УДК 621.375.4

С.Г. Чумаров

(г. Чебоксары, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова)

**ВЛИЯНИЕ ШУМА НА ОПТИМАЛЬНОЕ УСИЛЕНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ УСИЛИТЕЛЕЙ**

EFFECT OF NOISE ON OPTIMAL GAIN OF HIGH-FREQUENCY AMPLIFIERS

*Рассмотрено влияние шумов на качественные показатели высокочастотных усилителей для цифровых радиосистем. Обоснована актуальность выбора элементной базы при проектировании таких усилителей по критерию минимизации шумов.*

*The influence of noise on the quality indicators of radio-frequency amplifiers for digital radio systems is considered. The relevance of choosing the element base for designing such amplifiers based on the noise minimization criterion is proved.*

*Ключевые слова: высокочастотный усилитель, коэффициент шума, СВЧ-транзистор, компьютерное моделирование.*

*Keywords: radio-frequency amplifier, noise figure, microwave transistor, computer simulation.*

Усиление радиосигналов для цифрового телерадиовещания и других цифровых радиосистем [1] является актуальной задачей из-за ограничения зоны уверенного приема, малой мощности радиопередатчиков, особенности распространения радиоволн, высоты расположения антенны и её конструкции и рельефа местности. Для обеспечения приемлемого коэффициента битовых ошибок (BER) применяют антенны сложной конструкции и малошумящие антенные усилители.

Выпускаемые в настоящее время усилители отличаются по назначению, стоимостью, диапазоном рабочих частот, коэффициентом усиления $К\_{У}$, коэффициентом шума $К\_{Ш}$ и т.д. При слишком высоком $К\_{У}$ на ВЧ в широком диапазоне частот неравномерность $К\_{У}$ может достигать до 10...15 дБ и задача обеспечения устойчивости усилителей становится сложной. В этом случае для получения высокого $К\_{У}$ применяют каскадное соединение. За определяющий фактор увеличения BER обычно принимают уровень собственных шумов, а не $К\_{У}$. Уровень шума на выходе $К\_{Ш.ВЫХ.}$ зависит в первую очередь от уровня шума транзистора первого каскада, усиливаемого всеми последующими каскадами. Вместе с тем шумы последующих каскадов можно не учитывать. Собственные шумы в свою очередь также усиливаются вместе с полезным сигналом и ухудшают отношение сигнал/шум усилителя. В первом каскаде в качестве СВЧ транзисторов рекомендуется использовать транзисторы с низким $К\_{Ш}.$

У многокаскадного усилителя для определения шумов усилителя используется показатель, приведенный к входу коэффициента шума $К\_{Ш}$, который равен уровню шума на выходе, кратному на общий коэффициент усиления, т.е. $К\_{Ш}$=$К\_{Ш.ВЫХ.}$/$К\_{У}$. Увеличение коэффициента усиления при неизменном коэффициенте шума не способствует выигрышу в отношении сигнал/шум и, следовательно, улучшению качества приема. Следует отметить, что чрезмерное превышение заданного $К\_{У}$ увеличивает вероятность самовозбуждения и перегрузки мощными сигналами или помехами.

Из наиболее часто используемых СВЧ транзисторов можно отметить отечественные КТ391 ($К\_{Ш}=3 дБ) и$ КТ3115 ($К\_{Ш}=2 дБ)$, импортные – BFR-93А ($К\_{Ш}=1,5 дБ)$ и 2SC3356 $(К\_{Ш}=1,5 дБ).$ Для исследования влияния шума был выбран двухкаскадный апериодический усилитель ВЧ [2] на биполярных транзисторах BFR-93А в каждом каскаде (рис. 1). Оба усилительных каскада построены по схеме с общим эмиттером и емкостной связью между каскадами. Первый каскад – широкополосный, без коррекции.



*Рис. 1. Принципиальная схема усилителя*

Для компьютерного моделирования электронных схем, имеется достаточно большой перечень программного обеспечения, позволяющих построить полную модель устройства на основе SPICE-моделей элементов, например, Altium Designer, Multisim [3] и т.д. Также возможно моделирование символьным методом [4]. Для моделирования некоторых цифровых схем, в том числе LVDS-интерфейса, удобными являются IBIS-модели [5]. Компьютерное моделирование позволяет обнаружить неправильные схемотехнические решения и подобрать оптимальное значение параметров элементов схемы за счет многократного моделирования.

Анализ шума в Multisim (рис. 2) позволил определить суммарное значение выходного шума (onoise\_total) и суммарного шума, приведенного к входу (inoise\_total). На рис. 3 представлен график спектральной плотности суммарного выходного шума (onoise\_spectrum) и суммарного шума, приведенного ко входу (inoise\_ spectrum) в интересуемой полосе.



*Рис. 2. Результаты анализа шума*



*Рис. 3. Спектральная плотность шумов усилителя*

Таким образом, в работе определено влияние коэффициента шума компонентов высокочастотного усилителя на его оптимальное усиление. Учет собственных шумов позволяет достичь максимального BER цифровых радиосистем.

**Список литературы**

1. *Чумаров С.Г., Милкин Ю.С.* Особенности реализации и применения программно-определяемых радиосистем // Динамика нелинейных дискретных электротехнических и электронных систем: материалы 13-й Всерос. науч.-практ. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2019. – С. 442-443.

2. *Чумаров С.Г.* Моделирование высокочастотных усилителей для современных радиосистем // САПР и моделирование в современной электронике: cб. науч. тр. III междунар. науч.-практ. конф. – Брянск: БГТУ, 2019. – С. 325-327.

3. *Чумаров С.Г., Чернов В.К.* Исследование мостового усилителя тока с ПИ регулированием // САПР и моделирование в современной электронике: cб. науч. тр. III Междунар. науч.-техн. конф. – Брянск: БГТУ, 2019. – С. 321-324.

4. *Чертановский, А.Г.* Методика моделирования переходных процессов в однотактных каскадах на биполярных транзисторах // Нелинейный мир. – 2010. – Т. 8. – № 1. – С. 36-41.

5. *Григорьев А.В., Арсентьева А.А.* Интерфейс последовательной передачи информации по технологии LVDS // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике (ИТЭЭ-2018): материалы XI Всерос. науч.-техн. конф. – Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2018. – С. 236-237.

*Материал поступил в редколлегию 08.10.20.*