ИНТЕРМОДУЛЯЦИОННЫЕ ИСКАЖЕНИЯ В УСИЛИТЕЛЯХ КЛАССА Е НА ОСНОВЕ GaAs И SiC ТРАНЗИСТОРОВ

Макаров Д. Г.[*], Крыжановский В. Г.[*], Кищинский А. А.[#]
[*]*Донецкий национальный университет*
83001, г. Донецк, ул. Университетская, 24, Украина
тел.: +38 062 3029261, e-mail: apex@dongu.donetsk.ua
[#]*ЗАО «Микроволновые системы»*
105120, г. Москва, ул. Нижняя Сыромятническая, 11, Россия
тел.: +7(495) 917-21-03, e-mail: ak@mwsystems.ru

Аннотация — Исследованы интермодуляционные искажения в высокоэффективных нелинейных усилителях СВЧ мощности класса Е. Теоретически и экспериментально получены данные для усилителя на основе GaAs транзистора CLY5 и для широкополосного усилителя мощности класса Е на основе SiC транзистора CRF24010.

I. Введение

К усилителям для современных систем связи и радиотехнических систем предъявляются высокие требования по уровню интермодуляционных искажений, в частности по уровню составляющих типа $2f_1 - f_2$. Уровень этих составляющих должен быть как можно меньше для многих применений. Известно, что интермодуляционные искажения в высокоэффективных нелинейных усилителях могут быть снижены в усилителях класса F, в которых стремятся создать нулевой нагрузочный импеданс на частоте второй гармоники [1]. Расчет амплитуды интермодуляционных составляющих и их сравнение с экспериментом может служить критерием правильности моделей транзисторов на широкозонных полупроводниках [2]. Линейный усилитель на SiC транзисторе имеет низкие интермодуляционные искажения [3]. Усилители класса Е СВЧ диапазона демонстрируют высокие энергетические характеристики и хорошее соответствие теоретических и экспериментальных характеристик. Представляет интерес теоретически и экспериментально изучить уровни интермодуляционных составляющих в усилителях мощности класса Е на транзисторах из GaAs [4] и SiC [2, 5].

Усилители класса Е относятся к ключевым усилителям мощности с сильно нелинейным режимом работы. Несмотря на это, представляет интерес исследование уровня интермодуляционных искажений в таких усилителях как для определения границ их применимости, так и для исследования процессов в высокоэффективных СВЧ усилителях. Важно установить возможность применения методов линеаризации для усилителей класса Е [6]. Энергетические преимущества класса Е могут превысить нежелательные эффекты интермодуляционных искажений. В данной работе будет проведено сравнение характеристик интермодуляционных искажений в УМ класса Е с применением GaAs транзистора CLY5 и SiC транзистора CRF24010.

II. Характеристики усилителей

Соответственно принципу действия усилителя класса Е, в нем создается фильтр, не пропускающий частоты гармоник на выход усилителя, но обеспечивающий значительный уровень второй и высших гармоник на транзисторе. Это необходимо для создания режима переключения при нулевом напряжении, что устраняет коммутационные потери. Одновременно создаются условия для сильной нелинейности как эквивалентного генератора тока, так и для нелинейных емкостей сток-исток и сток-затвор.

УМ класса Е на основе GaAs транзистора CLY5 [3], на частоте 800 МГц при напряжении питания 5 В экспериментально полученный КПД составил 74 % при выходной мощности 540 мВт. При подаче двухтонального сигнала выходная мощность и КПД усилителя снижаются (для CLY5 с 540 до 490 мВт и с 74% до 72%).

Широкополосный усилитель класса Е на основе SiC транзистора CRF24010 рассмотрен в [2, 5]. Для исследования интермодуляционных искажений выбран макет усилителя, разработанного для работы в диапазоне частот 500–600 МГц. Напряжение питания 25 В. Измеренная выходная мощность составляла 4 Вт в полосе 520–620 МГц при КПД, равном 65 %. Низкое значение КПД объясняется высоким значением сопротивления в открытом состоянии для SiC транзистора CRF24010 [2].

III. Расчет и измерение интермодуляционных искажений

Моделирование интермодуляционных искажений осуществлялось во временной области с использованием модели Матерки для GaAs транзистора и модели Ангелова для SiC транзистора [2, 4].

Экспериментальные исследования проводились путем подачи сигналов от двух развязанных генераторов при различной расстройке частот и входной мощности, соответствующей максимальному КПД.

На рис. 1 и 2 показаны уровень интермодуляционных искажений и уровень второй гармоники на выходе УМ класса Е на GaAs транзисторе. На графике приведена зависимость уровня интермодуляционных составляющих третьего порядка относительно уровня несущей (dBc). Разность частот входных сигналов составляла 10 МГц.

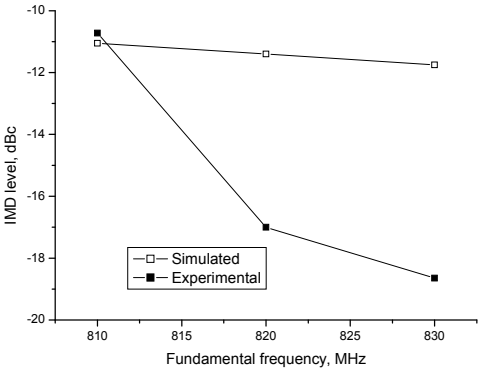

Рис. 1. Интермодуляционные искажения в УМ класса Е на GaAs транзисторе.

Fig. 1. IMD level in GaAs class E power amplifier

© 2011: CriMiCo'2011 Organizing Committee; CrSTC. ISBN: 978-966-335-351-7. IEEE Catalog Number: CFP11788

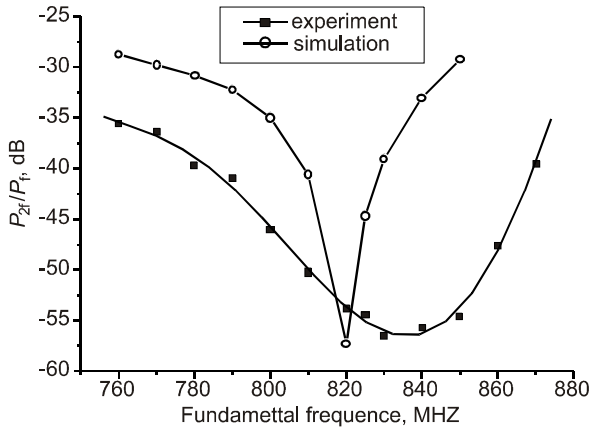

Рис. 2. Относительный уровень второй гармоники на выходе УМ класса E на GaAs транзисторе.

Fig. 2. Relative second harmonic output level in GaAs class E power amplifier

На рис. 3 показаны результаты моделирования и экспериментального исследования интермодуляционных искажений для широкополосного УМ класса E на основе SiC транзистора CRF24010. Разность частот входных сигналов составляла 20 МГц. Также приведена моделированная зависимость входного импеданса на второй гармонике для выходной цепи в логарифмическом масштабе относительно частоты. На рис. 4 приведен спектр на выходе широкополосного УМ класса E на SiC транзисторе CRF24010.

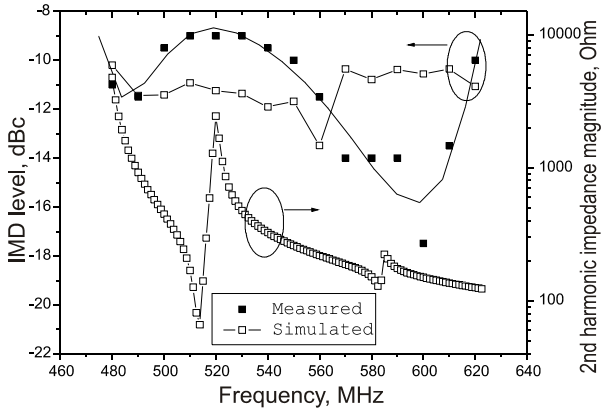

Рис. 3. Интермодуляционные искажения в УМ класса E на SiC транзисторе.

Fig. 3. IMD level in SiC class E power amplifier

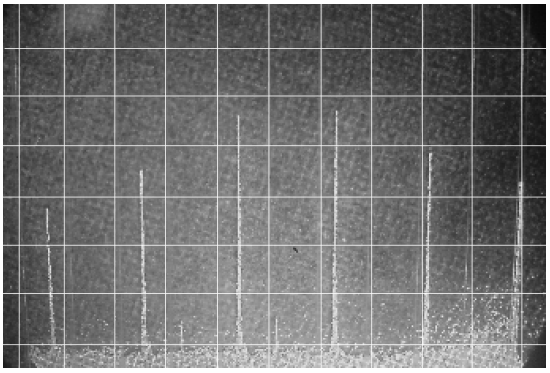

Рис. 4. Спектр выходного сигнала УМ класса E на SiC транзисторе (10 дБ/дел, 10 МГц/дел).

Fig. 4. Output spectrum in SiC class E power amplifier (10 dB/div, 10 MHz/div)

IV. Заключение

Теоретически и экспериментально исследованы интермодуляционные искажения в усилителях класса E с выходной мощностью 540 мВт на ПТШ из GaAs и 4 Вт – на SiC. Уровень интермодуляционных составляющих доходит до -10 dBc. Использование преимуществ класса E в этом случае возможно с применением линеаризации, или потребуется применение УМ другого класса, например класса F.

V. Список литературы

[1] *Крыжановский В. Г.* Транзисторные усилители с высоким КПД. Донецк: Апекс, 2004 – 448 с.

[2] *Krizhanovski V. G., Makarov D. G., Kistchinsky A. A.* Class E Microwave Amplifier Built on a SiC Transistor with High On-State Resistance // Radioelectronics and Communications Systems.– Vol. 53, No. 6, 2010.–P. 290-298.

[3] *Sayed A., Boeck G.* Two-Stage Ultrawide-Band 5-W Power Amplifier Using SiC MESFET// IEEE Trans. on MTT, V. 53, No. 7, July 2005.– P. 2441-2449

[4] *Printsovskii V. A., Krizhanovski V. G.* Transmission-line microwave class-E amplifier / MIKON-2004. XV Int. Conf. of Microwaves, Radar and Wireless Communication. Poland, Warszawa, May 17-21, 2004, Conf. Proc., vol. 1. –P.39-41.

[5] *Makarov D. G., Printsovskii V. A., Krizhanovski V. G., Kistchinsky A. A.* SIC MESFET class E microwave power amplifier/ MIKON-2008. XVII Int. Conf. of Microwaves, Radar and Wireless Communications. Poland, Wroclaw, May 19-21, 2008, Conf. Proc., vol. 3. – P.591-593.

[6] *Abed K. H., Kazimierczuk M. K., Nerurkar S. B., Senadeera M. P.* Linearization techniques in power amplifiers for 1.9 GHZ wireless transmitters / 48th Midwest Symp. on Circuits and Systems, 2005. Vol. 2, 7-10 Aug. 2005.– P. 1103-1106.

INTERMODULATION DISTORTIONS IN GaAs AND SiC CLASS-E POWER AMPLIFIERS

Makarov D. G.[*], Kryzhanovskiy V. G.[*], Kistchinsky A. A.[#]

[*]*Donetsk National University*

24, Universitetskaya Str., Donetsk, 83001, Ukraine

Ph.: +38062-3029261, e-mail: apex@dongu.donetsk.ua

[#]*Microwave systems, JSC*

11, Nizhnaya Siromatnicheskaya Str., Moscow, 105120, Russia

Abstract — Third-order intermodulation distortions (IMD) in two different cases of class-E power amplifiers (PA) using GaAs and SiC transistors are investigated.

As can be mentioned, class E power amplifier must have high values of IM3 level due to its primordial nonlinearity. Also, there is high level second and higher harmonic on transistor drain in class E PA. So, the aim of this work is to investigate IMD in GaAs class-E PA and SiC wideband class-E PA.

GaAs class-E PA is transmission lines prototype using CLY5 GaAs transistor. Parameters of this amplifier are: frequency 800 MHz, 5V of supply voltage. Output power 540 mW with efficiency equal to 74% is experimentally obtained. For wideband SiC class-E PA using CRF24010 as active device we have the next parameters: 500–600 MHz frequency band, 25 V of supply voltage. Experiment had shown 4 W of output power within band of 520–620 MHz and 65 % of efficiency.

Third order IMD level was measured using two-tone method and relative orders of those spectral products to carrier frequencies were calculated from output spectrum of power amplifiers. This level is in -20..-10 dBc range at maximum efficiency point.

© 2011: CriMiCo'2011 Organizing Committee; CrSTC. ISBN: 978-966-335-351-7. IEEE Catalog Number: CFP11788