

2. Проект КСУП-1305. Программа анализа и обработки СВЧ-измерений [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://gpo.tusur.ru/chairs/17/projects/915>, свободный (дата обращения: 11.09.2014).

3. Информация о методах деэMBEDдинга [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.ellics.com/dataviewer/DataViewer_v.1.5.2_De_embedding.pdf, свободный (дата обращения: 11.09.2014).

УДК 621.382.323

РАЗРАБОТКА ДВУХПОЛОСНОГО СВЧ-УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ GaN НЕМТ ТРАНЗИСТОРА

А.А. Кокотов, Ф.И. Шеерман, П. Колантонио, Л.И. Бабак

Представлены результаты разработки двухполосного усилителя мощности L-диапазона (1,28 и 2,14 ГГц) на GaN НЕМТ-транзисторе. С целью повышения выходной мощности и КПД был осуществлен оптимальный выбор импедансов нагрузки транзистора на основной частоте и гармониках в обеих полосах пропускания. Для проектирования выходной согласующей цепи (СЦ) усилителя по этим данным применена новая компьютерная процедура, которая реализована с помощью программы автоматического синтеза пассивных цепей, основанной на генетическом алгоритме, что позволило значительно облегчить и ускорить проектирование СЦ. Разработанный усилитель обладает следующими параметрами: $P_{out} = 37,28$ дБм, $G = 11$ дБ, $PAE = 42,1\%$ на частоте $f_1 = 1,28$ ГГц; $P_{out} = 35,7$ дБм, $G = 9$ дБ, $PAE = 23,7\%$ на частоте $f_2 = 2,14$ ГГц.

Ключевые слова: двухполосный усилитель мощности, GaN НЕМТ, синтез.

Расширение применений беспроводной связи приводит к тому, что для обеспечения работы связанных систем требуется организовывать множество каналов приема и передачи. Одним из возможных путей упрощения приемопередающей аппаратуры является применение многополосных устройств, в том числе фильтров и усилителей [1].

Среди существующих типов СВЧ-усилителей мощности (УМ) одним из наиболее перспективных с точки зрения выходной мощности и КПД являются УМ класса F и F^{-1} . При этом дополнительный прирост выходной мощности и КПД обеспечивается путем оптимального выбора импеданса нагрузки транзистора не только на основной частоте f_0 , но и на гармониках $2f_0$, $3f_0$.

Основной проблемой при разработке многополосных (в частности, двухполосных) УМ с настройкой по гармоникам является проектирование выходной СЦ усилительного каскада. Известные методики сложны, трудоемки и зачастую оказываются неэффективными – не всегда удается получить требуемые импедансы на всех гармониках, поэтому используют настройку только на частоте $2f_0$ [2].

В статье представлены результаты разработки двухполосного GaN НЕМТ УМ с настройкой по гармоникам, работающего на частотах 1,28 и 2,14 ГГц. Использована новая процедура синтеза выходной СЦ, основанная на генетическом алгоритме (ГА) [3].

В качестве активного элемента использовался GaN НЕМТ-транзистор NPBT00004 фирмы Nitronex, который обладает следующими характеристиками: напряжение пробоя 100 В, максимальный ток $\sim 1,3$ А, напряжение отсечки $-2,5$ В. Для проектирования была выбрана следующая рабочая точка транзистора:

$V_{ds} = 28$ В, $I_{ds} = 0,13$ А. На рис. 1 представлена структурная схема разрабатываемого СВЧ УМ. Его отличительной особенностью являются двухполосные СЦ, которые должны обеспечивать необходимый импеданс сразу в двух частотных полосах.

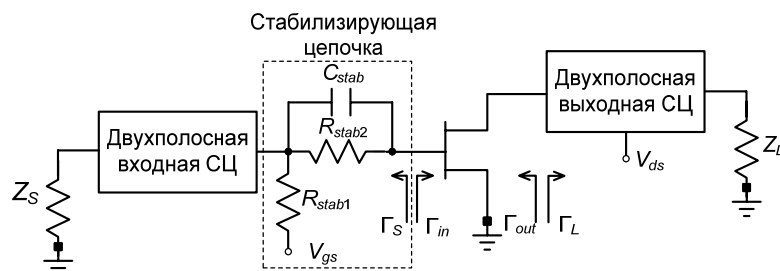


Рис. 1. Структурная схема разрабатываемого двухполосного СВЧ УМ

Проектирование УМ выполнялось в следующем порядке. Вначале рассчитана стабилизирующая цепочка на входе транзистора для обеспечения устойчивости (рис. 1). Далее при помощи load pull моделирования определены импедансы генератора и нагрузки транзистора на основной частоте и гармониках, обеспечивающие необходимый компромисс между выходной мощностью, КПД и усилением в обеих полосах пропускания. В таблице представлены оптимальные импедансы нагрузки на частотах f_0 , $2f_0$ и $3f_0$.

Оптимальные импедансы нагрузки на частотах f_0 , $2f_0$ и $3f_0$.

f_0 , ГГц	$Z_{out f_0}$, Ом	$Z_{out 2f_0}$, Ом	$Z_{out 3f_0}$, Ом	PAE, %	P_{out} , дБм
1,28	$35,5 + 10,8j$	$-21j$	$8,8j$	47,5	37,9
2,14	$27,6 + 10,2j$	$-51j$	$-34j$	48,3	37,5

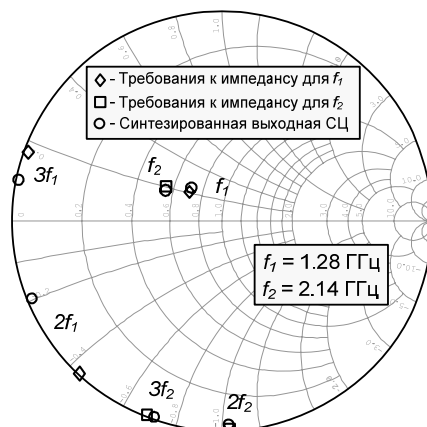


Рис. 2. Требуемые и полученные (смоделированные) значения импеданса выходной СЦ

По этим данным при помощи процедуры [3] и программы синтеза пассивных цепей на основе ГА gMatch [4] были синтезированы входная и выходная СЦ. На рис. 2 показаны требуемые и полученные (смоделированные) значения импеданса выходной СЦ. Аналогичным образом была синтезирована входная СЦ.

Итоговая принципиальная схема двухполосного УМ изображена на рис. 3. Далее «идеальные» элементы схемы были заменены на математические модели «реальных» элементов. Усилитель был изготовлен на подложке Rogers 4350B ($h=1,524$ мм, $\epsilon = 3,48$). Фотография изготовленного двухполосного СВЧ УМ представлена на рис. 4.

Измеренные малосигнальные S -параметры приведены на рис. 5, α ; зависимости выходной мощности, КПД и коэффициента усиления от входной мощности – на рис. 6.

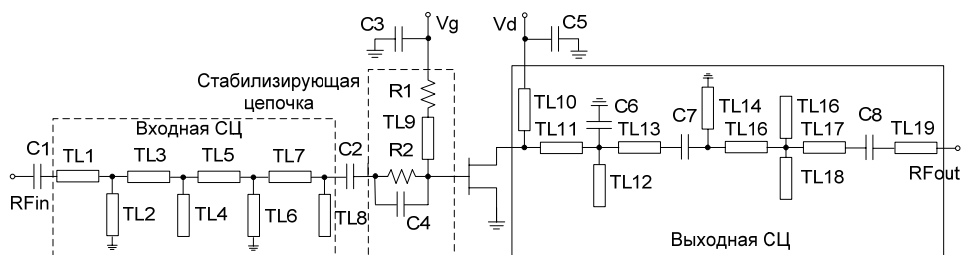


Рис. 3. Принципиальная схема двухполосного УМ

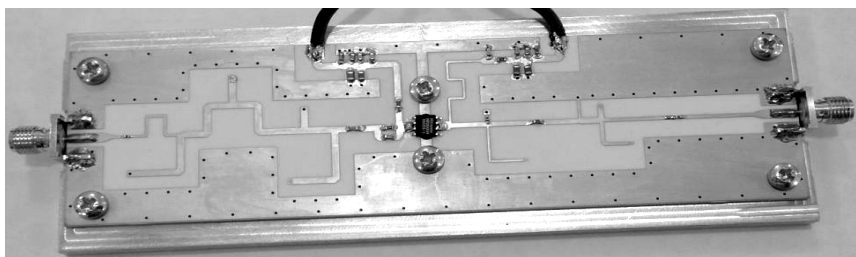


Рис. 4. Фотография изготовленного двухполосного СВЧ УМ

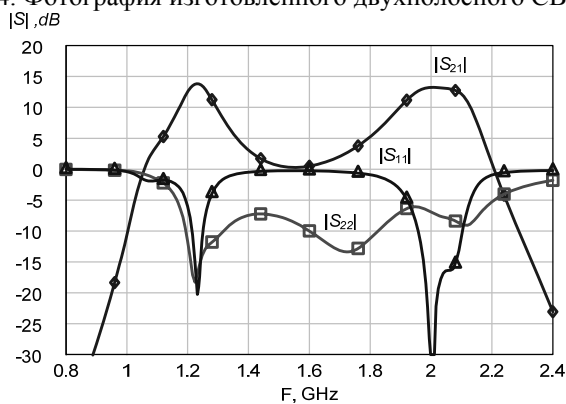


Рис. 5. Измеренные малосигнальные S-параметры двухполосного УМ ($I_{ds} = 0,13$ A; $V_{ds} = 28$ В)

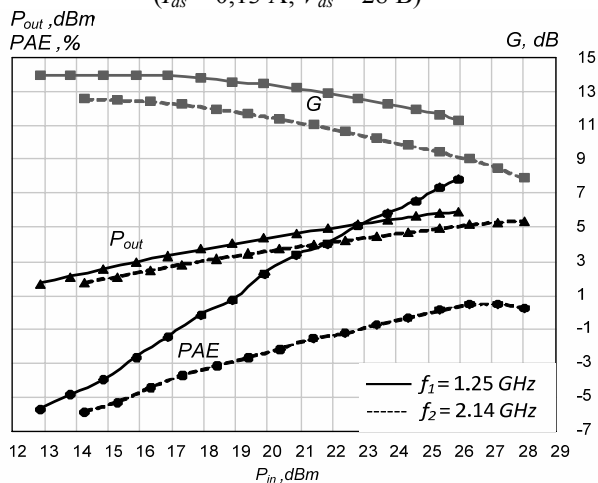


Рис. 6. Измеренные выходная мощность (P_{out}), КПД (PAE) и коэффициент усиления (G) в зависимости от входной мощности (P_{in})

В малосигнальном режиме получены следующие характеристики УМ: $G = 13,5$ дБ, $|S_{11}| = -20$ дБ, $|S_{22}| = -18$ дБ ($f_1 = 1,28$ ГГц); $G = 13,0$ дБ, $|S_{11}| = -15$ дБ, $|S_{22}| = -7$ дБ ($f_2 = 2,14$ ГГц). Как видно (рис. 3), на выходе УМ не удалось получить хорошего согласования, а максимум согласования по входу сместился на частоту 2 ГГц. Это может быть обусловлено погрешностями изготовления СЦ и влиянием паразитных параметров элементов.

Из-за указанных причин не удалось получить и ожидаемых значений выходной мощности и КПД на частоте f_2 (рис. 4). Суммарные мощностные характеристики двухполосного УМ: $P_{\text{out}} = 37,28$ дБм, $G = 11$ дБ, $PAE = 42,1\%$ (на частоте $f_1 = 1,28$ ГГц, при $P_{\text{in}} = 26$ дБм); $P_{\text{out}} = 35,7$ дБм, $G = 9$ дБ, $PAE = 23,7\%$ (на частоте $f_2 = 2,14$ ГГц, при $P_{\text{in}} = 27,2$ дБм). Таким образом, на частоте f_1 полученные результаты близки к расчетным (см. таблицу), а на частоте f_2 – отличаются от них.

Заключение. Представлены результаты разработки двухполосного усилителя мощности L -диапазона (1,28 и 2,14 ГГц) на GaN HEMT транзисторе. С целью повышения выходной мощности и КПД был осуществлен оптимальный выбор импедансов нагрузки транзистора на основной частоте и гармониках в обеих полосах пропускания. Для проектирования выходной согласующей цепи (СЦ) усилителя по этим данным применена новая компьютерная процедура, которая реализована с помощью программы автоматического синтеза пассивных цепей, основанной на генетическом алгоритме, что позволило значительно облегчить и ускорить проектирование СЦ.

Литература

1. Bassam S.A. Transmitter Architecture for CA / S.A. Bassam, W. Chen, M. Helaoui, F.M. Channouchi // IEEE Microwave Magazine. 2013. Vol. 14, № 5. P. 78–86.
2. Saad P. Concurrent Dual-Band GaN-HEMT Power Amplifier at 1.8 GHz and 2.4 GHz / P. Saad, P. Colantonio, L. Piazzon et al. // IEEE 13th WAMICON, Florida. 2012. P. 1–5.
3. Kokolov A.A. Design of Matching Networks for a Harmonic-Tuned Class F Power Amplifier by Genetic Synthesis / A.A. Kokolov, L. Babak, P. Colantonio // Innovations in Information and Communication Science and Technology (IICST). Tomsk. 2012. P. 194–197.
4. Дорофеев С.Ю. Организация универсальной программной системы для синтеза радиоэлектронных устройств на основе генетического алгоритма / С.Ю. Дорофеев, Л.И. Бабак // Доклады ТУСУРа. 2007. № 2(16). С. 151–156.