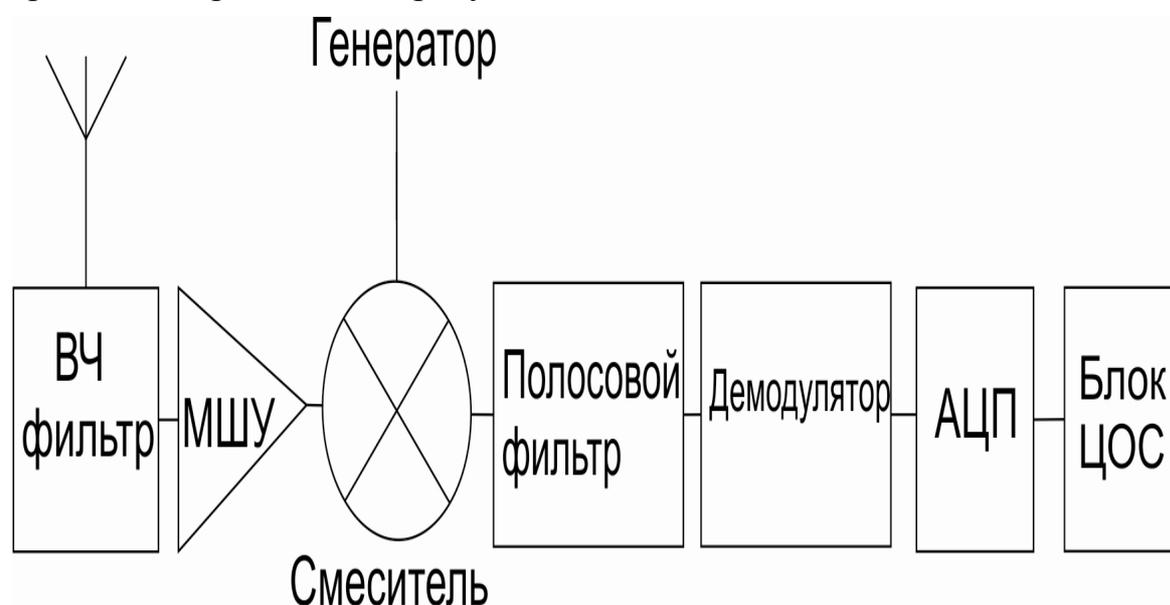


Рис.1. Упрощенная блок-схема ВЧ-приемника

Одним из блоков ВЧ-приемника является малошумящий усилитель (МШУ). Задачей МШУ является предварительное усиление сигнала, поступающего на антенну приемника, до величины, необходимой для дальнейшей его обработки, с минимальным внесением в сигнал искажений и шумов [1, с. 166–170].

В данной работе описан процесс разработки малошумящего усилителя на МОП-транзисторах, изготовленных по технологии SMIC 0.18 мкм. Разрабатываемое устройство является частью GPS-приемника, который работает в диапазоне частот 1550–1610 МГц. В данной полосе частот коэффициент усиления по мощности МШУ больше 20 дБ, коэф-

коэффициент шума меньше 1 дБ. Потребляемая мощность усилителя менее 4 мВт.

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

К основным параметрам МШУ относятся:

- коэффициент усиления;
- коэффициент шума;
- параметры, определяющие линейность преобразования:
 - точка компрессии по входу МШУ;
 - точка интермодуляции третьего порядка;
- ток потребления.

Коэффициент шума характеризует уровень искажений случайного характера, вносимых в сигнал при его прохождении через приемный тракт. Согласно формуле Фриза (1), приведенной в работе [2, с.40–41], коэффициент шума всего приемного тракта определяется в первую очередь коэффициентом шума первого каскада, то есть малошумящего усилителя.

$$F_{\text{total}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \frac{F_4 - 1}{G_1 G_2 G_3} + \dots \quad (1)$$

где F_{total} – коэффициент шума приемного тракта, F_i – коэффициент шума i -го каскада ($i=1,2,\dots$), G_i – коэффициент усиления по мощности i -го каскада.

Из формулы (1) следуют два важных требования к МШУ – низкий коэффициент шума и высокий коэффициент усиления по мощности.

В работе [3, с. 5–7] выведена формула (2), из которой следует, что для повышения линейности преобразования сигнала необходимо уменьшать коэффициент усиления по мощности малошумящего усилителя.

$$\frac{1}{\text{ПРЗ}} = \frac{1}{\text{ПРЗ}_1} + \frac{G_1}{\text{ПРЗ}_2} + \frac{G_1 G_2}{\text{ПРЗ}_3} + \dots \quad (2)$$

Где ПРЗ – точка интермодуляции по входу блока приемника, G_i – коэффициент усиления по мощности i -го каскада.

В формуле (2) ПРЗ и G_i выражены в разгах, а не в децибелах.

Таким образом, при разработке МШУ возникает ряд противоречий:

1. Для увеличения коэффициента усиления необходимо увеличивать ток стока активного транзистора, что приводит к увеличению тока потребления устройства.

2. Увеличение коэффициента усиления приводит к уменьшению точки компрессии по входу усилителя, а, следовательно, к ухудшению линейности преобразования сигнала.

3. Для улучшения параметров линейности необходимо уменьшать коэффициент усиления, что приводит к увеличению коэффициента шума усилителя.

В связи с этим не существует универсального схемотехнического решения маломощного усилителя и для каждого приемника необходимо разрабатывать схему МШУ, соответствующую требованиям технического задания.

РАЗРАБОТКА МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ

Схема разработанного маломощного усилителя приведена на рисунке 2.

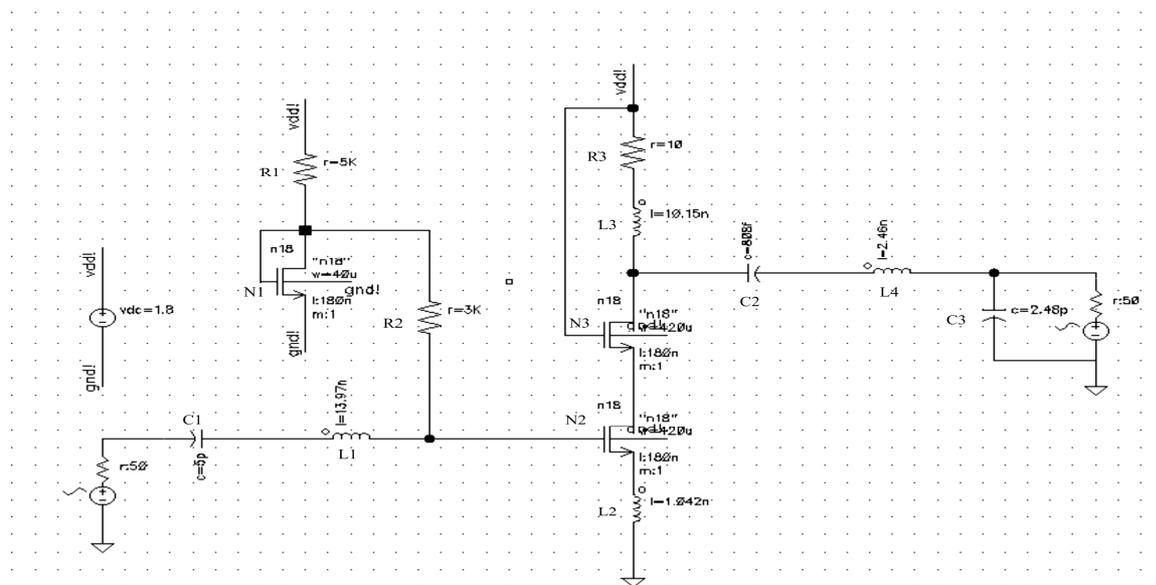


Рис. 2. Разработанная схема МШУ

Применение схемы с индуктивным истоковым ослаблением (элементы L1, L2, N2) позволяет достичь хорошего согласования входного импеданса усилителя с сопротивлением антенны (коэффициент стоячей волны по напряжению или КСВН < 1.5) одновременно с низким коэффициентом шума ($NF < 2$ дБ).[4, с.7] Использование каскода (элементы N2, N3) уменьшает влияние эффекта Миллера на схему, а также увеличивает выходное сопротивление усилителя, в связи с чем, увеличивает коэффициент усиления по мощности. LC-контур (элементы L3, C2) в схеме, приведенной на рисунке 2, позволяет получить высокий коэффициент усиления по мощности в заданном диапазоне частот. Для этого необходимо подобрать величины индуктивности и емкости так, чтобы

резонансная частота контура совпадала с центральной частотой данного диапазона. Согласование выходного импеданса МШУ с сопротивлением нагрузки выполнено с использованием простейшей цепи согласования, называемой Г-цепью (элементы L4, C3).

В усилительном каскаде резистор, последовательно подключенный к катушке индуктивности (элемент R3), имитирует сопротивление реальной катушки индуктивности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения работы, была разработана электрическая схема малошумящего усилителя на Si МОП-технологии SMIC 0.18 мкм. Сравнение параметров полученного малошумящего усилителя и МШУ, представленного в работе [5] приведено в таблице.

Таблица

Сравнение параметров разработанного малошумящего усилителя

Параметр \ Схема	В данной работе	В работе [5]
Коэффициент усиления мощности	$G_p=21$ дБ	$G_p=20$ дБ
Коэффициент шума	$NF<0.9$ дБ	$NF<1.5$ дБ
Ток потребления	$I_{sup}=3.5$ мА	$I_{sup}=7.2$ мА
Входной импеданс	$R_{in}=50 \Omega$	$R_{in}=50 \Omega$
Выходной импеданс	$R_{out}=50 \Omega$	$R_{out}=50 \Omega$
Диапазон частот	$1550 \text{ МГц} < f < 1610 \text{ МГц}$	$1550 \text{ МГц} < f < 1610 \text{ МГц}$
КСВН по входу МШУ	$VSWR_{in}<1.2$	$VSWR_{in}<1.5$
КСВН по выходу МШУ	$VSWR_{out}<1.4$	$VSWR_{out}<1.5$
Точка компрессии по входу МШУ	$CP_{1dB}>-24$ дБмВт	$CP_{1dB}>-28$ дБмВт
Точка интермодуляции третьего порядка	$IP3>-14$ дБмВт	$IP3>-18$ дБмВт

Литература

1. *Behzad Razavi*, «RF Microelectronics», Prentice Hall, NJ, 1998.
2. *Matt Loy*, «Understanding RF», Texas Instruments Incorporated, 1999.
3. *Yoo H. J.*, «Basic Concepts in RF Design», Information and Communications University Press, 2000.
4. *Edgar Sanchez-Sinencio*, «Low Noise Amplifier», TAMU, 2010.
5. Интернет-адрес:
<http://ntlab.com/IPCatalog/AnalogMixedsignalIP/ByCategory/LNA/tabid/169/Default.aspx>.