

# ВЫХОДНАЯ ЦЕПЬ УСИЛИТЕЛЯ КЛАССА $F^{-1}$ С ЩЕЛЕВЫМИ РЕЗОНАТОРАМИ В МИКРОПОЛОСКОВОЙ ЛИНИИ ПЕРЕДАЧИ

Крыжановский В. Г. \*, Рассохина Ю. В. \*, Паоло Колантонио\*\*

\*Донецкий национальный ун-т, Украина, 83001, Донецк, ул. Университетская, 24  
тел: +380 62 302 92 61, e-mail: radio@dongu.donetsk.ua

\*\*University of Rome "Top Vergata", Via del Politecnico, 1, 00133, Rome, Italy  
phone: +39 06 72597323, e-mail: paolo.colantonio@uniroma.it

**Аннотация** — Представлены результаты моделирования усилителя мощности класса  $F^{-1}$  на GaN транзисторе NPTB00004 на частоту 1.6 ГГц. В качестве фильтрующей цепи использовалась структура на основе щелевых резонаторов (ЩР) в заземляющем слое микрополосковой линии передачи (МПЛ). Полученные в результате моделирования КПД и выходная мощность усилителя на рабочей частоте составили соответственно 59% и 6 Вт.

## I. Введение

Принципы проектирования высокоэффективных усилителей мощности (УМ) классов F и  $F^{-1}$ , изложены в работах Рааба и монографии [1]. В работе [2] представлена методика и результаты моделирования УМ класса F и  $F^{-1}$  на GaN транзисторах. Показано, что в микроволновом диапазоне проще реализуется усилитель мощности класса  $F^{-1}$ , нагрузочный импеданс которого на стоке транзистора должен обеспечивать синусоидальную форму напряжения и прямоугольную форму тока на стоке транзистора. На практике в большинстве случаев настраивают только 2-ю и 3-ю гармоники основного сигнала, пренебрегая более высокими гармониками, что позволяет получить максимально возможный КПД усилителя 75%.

## II. Основная часть

Выходные цепи с фильтрацией гармоник для усилителей этого класса традиционно строятся на разомкнутых шлейфах в полосковой линии передачи [3]. В данной работе для контроля уровня гармоник использовалась трехслойная планарная структура на основе ЩР в заземляющем слое МПЛ [4]. Топология фильтра гармоник на рабочую частоту 1.6 ГГц и характеристика его коэффициента передачи показаны на рис. 1.

Анализ резонансной полосково-щелевой структуры выполнен методом поперечного резонанса с учетом особенностей поведения поля на бесконечно тонких ребрах и с учетом высших пространственных гармоник полоскового и щелевого резонаторов.

Начальная настройка фильтра выполнялась следующим образом. Рассчитывались размеры ЩР  $L_{r1}, L_{r2}$  на частоты второй (3.2 Гц) и третьей (4.8 Гц) гармоники. Затем расстояниями  $D_{m1}$  и  $D_m$  характеристика фильтра настраивалась на передачу сигнала на основной частоте и отражение на частотах второй и третьей гармоники с разностью фаз между ними  $\pi$ .

Выходная цепь УМ на транзисторе NPTB00004 приведена на рис. 2, где показаны паразитные элементы вывода транзистора, отрезки полосковой линии передачи и фильтр гармоник (FG), конструктивно линия и фильтр выполнены на одной подложке из поликора.

Моделирование УМ проведено методом гармонического баланса. Параметры моделирования: мощность, подаваемая на вход усилителя,  $P_{in}=25$  dBm, напряжение отсечки на затворе  $V_{gs}=-3$  В, питание на

стоке транзистора  $V_{dc}=28$  В. В расчете была использована модель транзистора NPTB00004 с паразитными элементами корпуса, предоставленная производителем Nitronex Corporation. Схема настраивалась таким образом, чтобы добиться требуемых форм тока и напряжения на стоке транзистора, и, следовательно, максимально возможного КПД УМ. Варьированием размера  $D_{m1}$  настраивалась разность фаз  $\pi$  между второй и третьей гармониками тока и напряжения на стоке транзистора (формы), а варьированием длин  $D_m$ , полоскового шлейфа и отрезков линии передачи схема настраивалась на максимальный КПД на основной частоте.

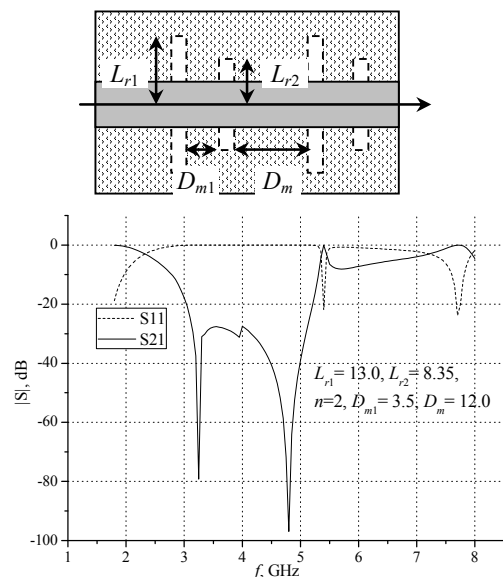


Рис. 1. Характеристики рассеяния на двух звеньях периодической структуры из двух ЩР в заземляющем слое МПЛ.

Fig. 1. The scattering characteristic of two cells of a periodic structure based on a slot resonator in the microstrip line ground plane

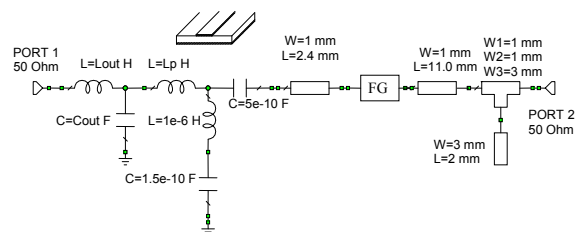


Рис. 2. Схема выходной цепи УМ класса  $F^{-1}$ .

Fig. 2. The output matching network of class  $F^{-1}$  power amplifier (PA)

Входной импеданс выходной цепи усилителя, полученный в результате настройки цепи усилителя на

основную частоту (1.6 ГГц) и две высшие гармоники, а также формы тока и напряжения на стоке транзистора показаны на рис. 3-4.

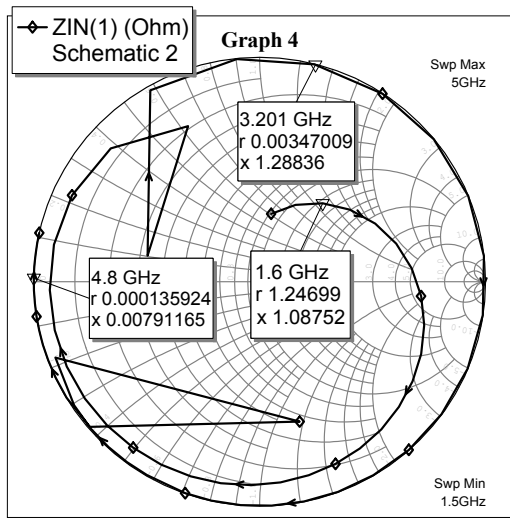


Рис. 3. Входной импеданс выходной цепи усилителя мощности класса  $F^1$  на транзисторе NPTB00004.

Fig. 3. Output circuit input impedance of class  $F^1$  PA on NPTB00004 device

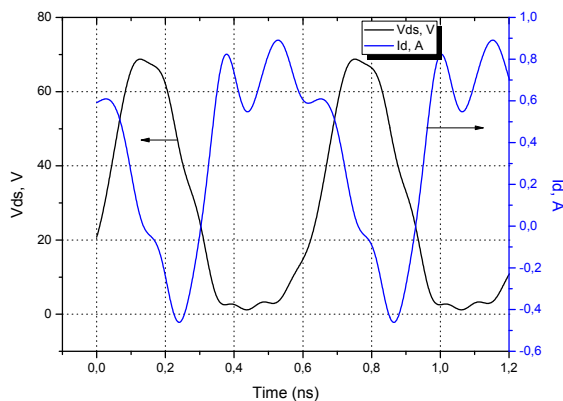


Рис. 4. Формы тока и напряжения на стоке транзистора.

Fig. 4. Drain current and voltage waveforms

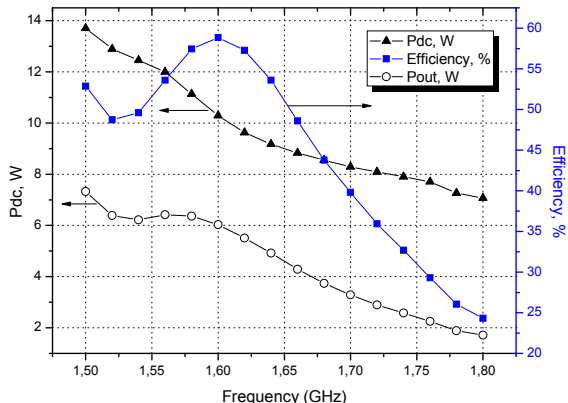


Рис. 5. Характеристики УМ класса  $F^1$  на транзисторе NPTB00004 в полосе частот.

Fig. 5. The modeling results of class  $F^1$  PA on NPTB00004 device

Видно, что оптимальные характеристики усилителя получаются при разности фаз между второй и третьей гармониками основной сигнала отличной от  $\pi$  (импеданс выходной цепи на частоте второй гармоники получается смещенным в «индуктивную» часть диаграммы Смита). Это обусловлено комплексным значением выходного импеданса транзистора как на основной частоте, так и на частотах высших гармоник.

КПД усилителя на частоте 1.6 ГГц составил 59%, выходная мощность – 6 Вт (рис. 5). Предложенная методика проектирования высокоэффективного УМ может быть расширена для настройки импеданса цепи на более высоких гармониках рабочей частоты.

### III. Заключение

Промоделирован и рассчитан УМ класса  $F^1$  на GaN транзисторе NPTB00004 на частоту 1.6 ГГц с новой выходной цепью на основе щелевых резонаторов в заземляющем слое МПЛ. Предложенная цепь обеспечивает высокой уровень подавления второй и третьей гармоники основной частоты. По результатам моделирования КПД УМ на рабочей частоте составил 59% при выходной мощности 6 Вт.

### IV. Список литературы

- [1] Крыжановский В. Г. Транзисторные усилители с высоким КПД. / В.Г. Крыжановский. – Донецк: Апекс, 2004. – 448 с.
- [2] Kim J. H. Modeling and Design Methodology of High-Efficiency Class-F and Class- $F^1$  Power Amplifiers / J. H. Kim, G. Do Jo, J. H. Oh at al. // IEEE Trans. on MTT. – 2011. – V 59, No1. – P. 153-165.
- [3] Dupuy A. Inverse Class-F Power Amplifier Using Composite Right/Left-Handed Transmission Lines as a Harmonic Trap / A. Dupuy, K. M.K.H. Leong, R. Staraj, G. Jacquemod, T. Itoh // Proceedings of the 36th European Microwave Conference – 2006. 10-15 Sept, Manchester – P. 360-363.
- [4] Рассохина Ю. В. Планарные полосково-щелевые резонансные структуры с прямоугольными координатными границами. Методы анализа / Ю.В. Рассохина, В.Г. Крыжановский - Донецк, изд-во Апекс, 2010. – 168 с.

## THE OUTPUT CIRCUIT OF INVERSE CLASS F POWER AMPLIFIER WITH SLOT RESONATORS IN THE MICROSTRIP LINE GROUND PLANE

V. G. Kryzhanovskiy\*, Yu. V. Rassokhina\*, P. Colantonio\*\*

\*Donetsk National University, Radiophysics Dept. 24, Universitetskaya Str., Donetsk, 83001, Ukraine Ph: +380 62 302 92 61, e-mail: radio@dongu.donetsk.ua

\*\*University of Rome "Top Vergata" Via del Politecnico, 1, 00133 Rome, Italy phone: +39 06 72597323, e-mail: paolo.colantonio@uniroma.it

**Abstract** — The modeling results of class  $F^1$  power amplifier on GaN transistor NPTB00004 at operating frequency 1.6 GHz are presented. As a harmonics filter circuit the structure based of slot resonators in microstrip line ground plane was used. Modeling results had shown the drain efficiency and output power of the class  $F^1$  power amplifier at operating frequency 59 % and 6 W correspondingly.