

Материалы и компоненты изделий электронной техники

УДК 621.396

Подавление паразитной генерации в ГИС СВЧ выходного каскада усилителей мощности

© Авторы, 2017

© ООО «Издательство «Радиотехника», 2017

В.А. Иовдальский – д.т.н., зав. лабораторией, АО «НПП «Исток» им. Шокина» (г. Фрязино, Моск. обл.); доцент, Московский технологический университет (МИРЭА)

В.П. Марин – академик АПК, д.т.н., профессор, Московский технологический университет (МИРЭА)

В.С. Серегин – д.т.н., ген. директор – ген. конструктор, ЗАО «НПО «НИИТАЛ» (Москва)

И.А. Соколов – к.т.н., ген. директор – ген. конструктор, АО «НИИ «Микроприбор» им. Г.Я. Гуськова (Москва)

В.В. Кузнецов – к.т.н., доцент, зав. кафедры оптико-электронных приборов и систем, Московский технологический университет (МИРЭА)

Рассмотрено решение проблемы подавления высокочастотной паразитной генерации в гибридных интегральных схемах СВЧ-диапазона с двухъярусным расположением кристаллов полевых транзисторов с диодами Шоттки путем уменьшения длины соединений за счет объединения в группу из четырех кристаллов.

Ключевые слова: высокочастотная паразитная генерация, ГИС СВЧ-диапазона с двухъярусным расположением кристаллов ПТШ, усилители мощности, сложение мощности.

The solution of the problem of high frequency spurious oscillation suppression in microwave HIC with two-tiered arrangement of Schottky-gate FET crystals by means of decreasing the joint lengths at the expense of combining them into a group of 4 crystals has been reported.

Keywords: high frequency spurious oscillation, microwave HIC with two-tiered arrangement of Schottky-gate FET crystals, power amplifiers, power addition.

В последние годы резко увеличивается потребность в разработке радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) СВЧ-диапазона народно-хозяйственного и специального назначения. Одной из составных частей такой аппаратуры являются усилители мощности. Современные усилители мощности создаются на базе полевых транзисторов с диодами Шоттки (ПТШ) в гибридно-интегральном исполнении. При создании гибридных интегральных схем (ГИС) усилителей мощности возникают серьезные проблемы, связанные с необходимостью подавления паразитной генерации [1]. Обычно, если в ГИС усилителя мощности возникает высокочастотная генерация, то ее необходимо подавлять на этапе настройки параметров. Это может осуществляться, например, увеличением сопротивления подводящего полоска в цепи затвора ПТШ.

Ц е л ь р а б о т ы – решить проблему подавления высокочастотной паразитной генерации в ГИС СВЧ-диапазона с двухъярусным расположением кристаллов ПТШ путем уменьшения длины соединений за счет объединения в группу из четырех кристаллов.

Аналитическая часть

Изучение причин возникновения высокочастотной генерации привело к пониманию того, что с ростом частоты более 3...4 ГГц размеры кристаллов ПТШ становятся соизмеримы с длиной волны. Это приводит к образованию обратных связей в схеме каскада усиления, нарушающих стабильный режим усиления мощности [2]. Важным является применение ПТШ, по возможности, с одинаковыми (или близкими) характеристиками. Это обеспечивает одинаковое токопрохождение и, как следствие, одинаковые тепловые режимы работы ПТШ. Обычно это достигается использованием кристаллов, изготовленных на одной полупроводниковой пластине в одном технологическом процессе. Нарушение температурных режимов вызывает нарушение электрических режимов работы транзисторов и разбаланс между внутренними и внешними ячейками схемы, что также вызывает паразитную генерацию. Для подавления паразитной генерации специалисты фирмы Mitsubishi [2] предложили использование схемы с восемью транзисторными ячейками (рис. 1).

Восемь транзисторных ячеек разделены на четыре блока, в каждом по две ячейки. Причем число транзисторных ячеек в блоке было выбрано таким образом, чтобы длина цепи обратной связи не превышала критического размера, при котором уже возникает паразитная генерация. Для исключения пара-

зитной генерации, вызываемой дисбалансом между блоками, рядом с кристаллом в цепях согласования были размещены изолирующие резисторы.

На рис. 2 представлены используемые согласующие цепи, сформированные из четвертьволновых микрополосковых отрезков. Первые согласующие секции состоят из четырех микрополосковых линий, каждая из которых связана с транзисторными ячейками с помощью отрезков проволоки. Вторые согласующие секции служат делителем со стороны входа транзистора или сумматором со стороны его выхода. На рис. 2 показано, что в схеме могут проявляться две цепи паразитной генерации. Более длинная цепь обозначена как цепь «А», а более короткая – как цепь «В». Для проведения экспериментального исследования были сделаны опытные образцы, в которых цепи питания изготавливались на отдельных подложках. Исследования проводились на частотах, соответствующих S- и C-диапазнам. При проведении исследований генерация не наблюдалась.

С появлением новой конструкции ГИС СВЧ-диапазона с двухъярусным расположением кристаллов ПТШ [3] проблема подавления генерации остается актуальной.

В то же время анализ конструкции некоторых ПТШ показывает, что они состоят из нескольких отдельных транзисторных ячеек, которые объединяются единым топологическим рисунком металлизации [3, 4] с целью наращивания их мощности. Особенностью такой конструкции является сравнительно близкое расположение объединяемых отдельных транзисторных ячеек (или секций), всего несколько микрон, и достаточно короткие связи между ними, что должно снижать возможность возникновения паразитной генерации [4]. В работах [4–7] представлены результаты исследования опытных образцов, которые подтверждают правильность данного предположения. При проведении исследований генерация наблюдалась на первой партии ГИС СВЧ с достаточно большим расстоянием между кристаллами (100 мкм). Однако на партиях с расстояниями между кристаллами ПТШ, примерно равными расстояниям между отдельными секциями в кристалле (16 мкм), генерация на частотах до 6 ГГц не наблюдалась.

Конструкторская часть

Дальнейшее совершенствование конструкции ГИС предполагает объединение двух пар кристаллов в группу из четырех кристаллов (рис. 3). Здесь использован принцип сложения мощности кристаллов ПТШ с балочными выводами, каждый из которых присоединяется сразу к контактным площадкам двух кристаллов. Затем эти пары кристаллов соединяются параллельно через балочные выводы, которые, в свою очередь, присоединяются к пленочным проводникам микрополосковой платы ГИС.

Отличительной особенностью конструкции является применение балочных выводов, которые предназначены для присоединения, по меньшей мере, двух кристаллов ПТШ каждый [8]. Такое присоединение кристаллов предполагает их установку на строго определенном месте и с фиксированным расстоянием между ними. Это позволяет сократить длину внутрисхемных соединительных проводников и, тем

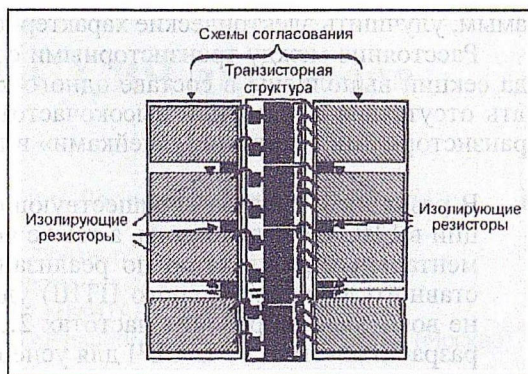


Рис. 1. Топология GaAs HTMT с элементами схем согласования



Рис. 2. Схемы согласования транзистора

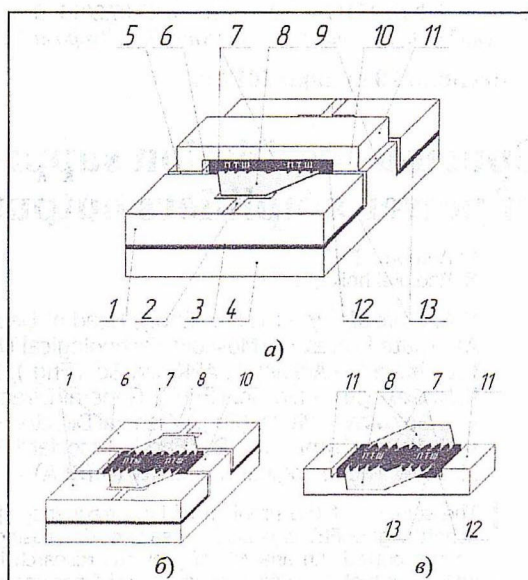


Рис. 3. Топология фрагмента предложенной мощной ГИС СВЧ (а) и его составных частей (б, в): 1 – диэлектрическая подложка; 2 – топологический рисунок металлизации; 3 – экранная заземляющая металлизация; 4 – металлическое теплоотводящее основание; 5 – отверстие в диэлектрической подложке; 6 – выемка в металлическом основании; 7 – кристаллы транзисторов; 8 – плоские балочные выводы кристаллов транзисторов; 9 – выступ на металлическом теплоотводящем основании; 10 – монтажные площадки; 11 – металлическая хорошо электро- и теплопроводящая пластина; 12 – канавка в металлической хорошо электро- и теплопроводящей пластине; 13 – хорошо электро- и теплопроводящее связующее вещество

самым, улучшить электрические характеристики ГИС за счет уменьшения паразитной индуктивности.

Расстояние между транзисторными секциями соизмеримо с расстоянием между транзисторами, когда секции выполнены в составе одного кристалла. В этом случае естественным образом следует ожидать отсутствия паразитной высокочастотной генерации, обусловленной дисбалансом сигналов между транзисторными секциями («ячейками» в терминологии работы [5]).

- В результате анализа предшествующих разработок в области подавления высокочастотной генерации в ГИС СВЧ-диапазона, а также анализа конструкции транзисторных структур ПТШ и экспериментальных результатов по реализации ГИС СВЧ двухъярусных транзисторных сборок (или составного двухкристального ПТШ) удалось получить ГИС, на которых высокочастотная генерация не возникала на рабочих частотах 2...6 ГГц, а также уточнить конструкцию и критичные размеры разрабатываемых ГИС СВЧ для успешного подавления генерации уже в процессе их создания.

Литература

1. Гаврилов И.А., Былкин В.И., Карпов Ю.В. Научно-технич. отчет № 9-9176 «Разработка линейных транзисторных усилителей СВЧ с выходной мощностью 0,7 Вт в диапазонах частот 1...2 и 2...4 ГГц с коэффициентом усиления не менее 33 дБ». 2001.
2. GaN NEMT с выходной мощностью 140 Вт в диапазоне 5 ГГц // Новости СВЧ-техники. 2006. № 7. С. 5–8. (13th GaAs Symposium Digest. Paris. 2005.).
3. Иовдальский В.А. Новая концепция сложения мощности кристаллов ПТШ в ГИС усилителей мощности СВЧ-диапазона // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. 2006. № 1(487). С. 44–51.
4. Иовдальский В.А. Подавление паразитной генерации в ГИС СВЧ усилителей мощности // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. 2010. № 4(507). С. 72–75.
5. GaN-усилитель с выходной мощностью 200 Вт в С-диапазоне // Новости СВЧ-техники. 2009. № 5. С. 8–10. (IEEE MTT-S Digest. 2007. P. 1251–1254.).
6. Иовдальский В.А., Латын В.Г., Пчелин В.А. Двухъярусная транзисторная сборка для усилителей мощности СВЧ-диапазона // Электронная техника. Сер. 1. СВЧ-техника. 2009. № 4(503). С. 38–41.
7. Иовдальский В.А., Пчелин В.А., Латын В.Г. Составной двухъярусный транзистор для усилителей мощности СВЧ-диапазона.
8. Пат. РФ № 2541725, приоритет от 23.07.2013. Выводная рамка для многокристального полупроводникового прибора СВЧ / Иовдальский В.А., Дудинов К.В., Моргунов В.Г., Кудрова Т.С.; МПК H01 L 23/48, зарегистр. в Гос. реестре изобретений РФ 15.01.2015.

Поступила 10 января 2017 г.

Spurious oscillation suppression in microwave HIC of power amplifiers output stage

© Authors, 2017
© Radiotekhnika, 2017

V.A. Iovdalsky – Dr. Sc. (Eng.), Head of Department, JSC «RPC «Istok» named after Shokin (Fryazino, Moscow reg.); Associate Professor, Moscow Technological University (MIREA)

V.P. Marin – Academic APK, Dr. Sc. (Eng.), Professor, Moscow Technological University (MIREA)

V.S. Seregin – Dr. Sc. (Eng.), General Director – General Designer, JSC «SPA «NIITAL» (Moscow)

I.A. Sokolov – Ph. D. (Eng.), General Director – General Designer, JSC «NII «Micropribor» named after G.J. Guskov (Moscow)

V.V. Kuznetsov – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Head of Department of Optics-Electronic Devices and Systems, Moscow Technological University (MIREA)

The solution of the problem of high frequency spurious oscillation suppression in microwave HIC with two-tiered arrangement of Schottky-gate FET crystals by means of decreasing the joint lengths at the expense of combining them into a group of 4 crystals has been reported. An analysis of previous research in the field of high-frequency generation suppression managed to get the HIC, in which the high-frequency generation did not occur at the frequencies 2...6 GHz, as well as to clarify the structure and critical dimensions of the developed microwave HIC for successful suppression of generation already in the process of their creation.

References

1. Gavrilov I.A., Bylkin V.I., Karpov Yu.V. Nauchno-texnich. otchet № 9-9176 «Razrabotka linejnyx tranzistornyx usilitelej SVCh s vy'xodnoj moshhnost'yu 0,7 Vt v diapazonax chastot 1...2 i 2...4 GGcz s koefficientom usileniya ne menee 33 dB». 2001.
2. GaN NEMT s vy'xodnoj moshhnost'yu 140 Vt v diapazone 5 GGcz // Novosti SVCh-texniki. 2006. № 7. S. 5–8. (13th GaAs Symposium Digest. Paris. 2005.).
3. Iovdal'skij V.A. Novaya koncepcziya slozheniya moshhnosti kristallov PTSh v GIS usilitelej moshhnosti SVCh-diapazona // E'lektronnaya texnika. Ser.1. SVCh-texnika. 2006. № 1(487). S. 44–51.
4. Iovdal'skij V.A. Podavlenie parazitnoj generaczii v GIS SVCh usilitelej moshhnosti // E'lektronnaya texnika. Ser.1. SVCh-texnika. 2010. № 4(507). S. 72–75.
5. GaN-usilitel' s vy'xodnoj moshhnost'yu 200 Vt v S-diapazone // Novosti SVCh-texniki. 2009. № 5. S. 8–10. (IEEE MTT-S Digest. 2007. P. 1251–1254.).
6. Iovdal'skij V.A., Lapy V.G., Pchelin V.A. Dvux'yarusnaya tranzistornaya sborka dlya usilitelej moshhnosti SVCh-diapazona // E'lektronnaya texnika. Ser.1. SVCh-texnika. 2009. № 4(503). S. 38–41.
7. Iovdal'skij V.A., Pchelin V.A., Lapy V.G. Sostavnoj dvux'yarusnyj tranzistor dlya usilitelej moshhnosti SVCh-diapazona.
8. Pat. RF № 2541725, prioritet ot 23.07.2013. Vy'vodnaya ramka dlya mnogokristal'nogo poluprovodnikovogo pribora SVCh / Iovdal'skij V.A., Dudinov K.V., Morgunov V.G., Kudrova T.S.; MPK N01 L 23/48, zaregistr. v Gos. reestre izobretenij RF 15.01.2015.