

GaAs МИС буферного усилителя X-диапазона

Приведена методика разработки МИС буферного усилителя на основе линейного анализа. Начальными данными для проектирования служат малосигнальная модель и выходная ВАХ GaAs ПТШ. В работе рассматривается пример и экспериментальные данные по разработке GaAs МИС буферного усилителя в диапазоне частот 8-12 ГГц.

Ключевые слова: СВЧ МИС, усилитель, полевой транзистор с затвором Шотки, отрицательная обратная связь, выходная линейная мощность

Буферные усилители предназначены для компенсации потерь в тракте при преобразовании или обработке СВЧ сигнала. Основной характеристикой буферного усилителя является выходная линейная мощность. Методика расчета усилителя с минимальным коэффициентом шума или максимальным динамическим диапазоном и согласованным входом и выходом описана в работе [1]. В настоящей работе приводится пример и результаты проектирования двухкаскадного усилителя с заданными требованиями по уровню выходной линейной мощности и согласованием по входу и выходу. Структурная схема усилителя приведена на рис. 1.

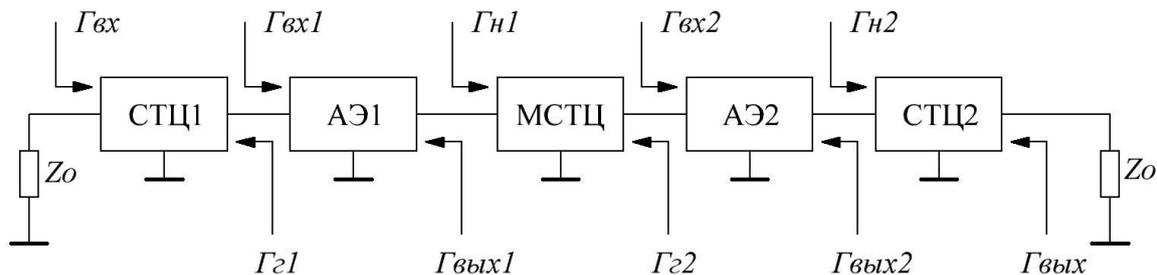


Рис. 1.

Усилитель состоит из двух активных элементов (АЭ) и согласующе-трансформирующих цепей (СТЦ): входной (СТЦ1), выходной (СТЦ2) и межкаскадной (МСТЦ). АЭ могут содержать отрицательно обратные связи (ООС). Обозначения на структурной схеме аналогичны [1]. Для упрощения расчетов примем СТЦ без вносимых потерь.

Условием получения заданной выходной линейной мощности АЭ2 является выбор рабочей точки по постоянному току и обеспечение оптимальной нагрузки $\Gamma_{н2}$ каскада. Величина выходного коэффициента отражения определяется выражением:

$$\Gamma_{вых} = \frac{КС_{вых} - 1}{КС_{вых} + 1} = \left(\frac{\overline{\Gamma_{н2}} - \Gamma_{вых2}}{1 - \Gamma_{н2} \cdot \Gamma_{вых2}} \right), \quad (1)$$

где $\Gamma_{вых2} = \frac{S_{22} - \Gamma_{з2} \cdot \Delta}{1 - S_{11} \cdot \Gamma_{з2}}$, $\Delta = S_{11} \cdot S_{22} - S_{21} \cdot S_{12}$ – параметры рассеяния АЭ2.

Таким образом, согласование по выходу определяется заданными коэффициентами отражения $\Gamma_{н2}$ и $\Gamma_{г2}$, а также параметрами рассеяния АЭ2. Учитывая, что коэффициенты отражения и рассеяния комплексные, удобно использовать понятие области допустимых значений (ОДЗ) при графической интерпретации решения. ОДЗ $\Gamma_{н2}$ определяется на комплексной плоскости согласно методологии Криппса [2]. Для этого, по выходным ВАХ ПТШ задается рабочая точка по постоянному току, соответствующая заданной выходной линейной мощности, и рассчитывается оптимальное нагрузочное сопротивление. Далее, по эквивалентной схеме ПТШ и критерию сжатия выходной мощности на 1дБ на диаграмме Вольперта - Смита (ДВС) строится ОДЗ $\Gamma_{н2}$. Как правило, условия обеспечения высокой линейной мощности и согласования выхода усилителя не совпадают. Согласно (1) решением задачи согласования по выходу может быть: изменение режима питания по постоянному току ПТШ ($\Gamma_{н2}$); изменение выходного коэффициента отражения каскада ($\Gamma_{вых2}$) за счет изменения коэффициента отражения от МСТЦ ($\Gamma_{г2}$), или изменения параметров рассеяния АЭ2 (изменение суммарной ширины затвора ПТШ), или путем ввода ООС в каскад. Задавшись значением $KCB_{вых} \leq 2$ в расчетах можно просмотреть все эти варианты.

На рис. 2 приводится эквивалентная схема ПТШ и годограф ОДЗ $\Gamma_{н2}$, соответствующий выходной линейной мощности.

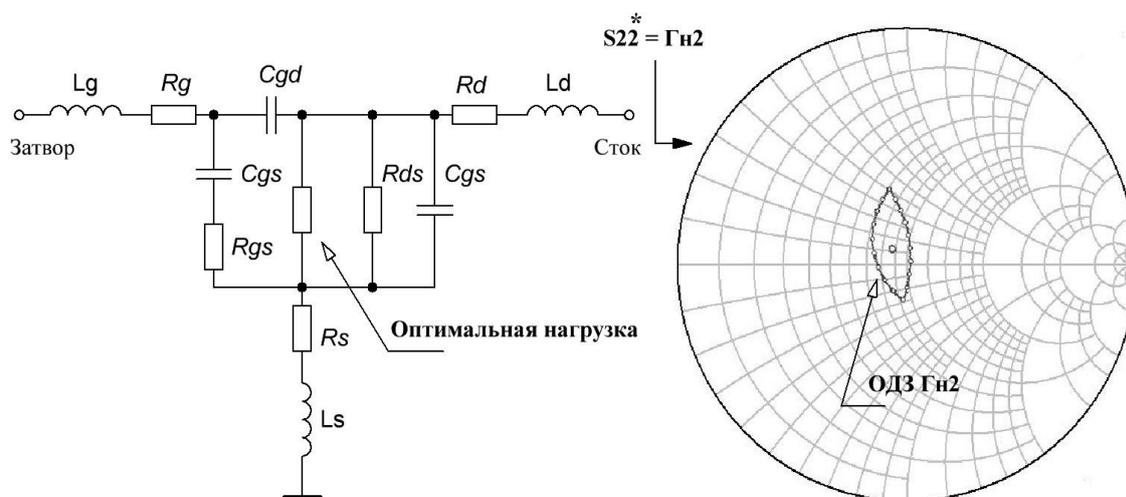


Рис. 2.

Анализ показывает, что параллельная ООС в большей степени изменяет $\Gamma_{вых2}$, увеличивает устойчивость каскада при незначительном уменьшении коэффициента усиления. Зная величины $\Gamma_{вых}$, $\Gamma_{н2}$, $\Gamma_{вых2}$, можно приступить к синтезу СТЦ2. Выходной каскад с синтезированной СТЦ2 определяет $\Gamma_{вх2}$ и ОДЗ $\Gamma_{г2}$. ОДЗ $\Gamma_{г2}$ на ДВС отображается в виде окружности $\Gamma_{г2} = P_{г2} + R_{г2} \cdot \exp(j \cdot \varphi)$ аналогично [1] по выражениям:

$$P_{г2} = \frac{\bar{a} \cdot b - \Gamma_{вых}^2 \cdot \bar{c} \cdot d}{\Gamma_{вых}^2 \cdot |c|^2 - |a|^2}, \quad R_{г2} = \sqrt{|P_{г2}|^2 - \frac{|b|^2 - |\Gamma_{вых}|^2 \cdot |d|^2}{|a|^2 - |\Gamma_{вых}|^2 \cdot |c|^2}}, \quad (2)$$

где $a = \Delta - S_{11} \cdot \overline{\Gamma_{н2}}$, $b = \overline{\Gamma_{н2}} - S_{22}$, $c = \Gamma_{н2} \cdot \Delta - S_{11}$, $d = 1 - \Gamma_{н2} \cdot S_{22}$, $\varphi \in [0, 360]$.

На данном этапе можно ввести критерий по усилению в выходном каскаде. Пересечение окружностей достижимого коэффициента усиления каскада

$$Ga = \frac{1 - |\Gamma_{г2}|^2}{|1 - S_{11} \cdot \Gamma_{г2}|^2} \cdot |S_{21}|^2 \cdot \frac{1}{1 - |\Gamma_{вых2}|^2}$$

и ОДЗ $\Gamma_{г2}$ на плоскости ДВС (см. рис. 3) указывает область отражения от МСТЦ, удовлетворяющее двум условиям.

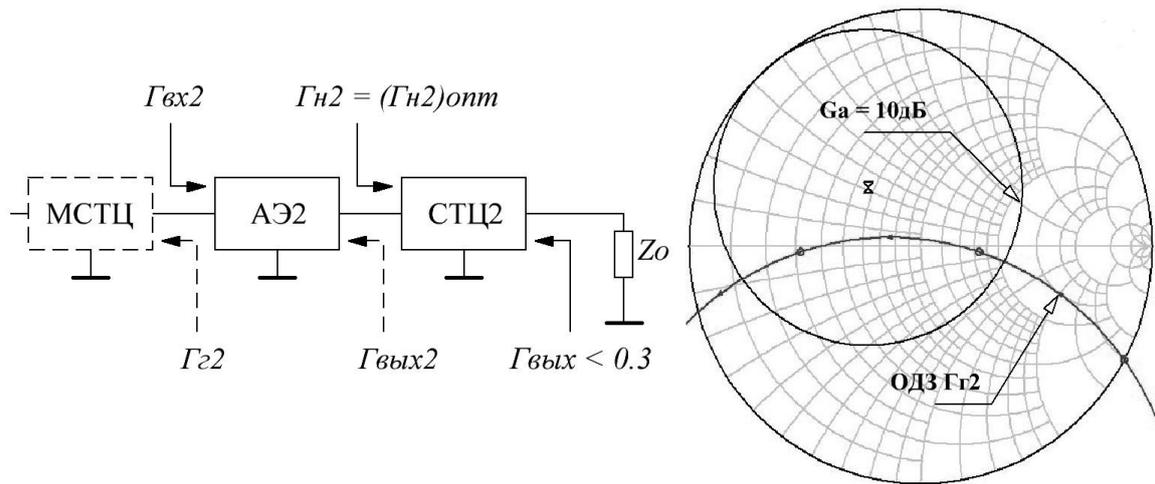


Рис. 3.

По характерным точкам из области пересечения двух окружностей (см. рис. 3) вычисляется действующий коэффициент отражения $\gamma_2 = \frac{|\Gamma_{вх2} - \Gamma_{г2}|}{|1 - \Gamma_{вх2} \cdot \Gamma_{г2}|}$ на выходе МСТЦ. Вычисленные значения γ_2 будут служить ориентиром для синтеза входного каскада. Реализуемость усилителя с двухсторонним согласованием и реактивными СТЦ возможна при $\gamma_2 = \gamma_1$, где $\gamma_1 = \frac{|\Gamma_{вых1} - \Gamma_{н1}|}{|1 - \Gamma_{вых1} \cdot \Gamma_{н1}|}$ - действующий коэффициент отражения на входе МСТЦ. Синтезировать входной каскад можно по критерию минимума коэффициента шума [1] или по критерию максимального усиления.

Согласно описанной методике разработана GaAs МИС двухкаскадного буферного усилителя. Исходными данными для проектирования МИС послужили экспериментальные малосигнальные параметры ПТШ с различной шириной затвора и в различных режимах работы по постоянному току. Требования к параметрам МИС: однополярное напряжение питания +5 В; выходная линейная мощность не менее 17 дБм; коэффициент усиления не менее 19 дБ.

На рис.4 приведена функциональная схема разработанного усилителя.

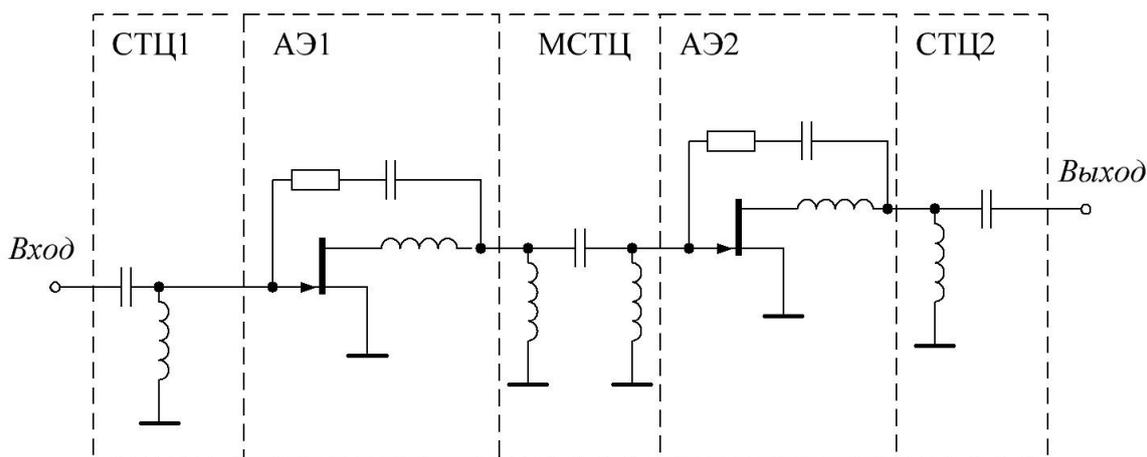


Рис. 4.

В выходном и входном каскадах используется параллельная ООС, благодаря которой значительно упростился порядок реактивных СТЦ, повысилась стабильность к технологической вариации параметров ПТШ и обеспечена устойчивость каскада к самовозбуждению. Выходной каскад построен на ПТШ с суммарной шириной затвора 600 мкм, ток стока транзистора 40 мА. Входной каскад проектировался по критерию обеспечения максимального усиления. Ширина затвора входного ПТШ 300 мкм, ток стока 30 мА. На рис.5 представлена фотография МИС, выполненной по 0.25 мкм GaAs рНЕМТ технологии ЗАО «НПФ «Микран». Размеры кристалла 1.0 x 1.0 x 0.1 мм.

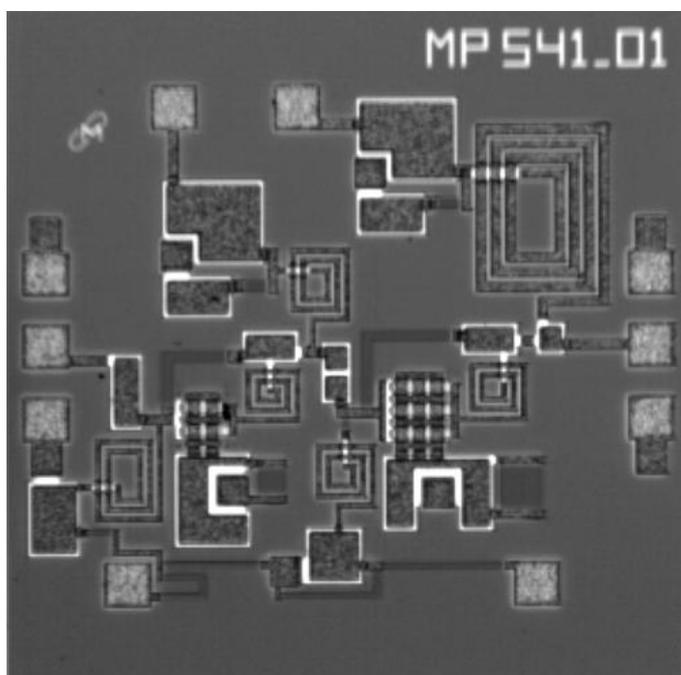


Рис. 5.

На рис. 6 представлены расчетные (помечены квадратными маркерами) и экспериментальные (помечены треугольными маркерами) частотные характеристики.

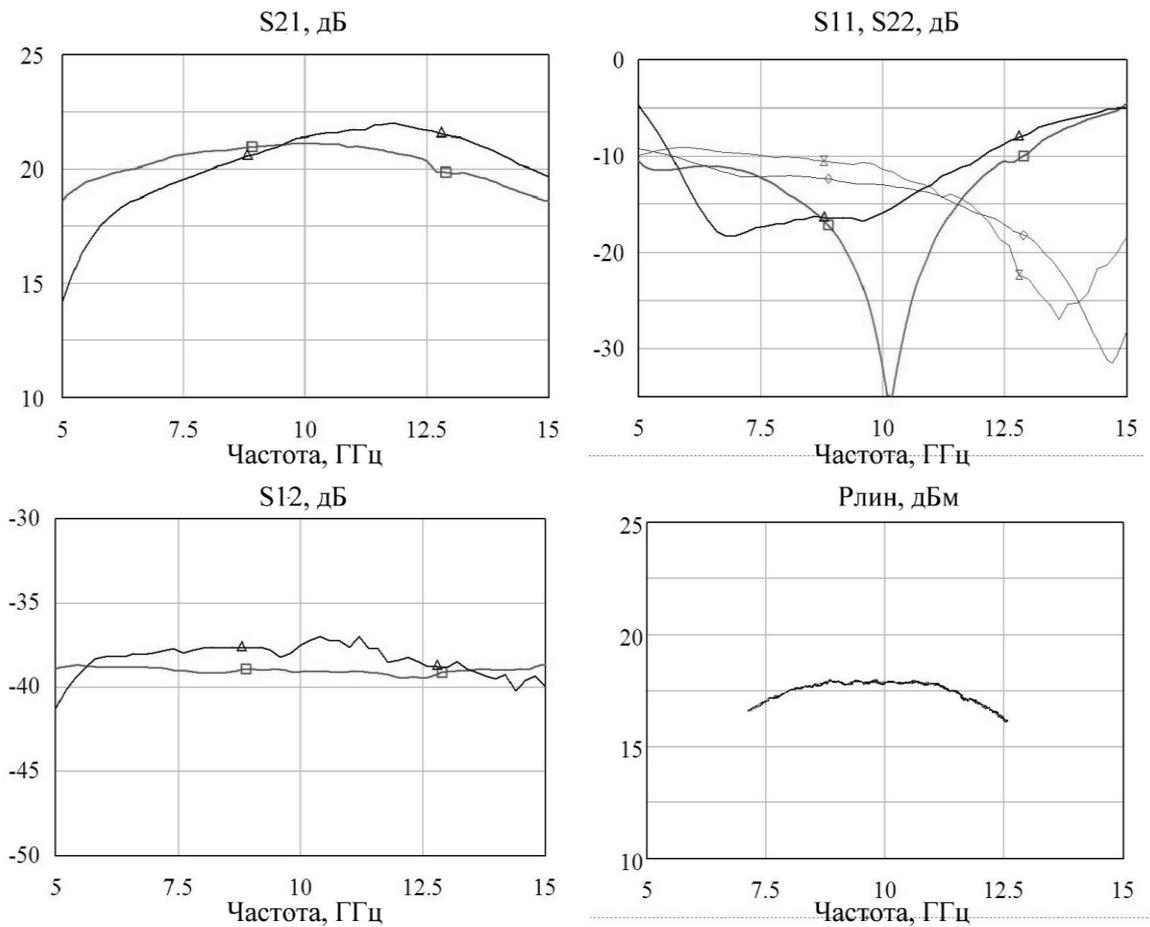


Рис. 6.

Библиографический список

1. Текшев В.Б. Расчет двухтранзисторного СВЧ-усилителя // Электронная техника. Сер. СВЧ-техника. – 1997. – Вып. 2(470) – С. 46–49.
2. Gilmore R. Practical RF circuit design for modern wireless systems. Volume II: Active circuits and systems / R. Gilmore, L. Besser // Artech house, 2003. – 569 p.