

УДК 621.375:621.3.011.71

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ЗАДАЧЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ МАЛОШУМЯЩИХ СВЧ УСИЛИТЕЛЕЙ

РУБАНИК А. В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
(г. Минск, Республика Беларусь)*

E-mail: rubanik@bsuir.by

Аннотация. В докладе показаны результаты проектирования малошумящих СВЧ усилителей на основе эвристического подхода. Данный подход основывается на анализе импедансных характеристик линейных электрических цепей и входных параметров транзисторов. Такой подход не требует использования сложных вычислительных алгоритмов и позволяет получить высокие результаты. В докладе приведены результаты компьютерного моделирования полученных моделей согласующих цепей, которые показывают возможности метода.

Ключевые слова: малошумящий СВЧ усилитель, компьютерное моделирование малошумящих усилителей, согласующие цепи СВЧ усилителей.

HEURISTIC APPROACH TO THE PROBLEM OF DESIGNING LOW-NOISE MICROWAVE AMPLIFIERS

A.V. Rubanik

BSUIR, Minsk, Republic of Belarus

Annotation. The report shows the results of designing low-noise microwave amplifiers based on a heuristic approach. This approach is based on the analysis of the impedance characteristics of linear electrical circuits and the input parameters of transistors. This approach does not require the use of complex computational algorithms and allows obtaining high results. The report presents the results of computer simulation of the obtained models of matching circuits, which show the possibilities of the method. The results obtained are aimed at a wide range of developers of microwave receivers.

Keywords: low-noise microwave amplifier, computer simulation of low-noise amplifiers, matching circuits of microwave amplifiers.

Введение

Проектирование малошумящих СВЧ усилителей на транзисторах является актуальной технической и научной задачей. Сложность данной задачи в том, что она включает в себя проблему согласования произвольных импедансов источника сигнала и нагрузки, которая является сложной в теоретическом плане и не получила к настоящему времени универсального решения. В докладе использован эвристический подход к задаче проектирования согласующих цепей малошумящих СВЧ усилителей. Этот подход позволяет с использованием компьютерного моделирования получить схемы согласования входных цепей малошумящих СВЧ усилителей с высокими характеристиками.

Отметим, что проблеме синтеза линейных электрических цепей посвящено большое число публикаций, однако до сих пор создание схемы относят к изобретательскому уровню и выдают патенты на устройства или способы, а общей теории структурного синтеза схем до сих пор не создано [1]. Разработан ряд численных методов синтеза согласующих устройств, таких как метод параметрической оптимизации, метод систематического поиска, методы на основе генетических алгоритмов и другие [2], которые дают хорошие результаты при решении определенных схмотехнических задач. Как правило, это сложные вычислительные процедуры, которые не всегда приводят к единственному решению либо не дают решения.

Кроме численных методов синтеза цепей существуют также методы эвристического синтеза. Применительно к синтезу электрических цепей это методы, основанные на том, что в результате предварительного анализа исходной электрической схемы формируется алгоритм проектирования согласующей цепи, учитывающий известные общие закономерности взаимодействия элементов схемы и влияние их характеристик на параметры синтезируемой цепи. Такой подход с использованием компьютерного моделирования дает хорошие результаты при разработке входных согласующих цепей

малозумящих усилителей, и особенно сверхмалозумящих усилителей, коэффициент шума которых мало отличается от коэффициента шума транзистора при однокаскадном построении усилителя.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу проектирования согласующих входных цепей широкополосных малозумящих усилителей на базе НЕМТ транзисторов. На рисунке 1 показано направление измерения параметров согласующей цепи и входной цепи транзистора.

Как правило, высокочастотные малозумящие транзисторы имеют в рабочем диапазоне частот активное входное сопротивление, близкое к 50 Ом, и емкостное входное реактивное сопротивление. На рисунке 2 показана частотная зависимость комплексного входного сопротивления $Re(Z(1,1))$ и $Im(Z(1,1))$ транзистора MGF4953B, полученная из табулированной таблицы S-параметров транзистора. Этот транзистор удобен для анализа, так как имеет табулированные S-параметры в широком диапазоне частот - от 1 до 26 ГГц. В этом же диапазоне частот для этого транзистора табулированы шумовые параметры. На рисунке 2 также приведена частотная зависимость комплексного входного сопротивления согласующей цепи $Re(Z(1,1))_{opt\ noise}$ и $Im(Z(1,1))_{opt\ noise}$ для транзистора MGF4953B в режиме оптимального согласования по шуму. Эти параметры получены из табулированных коэффициентов отражения Γ_{opt} согласующей цепи.

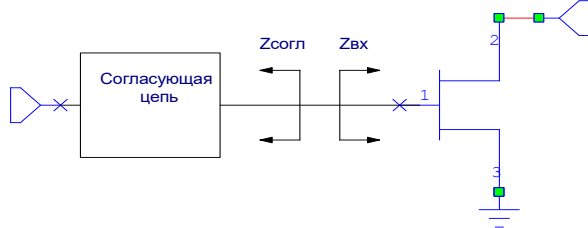


Рис. 1. Схема измерения параметров согласующей цепи и входной цепи транзистора.

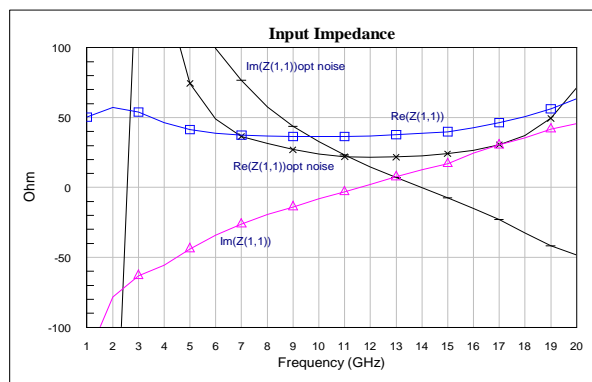


Рис. 2. Частотная зависимость комплексных сопротивлений транзистора MGF4953B и согласующей цепи согласно Горт

В соответствии с тем, что в режиме согласования импедансов источника и нагрузки их реактивные сопротивления противоположны по знаку, из рисунка 2 можно определить требования к согласующей цепи. Если требуется согласовать транзистор на минимальный коэффициент отражения входа, реактивная составляющая импеданса согласующей цепи должна быть инверсной относительно оси частот кривой $Im(Z(1,1))$. Если требуется согласовать транзистор на минимум коэффициента шума, то реактивная составляющая импеданса согласующей цепи должна совпадать с кривой $Im(Z(1,1))_{opt\ noise}$. И в том, и в другом случае реактивная составляющая импеданса согласующей цепи должна иметь вид монотонно спадающей кривой в области согласования.

Анализ характеристик линейных элементов электрических цепей (конденсаторы, индуктивности, параллельные и последовательные контуры), а также их схемных комбинаций показывает, что подобными свойствами обладает только параллельный LC контур, включенный параллельно в линию. Вблизи полюса нагруженный на активное сопротивление контур имеет спадающий участок характеристики реактивного сопротивления. Для примера на рисунке 3 приведены три варианта цепей, которые могут использоваться для согласования.

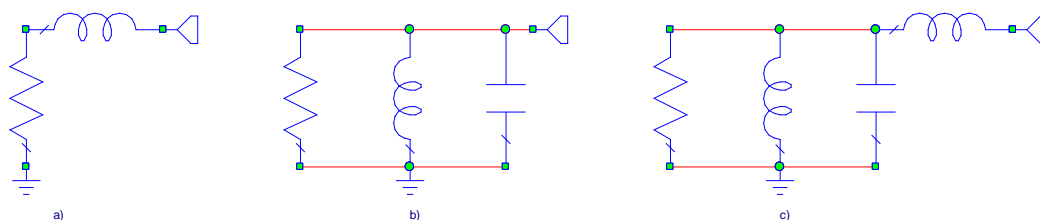


Рис. 3. Варианты цепей, которые могут использоваться для согласования.

На рисунке 4 приведены типовые частотные характеристики их реактивного сопротивления. Нагруженный LC контур имеет спадающий участок характеристики (кривая обозначена как LC-Im(Z(1,1))). Также видно, что включение на входе контура последовательной индуктивности позволяет поднять характеристику контура над частотной осью. Результирующая характеристика обозначена как LCL-Im(Z(1,1)).

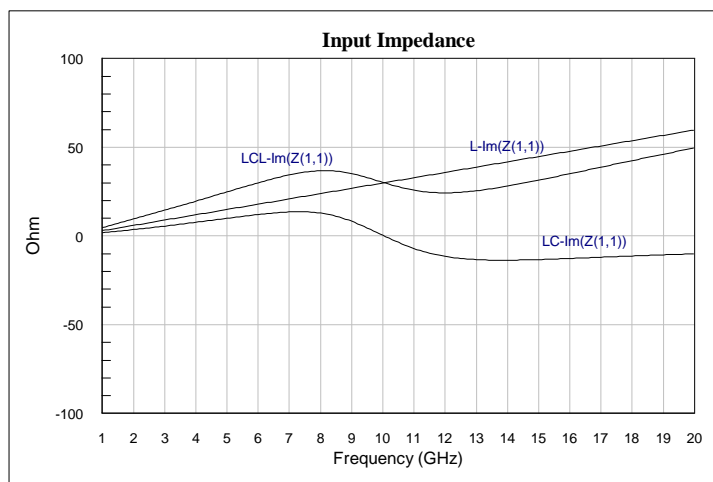


Рис. 4. Типовые частотные характеристики их реактивного сопротивления цепей на рисунке 3 (для а) L-Im(Z(1,1)), для б) LC-Im(Z(1,1)), для в) LCL-Im(Z(1,1))).

Результаты моделирования

С использованием характеристик транзистора MGF4953B и базовой схемы цепи согласования на рисунке 3 в) было проведено компьютерное моделирование схемы с целью поиска номиналов элементов цепи согласования, обеспечивающих наименьший коэффициент шума схемы. На рисунке 5 приведены результаты моделирования. Видно, что в диапазоне частот 9-11 ГГц коэффициент шума усилителя (обозначено треугольниками) практически не отличается от минимально достижимого коэффициента шума для данного транзистора.

На рисунке 6 приведена схема с номиналами элементов. Высокие характеристики согласования обеспечиваются при сопротивлении источника сигнала 26 Ом. Это значит, что на входе схемы согласования со стороны источника сигнала должен быть добавлен трансформатор импеданса, например, микрополосковый на базе ступенчатого или плавного перехода.

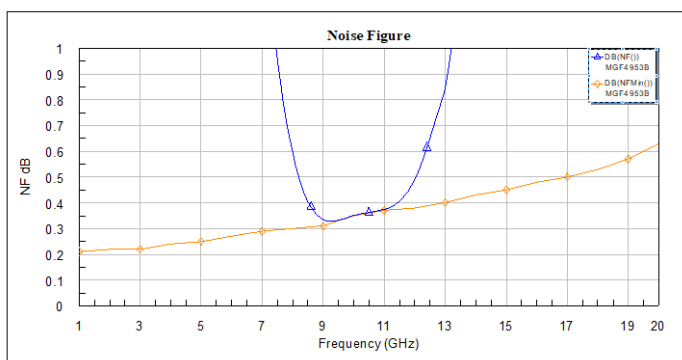


Рис. 5. Коэффициент шума - результаты моделирования схемы на рисунке 3с.

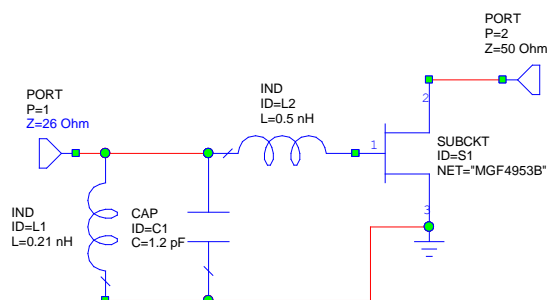


Рис. 6. Электрическая схема согласующей цепи - результаты моделирования схемы на рисунке 3с.

На рисунках 7 и 8 показаны результаты разработки сверхширокополосного МШУс полосой 2-20 ГГц, имеющего аналогичную компоновку и имеющего коэффициент шума в полосе частот лучше 1,2 дБ. Полученные характеристики превосходят характеристики серийно изготавливаемых модульных

усилителей. Аналогичные результаты получены при использовании микрополосковых линий вместо индуктивностей и емкостей.

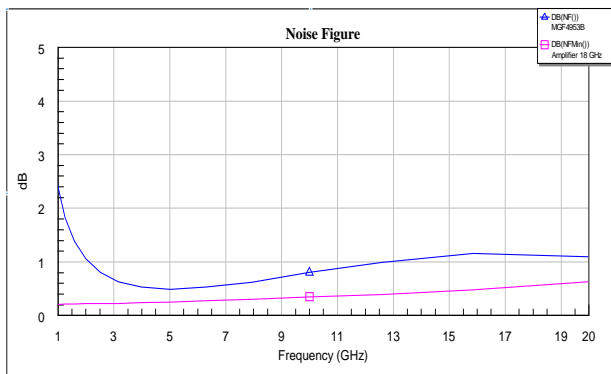


Рис. 7. Коэффициент шума широкополосной схемы - результаты моделирования схемы на рисунке 3с.

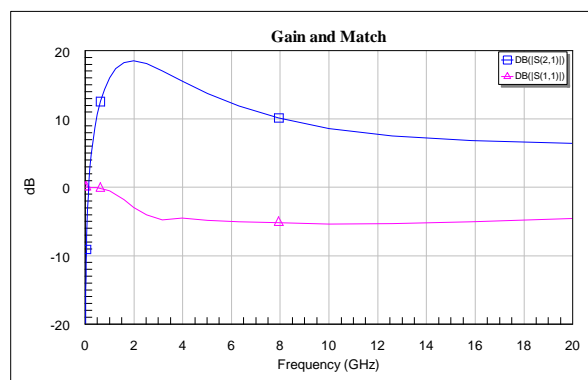


Рис. 8. Коэффициент передачи и коэффициент отражения входа широкополосной схемы согласующей цепи - результаты моделирования схемы на рисунке 3с.

Заключение

В докладе использован эвристический подход к проектированию малошумящих СВЧ усилителей. Данный подход не требует использования сложных вычислительных алгоритмов и позволяет получить высокие результаты. В докладе в качестве примера приведены варианты согласующих цепей, полученные в результате компьютерного моделирования, которые показывают возможности метода. Полученные результаты ориентированы на широкий круг разработчиков приемных устройств СВЧ.

Литература

1. Горшков, К. С. Автоматизированный синтез линейных электрических цепей методом схемных определителей, Ульяновск: УлГТУ, 2013., 139 с.
2. Вольхин Д. И. Синтез широкополосных согласующих устройств с заданными фазовыми характеристиками, Автореф. дис. канд. техн. наук 05.12.07, Новосибирский гос. техн. ун-т, Новосибирск, 2018., 148 с.

REFERENCES

1. Gorshkov, K. S. Automated synthesis of linear electrical circuits by the method of circuit determinants, Ulyanovsk: UIGTU, 2013., 139 p.
2. Volkhin D. I. Synthesis of broadband matching devices with specified phase characteristics, Abstract of the thesis. dis. cand. tech. Sciences 05.12.07, Novosibirsk state. tech. un-t, Novosibirsk, 2018., 148 p.