

# ПОДАВЛЕНИЕ САМОВОЗБУЖДЕНИЯ В МОЩНЫХ САМОСОГЛАСОВАННЫХ ТРАНЗИСТОРАХ X-ДИАПАЗОНА С ПОВЫШЕННЫМ КОЭФФИЦИЕНТОМ УСИЛЕНИЯ

Галдецкий А. В., Манченко Л. В., Пашковский А. Б., Пчелин В. А.  
ФГУП НПП «Исток» Вокзальная 2а, г. Фрязино, Московская обл. 141190, Россия  
Тел.: (495) 4658620, e-mail: solidstate10@mail.ru

**Аннотация** – Для мощных самосогласованных транзистор на гетероструктурах с селективным легированием, позволяющих получать мощность более 10 Вт при коэффициенте усиления более 13 дБ в X-диапазоне длин волн, проведен анализ проблем, связанных с устойчивостью, приведены варианты построения схем таких транзисторов, исключающих паразитную генерацию.

## I. Введение

При разработке усилителей мощности (УМ) и самосогласованных транзисторов (ВСТ) сантиметрового диапазона длин волн одной из основных проблем является низкочастотное самовозбуждение. Проблема тем актуальней, чем выше выходная мощность и коэффициент усиления прибора, и чем меньше его размеры. Наличие нескольких элементарных транзисторов в общем чипе мощного транзистора, общие цепи питания многокаскадного прибора приводят к появлению различных петель обратной связи (ОС). Из-за фазовых сдвигов, вносимых элементами схемы УМ или ВСТ, ОС может оказаться положительной на краях рабочей полосы частот, или за ее пределами. Проблемам устойчивости посвящено большое количество работ, разработаны общепринятые методики анализа самовозбуждения [1-2] и приемы его устранения. Однако для ВСТ с высоким коэффициентом усиления и большой мощностью, имеющих сложные схемы суммирования, решение проблемы самовозбуждения имеет свои индивидуальные особенности. В данной работе будет затронут ряд проблем, с которыми пришлось столкнуться при разработке мощных двухкаскадных ВСТ сантиметрового диапазона длин волн.

## II. Основная часть

К разрабатываемому прибору предъявлялись весьма специфические требования: выходная мощность не менее 10 Вт в полосе 10%, коэффициент усиления не менее 13 дБ, КПД не менее 25%. Схема ВСТ должна располагаться в корпусе, имеющем ограниченные размеры. Напряжения подаются на вход и выход корпуса, устройство работает в импульсном режиме. Эти требования сделали разрабатываемый прибор крайне проблемным в отношении самовозбуждения по крайней мере по трем пунктам.

1. Требования по выходной мощности и коэффициенту усиления определили структуру ВСТ в виде двухкаскадной схемы со сложением мощностей 4-х транзисторов в выходном каскаде. Ограничения по размерам схемы привели к близкому расположению согласующие-суммирующих элементов схемы и цепей питания.

2. Разводка питания с входа и выхода схемы на первый и второй каскады создала петлю ОС, т.е. каскады оказались связанными по цепям питания.

3. Работа ВСТ в импульсном режиме создает дополнительные условия для самовозбуждения схемы. Требования по КПД предполагает использование гетероструктурных полевых транзисторов. В этих ВСТ

применены транзисторы, состоящие из 4 ячеек с шириной затвора 1 мм каждая [3] и имеющие выходную мощность не менее 4х ватт при напряжении питания 10 В. В области малых напряжений на стоке у гетероструктурных полевых транзисторов возрастают (по сравнению с рабочими напряжениями) крутизна и емкость обратной связи, а входная емкость уменьшается [4]. Вследствие этих причин проблемы самовозбуждения приборов на низких частотах и при малых (порядка 2 - 3 вольт) напряжениях на стоках транзисторов стали одними из наиболее острых при разработке данного варианта ВСТ.

Стандартный метод анализа устойчивости четырехполюсника требует положительных значений коэффициента устойчивости  $K$ :

$$K = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta|^2}{2 \cdot |S_{12} \cdot S_{21}|},$$

где

$$\Delta = |S_{11} \cdot S_{22} - S_{12} \cdot S_{21}|$$

Из этой формулы видно, что неустойчивое состояние схемы ( $K < 0$ ) соответствует положительным значениям  $S_{11}$  или  $S_{22}$ , измеряемыми в децибелах. При проектировании схемы значения  $S_{11}$  и  $S_{22}$  контролировались на частотах от 100 МГц до 12 ГГц.

Для подавления самовозбуждения ВСТ цепи питания затворов транзисторов подключались через небольшой резистор. Также для разрыва петель ОС была применена схема построения прибора, приведенная на рис. 1.

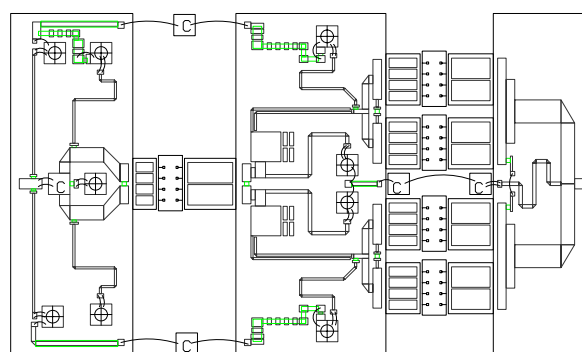


Рис. 1. Топология двухкаскадного ВСТ.

Fig. 1 Topology of the power amplifier

В выходной цепи первого каскада этой схемы формируются два канала передачи сигнала. В каждом канале суммируется мощность двух ячеек транзистора. Затем эта мощность распределяется между двумя транзисторами второго каскада. В выходной цепи ВСТ суммируется мощность четырех транзисторов.

Как видно из рисунка 1, на входе второго каскада вместо разделительного конденсатора помещен полотно-пропускающий фильтр на связанных микропо-

лосковых линиях. Это позволило улучшить развязку между каскадами на низких частотах. В схеме ВСТ с разделительным конденсатором между каскадами возникла паразитная генерация на частотах порядка 100 МГц. На рисунке 2 приведены частотные зависимости модуля  $S_{11}$  для двух вариантов ВСТ. При расчете этих зависимостей напряжение на стоке транзисторов принималось равным 3 В. Из рисунка видно, что включение в схему ВСТ фильтра на связанных линиях позволило подавить самовозбуждение ВСТ на низких частотах.

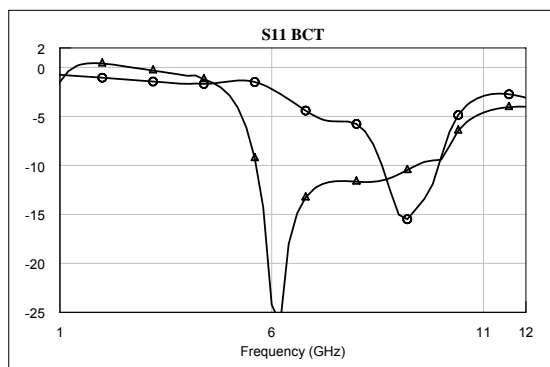


Рис. 2. Частотная зависимость  $|S_{11}|$  двух вариантов схемы ВСТ: с конденсатором между каскадами ( $\Delta$ ), с разделительным фильтром (O).

Fig. 2. Frequency dependence  $|S_{11}|$  with a blocking capacitor ( $\Delta$ ) and with a separating filter (O)

Следует заметить, что в рабочем режиме ( $U_{ст} = 8В$ ) схема была устойчивой во всем диапазоне частот. Однако при работе в импульсном режиме при малых напряжениях на стоке появился (как в расчетах, так и в эксперименте) еще один механизм возникновения паразитной генерации, связанный с поведением фильтров питания схемы ВСТ (рис. 3).

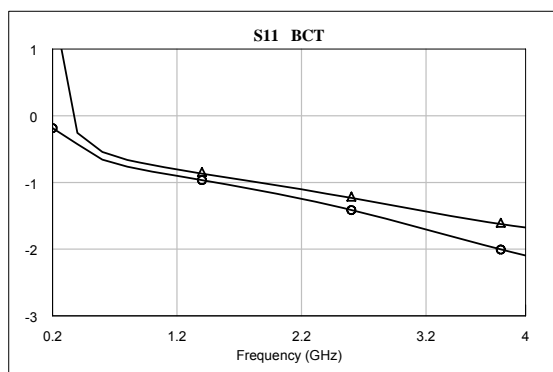


Рис. 3. Частотная зависимость  $|S_{11}|$  двух вариантов схемы ВСТ: с конденсаторами 14 пФ ( $\Delta$ ), с конденсаторами 100 пФ (O).

Fig. 3. Frequency dependence  $|S_{11}|$ : capacitors 14pF ( $\Delta$ ), capacitors 100pF (O)

В однокаскадных ВСТ, разработанных раньше [5], в фильтрах цепей питания использовались блокировочные конденсаторы номиналом 14 пФ. Такой номинал конденсаторов позволял обеспечить устойчивую работу схемы ВСТ с обычными полевыми транзисторами. Для транзисторов на гетероструктурах, как видно из рисунка 3, пришлось увеличивать номинал блокировочных конденсаторов, чтобы подавить паразитную генерацию ВСТ на низких частотах.

### III. Заключение

Описанные выше схемотехнические решения позволили разработать двухкаскадный ВСТ, обеспечивающий в X-диапазоне длин волн выходную мощность более 10 Вт с коэффициентом усиления более 13 дБ в корпусе с внутренними размерами 10x14x1,8 мм. В настоящее время изготовлено несколько десятков ВСТ данного типа, устойчиво работающих как в непрерывном, так и в импульсном режимах.

### IV. Список литературы

- [1] Douglas J. H. Maclean Stability Margins in Microwave Amplifiers, IEEE Transactions on Microwave Theory Tech., Vol. MTT-32, No. 3, pp. 237-242, 1984.
- [2] Ken Wang, Marty Jones, and Steve Nelson A New, Cost-Effective, 4-Gamma Method for Evaluating Multi-Stage Amplifier Stability, IEEE MTT-Symposium Digest, pp.829-832, 1992.
- [3] TriQuint Semiconductor, Advance Product Information, September 19, 2005 Web: www.triquint.com.
- [4] Шур М. "Современные приборы на основе арсенида галлия" М.Мир. 1991. с.327.
- [5] Королев А. Н., Климова А. В., Красник В. А., Ляпин Л. В., Малыщук В. М., Манченко Л. В., Пчелин В. А., Трегубов В. Б. "Мощные корпусированные внутрисогласованные транзисторы S-, C-, X- и Ku- диапазонов длин волн." Радиотехника. № 3, 2007, с. 53-56.

## ELIMINATION OF PARASITIC GENERATION IN POWER X-BAND INTERNALLY MATCHED TRANSISTORS WITH HIGH ASSOCIATED GAIN

Galdetskiy A. V., Manchenko L. V.  
Pashkovskii A. B., Pchelin V. A.  
Federal State Unitary Corporation R&PC «Istok»  
2a Vokzalnaya Str., Fryazino  
Moscow reg., 141190, Russia  
Ph.: (095) 4658620, e-mail: solidstate10@mail.ru

**Abstract** – Stability problems for X-band internally matched HEMT's with output power higher than 10 W, associated gain higher than 13 dB are discussed. Several variants of schematic design for parasitic generation elimination are proposed.