

МЕТОДИКА АНАЛИЗА НА УСТОЙЧИВОСТЬ GaN HEMT В РЕЖИМЕ БОЛЬШОГО СИГНАЛА ПРИ СИНТЕЗЕ МИС УМ В САПР MICROWAVE OFFICE

LARGE SIGNAL STABILITY ANALYSIS TECHNIQUE OF GaN HEMT FOR SYNTHESIS OF MMIC PA IN CAD MICROWAVE OFFICE

УДК 621.375.4

ЛЕОНТЬЕВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ^{1,2}
evgeniyleo888@mail.ru

LEONTIEV EVGENIY V.^{1,2}
evgeniyleo888@mail.ru

КОРОТКОВ АЛЕКСАНДР СТАНИСЛАВОВИЧ^{1,2}
korotkov@rphf.spbstu.ru

KOROTKOV ALEXANDER S.^{1,2}
korotkov@rphf.spbstu.ru

БАЛАШОВ ЕВГЕНИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ^{1,2}
balashov_ev@mail.ru

BALASHOV EVGENIY V.^{1,2}
balashov_ev@mail.ru

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»)

195251, Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

² АО «Ордена Трудового Красного Знамени Всероссийский научно-исследовательский институт радиоаппаратуры» (АО «ВНИИРА»)

199106, Санкт-Петербург, Шкиперский проток, 19

¹ Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University (SPbPU)

² “Order of the Red Banner of Labour of All-Russian Scientific Institute of Radioequipment” JSC

19 Shkiperskiy Channel, St. Petersburg, 199106

В статье показана методика анализа на устойчивость HEMT в режиме большого сигнала при синтезе МИС УМ в САПР Microwave Office. Описана методика определения устойчивости в режиме большого сигнала через LSS параметры нелинейной модели HEMT. Произведен синтез схемы обеспечения устойчивости HEMT и приведены соответствующие результаты.

Ключевые слова: МИС УМ; Microwave Office; анализ на устойчивость.

The article shows the technique for analyzing the stability of HEMT in the large signal mode in the synthesis of MMIC PA in CAD Microwave Office. A technique for determining stability in the large signal mode through the LSS parameters of the nonlinear HEMT model has been described. The synthesis of the stability circuit of HEMT has been made and the corresponding results have been given.

Keywords: MMIC PA; Microwave Office; stability analysis.

ВВЕДЕНИЕ

Сегодня СВЧ монолитные интегральные схемы (МИС) лежат в основе проектирования современной СВЧ-устройств для радиолокационных, телекоммуникационных, спутниковых и иных радиоэлектронных систем. Технология GaN открыла для радиоэлектронной индустрии возможность проектирования СВЧ МИС усилителей мощности (УМ) с выходной мощностью более 20 Вт [1].

Многокаскадная структура современных МИС УМ позволяет получать высокий коэффициент усиления и применять на входе усилителя мощности малый уровень СВЧ сигнала, что дает возможность использовать в передающем тракте до усилителя мощности интегральные схемы, выполненные на более дешевой Si или GaAs технологии [2]. Передовым компонентом GaN технологии является транзистор с высокой подвижностью электронов в канале (High Electron Mobility Transistor, HEMT). В основе синтеза МИС УМ лежит применение нелинейной модели HEMT. Устойчивость многокаскадного усилителя мощности базируется на обеспечении устойчивости каждого активного элемента, поэтому анализ устойчивости GaN HEMT в нелинейном режиме является актуальной задачей при синтезе усилителя мощности.

Авторы считают, что в данной работе новым является определение методики анализа на устойчивость GaN HEMT в режиме большого сигнала, используя систему автоматизированного проектирования (САПР) Microwave Office.

Цель данной работы — описание методики анализа устойчивости GaN HEMT в САПР Microwave Office для задач проектирования МИС УМ. Согласно поставленной цели решены следующие задачи:

1. Анализ устойчивости HEMT в режиме большого сигнала.
2. Параметрический синтез схемы обеспечения устойчивости HEMT в режиме большого сигнала.

Анализ HEMT будет произведен на примере синтеза МИС усилителя мощности X-диапазона частот.

НЕЛИНЕЙНАЯ МОДЕЛЬ GaN HEMT

Синтез усилителя мощности базируется на использовании нелинейной модели. На рис. 1 представлена эквивалентная схема HEMT и показаны нелинейные части схемы [3].

В режиме большого сигнала нелинейными являются элементы активной области транзистора C_{gs} , C_{gd} , G_m и R_{ds} .

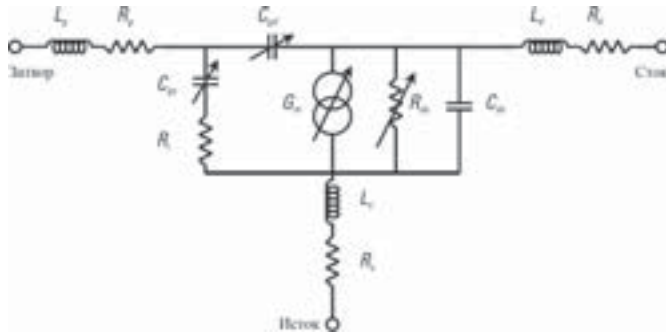


Рис. 1. Эквивалентная схема НЕМТ с нелинейными элементами

Эквивалентная схема лежит в основе построения многих нелинейных моделей. К моделям для НЕМТ можно отнести Angelov-GaN модель [4] и EHEMT модель компании Keysight Technologies (США). Модель EHEMT, например, состоит из 52 параметров, среди которых параметры по постоянному току (V_{DSO} , V_{SAT} , $GAMMA$, $KAPA$, P_{EIT} и др.), параметры по переменному току ($GAMMAAC$, $KAPAAC$, C_{12SAT} , C_{DSO} и др.), параметры, отвечающие за физические эффекты в транзисторе (V_{BR} , KVK , R_{DB} , C_{BS} и др.), и параметры, определяющие паразитные элементы (R_G , R_D , R_S , C_G , C_D , C_S , C_{PG} , C_{PD}) [5]. Сложность экстракции параметров НЕМТ и использование большого числа данных в решении задач проектирования МММС делают все более актуальным применение САПР для разработки СВЧ-устройств.

САПР Microwave Office (National Instruments Corporation, США) — один из лидеров среди программного обеспечения по созданию радиочастотных и СВЧ-устройств. Компании — изготовители МММС предоставляют нелинейные модели НЕМТ для данного программного продукта. В работе применяется нелинейная модель НЕМТ, выполненного по GaN-технологии NP25-00 (WIN Semiconductor Corporation, Тайвань), для САПР Microwave Office.

АНАЛИЗ НЕМТ В РЕЖИМЕ БОЛЬШОГО СИГНАЛА

Для получения высокой выходной мощности УМ работает в режиме большого сигнала, когда в полной мере проявляются нелинейные свойства активного элемента. В режиме малого сигнала безусловная устойчивость активного элемента определяется через параметры рассеивания транзистора (Scattering parameters, S-параметры). САПР Microwave Office предоставляет расчет параметров рассеивания в режиме большого сигнала (Large Signal S-parameter, LSS). На рис. 2 представлены S-параметры и LSS-параметры GaN НЕМТ 8x120 мкм после комплексно-сопряженного согласования по входу:

Традиционный подход к определению устойчивости НЕМТ строится на расчете собственного коэффициента устойчивости K и вспомогательного коэффициента B₁:

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

$$\Delta = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}, \quad (2)$$

$$B_1 = 1 - |\Delta|^2 + |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2. \quad (3)$$

Использование LSS-параметров в определении устойчивости НЕМТ согласно данным уравнениям дало результаты, показанные на рис. 3:

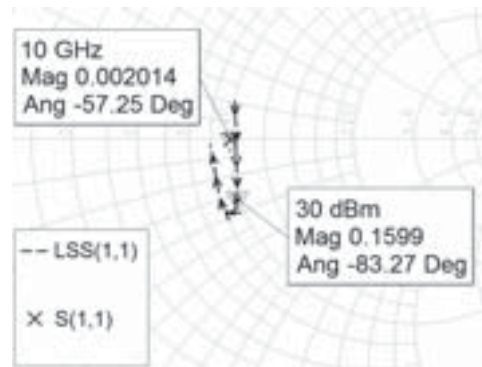


Рис. 2. S и LSS параметры НЕМТ

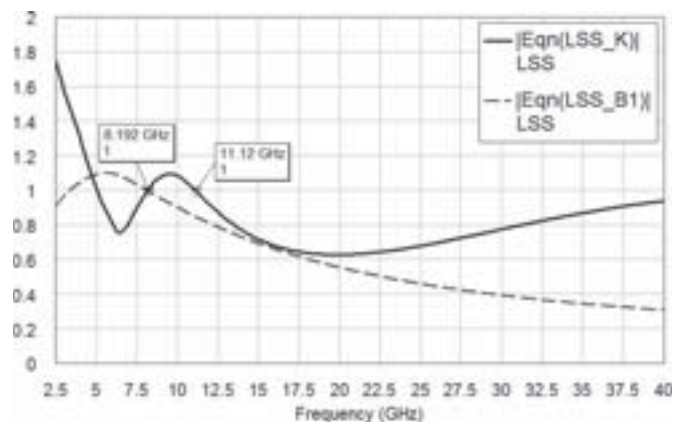


Рис. 3. LSS-параметры устойчивости НЕМТ

Устойчивость НЕМТ в режиме большого сигнала является приоритетной в задачах синтеза МММС УМ. В САПР Microwave Office коэффициенты K и B₁ в режиме большого сигнала определяются через LSS-параметры нелинейной модели НЕМТ.

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ СХЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ НЕМТ

Вследствие протекания высоких токов на стоке транзистора, устойчивость НЕМТ вне рабочего диапазона частот целесообразно регулировать на затворе, так как в цепи подачи напряжения смещения на затвор ток не превышает 0,1 мА. Высокий коэффициент усиления в рабочем диапазоне частот и обеспечение устойчивости целесообразно реализовать путем создания резонансного контура с паразитной емкостью C_{gs} транзистора на центральной частоте $F_0 = 10$ ГГц:

$$L_g = \frac{1}{(2\pi F_0)^2 C_{gs}}. \quad (4)$$

На рис. 4 представлена схема подачи напряжения смещения на затвор НЕМТ и приведены результаты анализа устойчивости в режиме большого сигнала (рис. 5) при $R_g = 5 \Omega$, $R_{g1} = 23 \Omega$, $C_{sh} = 2,6$ пФ.

Последовательное сопротивление R_g не вносит существенные потери в рабочем диапазоне частот, при этом значительно увеличивает устойчивость НЕМТ на высоких частотах. Сопротивление R_{g1} и шунтирующий конденсатор C_{sh} выбраны из требований по занимаемой площади на кристалле и устойчивости активного элемента. Согласно предложенной схеме для обеспечения резонанса на центральной частоте L_g должна быть равна:

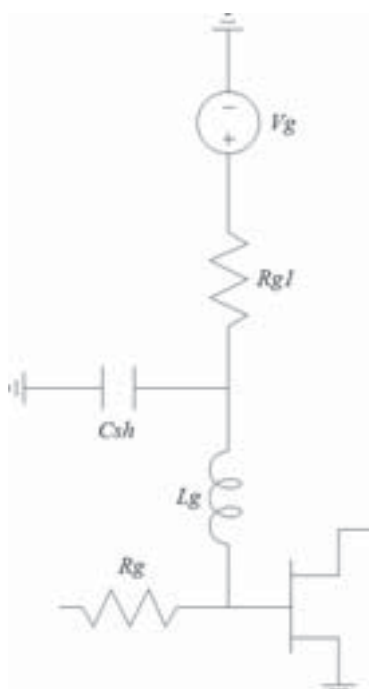


Рис. 4. Схема обеспечения устойчивости HEMT

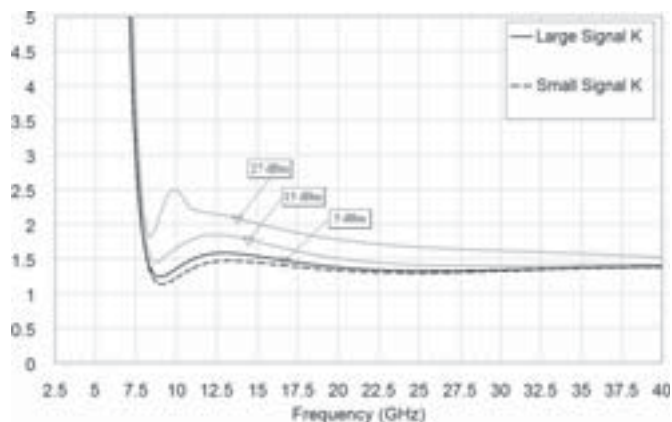


Рис. 5. Коэффициент устойчивости HEMT

$$L_g = \frac{1}{C_{gs} \left((2\pi F_0)^2 - \frac{R_{g1} + j2\pi F_0 C_{sh}}{C_{gs} C_{sh} R_{g1}} \right)} \quad (5)$$

На рис. 5 приведены результаты анализа коэффициента устойчивости K (Small Signal K) и результаты расчета коэффициента устойчивости, используя LSS-параметры, (Large Signal K) при разном уровне сигнала на входе.

Как видно из рисунка, транзистор устойчив при значении мощности на входе от 27 дБм до режима малого сигнала. Таким образом, в работе произведен синтез схемы обеспечения устойчивости HEMT и приведены соответствующие результаты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Устойчивость одного активного элемента является важным критерием при синтезе сложной структуры современных усилителей мощности. В данной работе показана методика анализа устойчивости HEMT в режиме большого сигнала. Программными средствами САПР Microwave Office приведен анализ устойчивости GaN HEMT, выполненного по технологии NP25-00 компании WIN Semiconductor, и показан синтез схемы, обеспечивающей безусловную устойчивость HEMT при разной мощности сигнала на входе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bettidi A., Cetronio A., Lavanga S., Nanni A. *A Single Bias 20W S-Band HPA for Radar Application* // Proceedings of the 5th European Microwave Integrated Circuits Conference, 27–28 September, 2010.
2. Hong-Qi Tao, Wei Hong, Bin Zhang, and Xu-MingYu. *A Compact 60W X-Band GaN HEMT Power Amplifier MMIC* // IEEE MICRO-WAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, 2016.
3. Steve Marsh. *Practical MMIC Design* // Artech House. INC, 2006, p. 178.
4. Angelov I., Zirath H. and Roshman N. *A New Empirical Nonlinear Model for HEMT and MESFET Devices*, IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 40, No. 12, pp. 2258–2266, 1992.
5. Chalermwisutkul D.S. *Large Signal Modeling of GaN HEMTs for UMTS Base Station Power Amplifier Design Taking into Account Memory Effects* // PhD Thesis. — Aachen, Germany: Aachen University, 2009.



ТЕХНОСФЕРА
РЕКЛАМНО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР

ЭЛЕКТРОНИКА НАУКА
ТЕХНОЛОГИЯ БИЗНЕС

НАНОИНДУСТРИЯ
НАУКА ТЕХНОЛОГИЯ БИЗНЕС

ФОТНИКА НАУКА
ТЕХНОЛОГИЯ БИЗНЕС

ПЕРВАЯ
МИЛЯ НАУКА
ТЕХНОЛОГИЯ БИЗНЕС

АНАЛИТИКА НАУКА
ТЕХНОЛОГИЯ БИЗНЕС

СТАНКОИНСТРУМЕНТ НАУКА
ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВО