

Расчётно-экспериментальная методика согласования мощного СВЧ транзистора

Представлена расчётно-экспериментальная методика определения входного и выходного импеданса мощных СВЧ транзисторов. Методика позволяет оперативно рассчитывать номиналы ёмкостей и индуктивностей, обеспечивающих получение максимальной выходной мощности транзистора. Приведены результаты применения методики и ограничения, возникающие при проектировании согласующих цепей.

Ключевые слова: СВЧ усилители мощности, согласующие цепи, СВЧ транзисторы

Введение

Схема согласования транзистора с линией определяет важнейшие параметры усилителя – выходную мощность, КПД, полосу рабочих частот, габариты. В ряде случаев традиционное согласование кристаллов с помощью распределённых микрополосковых цепей исключается из-за больших размеров согласующей топологии, особенно в L- и S- диапазонах частот. С целью уменьшения габаритов усилителя применяется согласование на сосредоточенных элементах (чип-конденсаторах и индуктивностях), при этом в расчёте учитываются реактивности элементов монтажа (соединительных проволочек, заземляющих отверстий, и т. п.). В работе представлена расчётно-экспериментальная методика оперативного определения схемы согласования мощного полевого GaAs СВЧ бескорпусного транзистора.

Основная часть

В настоящее время проектирование усилителя основывается на использовании нелинейной модели мощного СВЧ транзистора. Нелинейная модель разрабатывается с помощью измерений сопротивлений истока, стока, затвора, ВАХ и S-параметров транзистора. Затем данные вставляются в пакет моделирования, например, «Materka – Kasparzak» и рассчитывается оптимальная цепь согласования [1]. Как видно, процесс трудоёмкий, требует сложной и дорогостоящей аппаратуры и большого времени расчёта. Нами предложена упрощённая методика, позволяющая оперативно определить цепь согласования, при которой транзистор отдаёт максимальную мощность.

На первом этапе в 50-омной МПЛ с помощью индиевой фольги вблизи затвора и стока транзистора экспериментально создаются микрополосковые топологии с приблизительно правильными геометрическими формами, как показано на рис 1.

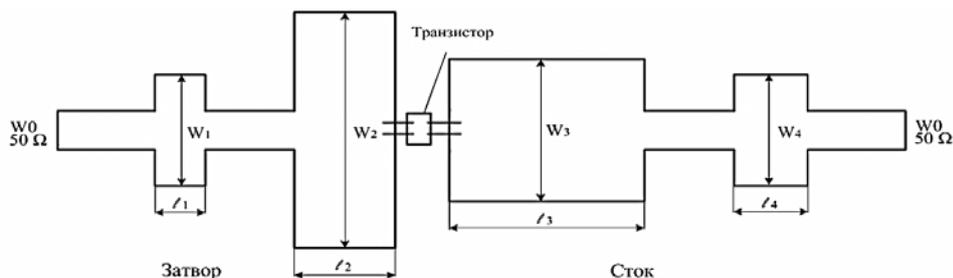


Рис.1. Топология согласования транзистора

Фольга имеет хорошую адгезию к поликору и формирование топологии, при которой транзистор на заданной частоте будет выдавать максимальную мощность, не вызывает больших затруднений. Топологический рисунок, конечно же, не оптимальный и может значительно превышать допустимые размеры цепи согласования. Полученная топология вносится в широко применяемую программу AWR расчёта СВЧ цепей, при этом затвор и сток транзистора представляются эквивалентными схемами, изображёнными на рис. 2

На втором этапе с помощью той же программы проводится оптимизация значений активной составляющей R_3 и реактивных элементов C_3 , L_3 , при которых коэффициент отражения со стороны нагрузки будет минимальным на центральной частоте. Учитывая, что условием согласования является равенство активных сопротивлений и реактивных, но с противоположным знаком, можно определить входной импеданс транзистора, т. е. значения $R_3 \text{ опт}$, $C_3 \text{ опт}$, $L_3 \text{ опт}$. Таким же образом определяются элементы стока $R_c \text{ опт}$, $C_c \text{ опт}$, $L_c \text{ опт}$.

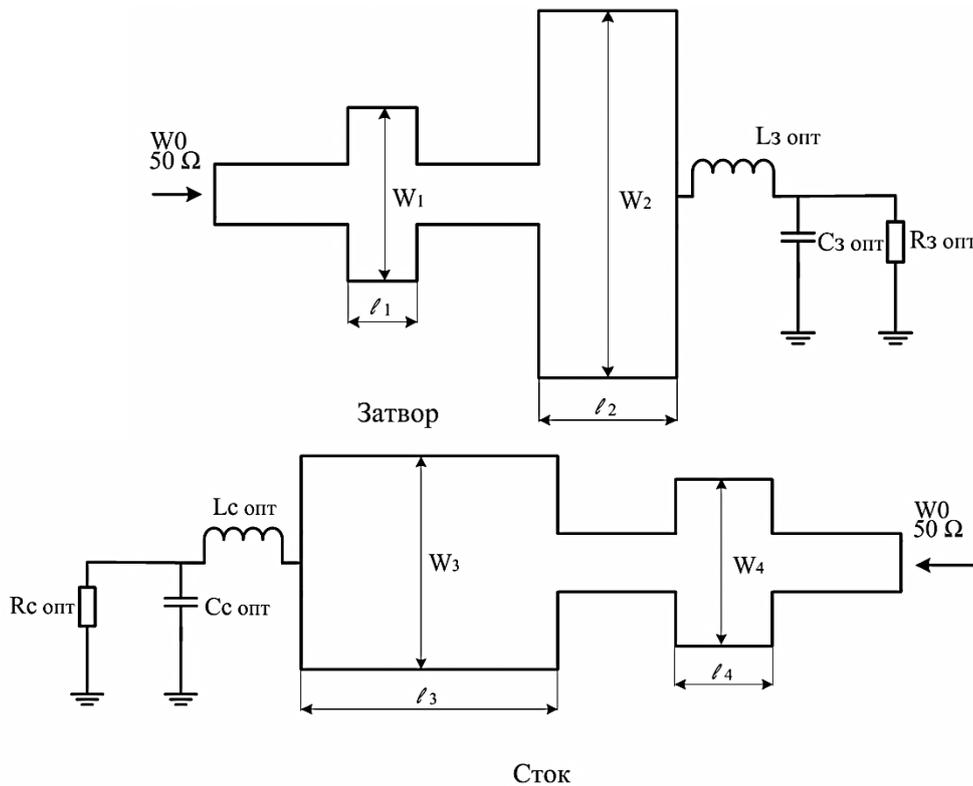


Рис. 2. Расчетные значения входных импедансов затвора и стока

На третьем этапе с помощью программы AWR проводится синтез оптимальных согласующих цепей на сосредоточенных элементах, обеспечивающих заданную полосу согласования затвора и стока транзистора (минимальный коэффициент отражения в рабочей полосе частот от нагрузок $R_3 \text{ опт}$, $C_3 \text{ опт}$, $L_3 \text{ опт}$, $R_c \text{ опт}$, $C_c \text{ опт}$, $L_c \text{ опт}$). В расчёте учитываются паразитные элементы монтажа конденсаторов, заземляющих отверстий в плате. В результате расчёта определяется топология МПЛ, количество чип-конденсаторов, их номиналы и места включения от затвора и стока транзистора (рис. 3). На рис. 4 показана реализация синтезированной схемы для полевых GaAs бескорпусных транзисторов 3П 976В с $R_{вых}$ 1,7 Вт производства «НПП «Исток» им. А. И. Шокина». На этом рисунке представлен выходной каскад с суммированием мощности четырёх транзисторов, каскад обеспечивает выходную мощность 6 Вт на частотах 3,9 - 4,2 ГГц.

Ориентировочную проверку полученных согласующих цепей можно проводить расчётом АЧХ, используя S-параметры транзистора (если они имеются). Однако, представленный метод имеет некоторые ограничения:

- нет возможности расчёта АЧХ транзистора в режиме большого сигнала;

- применение сосредоточенных элементов возможно на частотах не выше 6 ГГц.

Как показывает практика, синтезированная согласующая цепь по минимальному коэффициенту отражения от входа и выхода транзистора обеспечивает получение максимальной выходной мощности. Ограничение по частоте связано с размерами чип-конденсаторов и влиянием паразитных реактивностей монтажа транзистора и

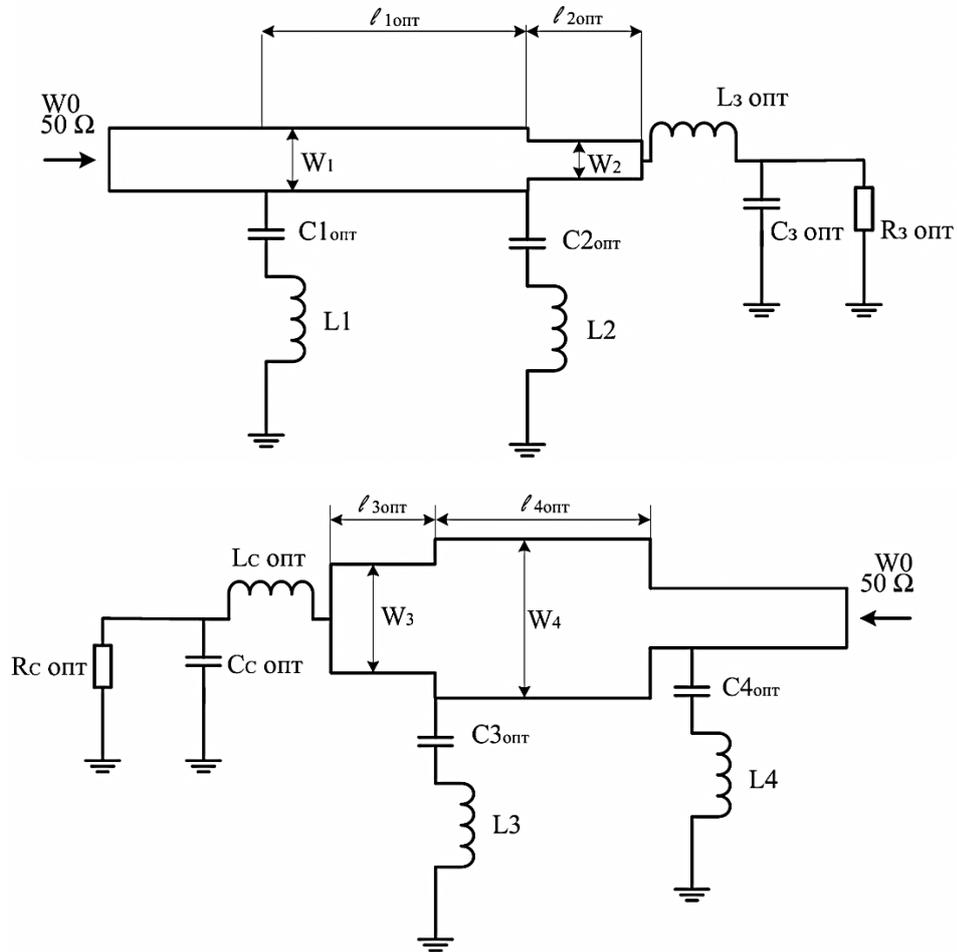


Рис.3. Синтезированная схема согласования затвора и стока

сосредоточенных элементов. На высоких частотах согласование проводят, например, с использованием керамики с высокой диэлектрической проницаемостью. Для мощных СВЧ транзисторов с большой шириной затвора (более 4 мм) согласовывается каждая секция транзистора с последующим суммированием мощности секций [2].

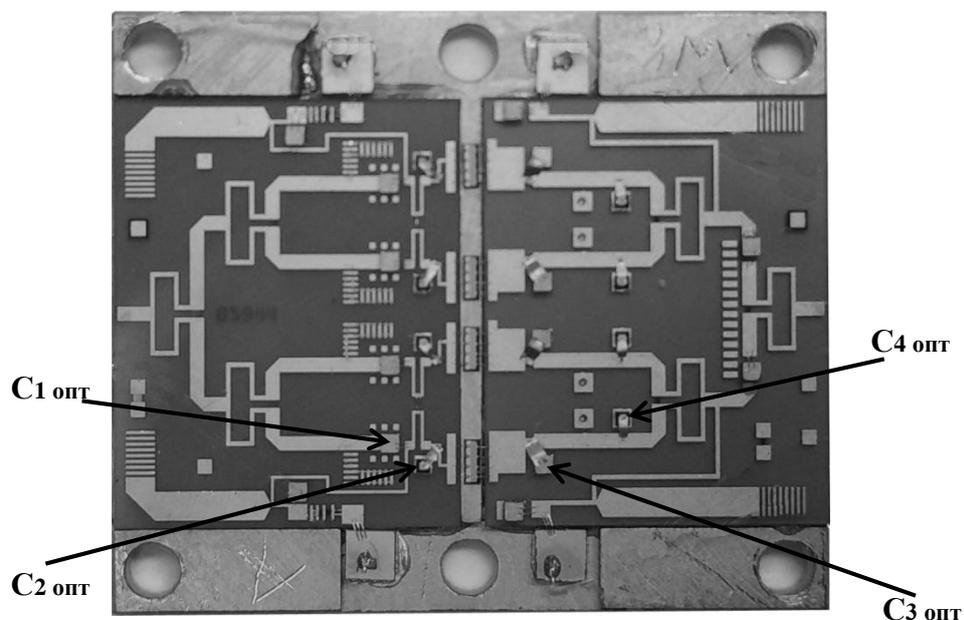


Рис.4. Выходной каскад с использованием сосредоточенных элементов в согласующих цепях

Заклучение

Представлена методика оперативного определения согласующих цепей на сосредоточенных элементах, позволяющая получить максимальную выходную мощность СВЧ транзистора. Цепи имеют малые размеры и дают возможность суммирования мощности нескольких транзисторов при ограниченных габаритах усилителя.

Библиографический список

1. Климова А. В., Королёв А. Н., Красник В. А., Манченко Л. В., Пчелин В. А. «Сравнение нелинейных моделей для транзисторов с субмикронным затвором» Радиотехника, 2006 г. № 3, с.72-77.
2. Галдецкий А.В., Климова А.В. Манченко Л.В., Пашковский А.Б., Пчелин В.А., Силин Р.А., Чепурных И.П. «Моделирование согласующих цепей мощных полевых транзисторов на керамике с высокой диэлектрической проницаемостью» Севастополь, 11-15 сентября 2006г.: Материалы конференции, Севастополь: «Вебер», с. 169-170, 2006г.