

РАЗРАБОТКА МАЛОШУМЯЩЕГО УСИЛИТЕЛЯ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА

Радченко А.А., Шевченко О.Л., Шелковніков Б.М.

Інститут телекомунікаційних систем НТУУ «КПІ», Україна

E-mail: murano500k@gmail.com

Design low-noise amplifier for mm-wave

This article presents the results of 120 GHz low noise amplifier based on SiGe simulations by using AWR packet. The results allow to use model in the next stage: topology development and technological implementation

Интерес к системам, работающих на частотах выше 100 ГГц непрерывно растет. Применение варьируются от атмосферной радиометрии до автомобильных, радиолокационных, сенсорных и телекоммуникационных систем[1-4]. В следствии большого затухания мм волн в атмосфере, основной задачей для систем, работающих в данном диапазоне частот, является использование приемника с высокой чувствительностью с надлежащим усилением, что позволяет сократить энергопотребление системы. Поэтому разработка малошумящих усилителей(МШУ) для систем, работающих на частотах выше 100 ГГц является актуальной.

Эта статья представляет математическую модель и результаты моделирования малошумящего усилителя 120 ГГц в AWR MWO. Перед началом моделирования были составлены требования к качественным показателям МШУ: центральная частота усиления $f = 120\text{ГГц}$, коэффициент усиления больше 5 дБ. коэффициент шуму в полосе рабочих частот менее 4 дБ; значения входного и выходного коэффициентов отражения не более -30 дБ, напряжение питания менее 1.5 В, волновые сопротивления входного и выходного каскадов 50 Ом, усилитель должен быть безусловно устойчивым на рабочем диапазоне ($k > 1$).

Схема выполнена по технологии SiGe FET 0.06-0,1 мкм. В качестве основного элемента выбрана модель биполярного транзистора CURTICE Nonlinear FET model из пакета AWR. Инженерный метод моделирования СВЧ транзисторов, позволяет достаточно быстро получить структурную модель проектируемого прибора на основе бесструктурных моделей серийных транзисторов

Теоретической основой моделирования усилителей является метод гармонического баланса и аппарат S-матриц. Метод гармонического баланса (МГБ) позволяет получить качественные показатели на основе нелинейного анализа (при большом сигнале) а аппарат S-матриц позволяет получить результаты в линейном представлении.

Согласно МГБ [5] система уравнений в частотной области будет:

$$\frac{A_{CH}}{4} \sum_{n=-N}^N I_{CH}^n + \frac{A_C}{4} \sum_{n=-N}^N I_C^n + \frac{A_{IH}}{4} \sum_{n=-N}^N I_H^n + \frac{A_R}{4} \sum_{n=-N}^N GA_R^t V_{CH}^n =$$

$$= - \frac{A_{Ibb1}}{4} \sum_{n=-N}^N I_{ex1}^n - \frac{A_{Ibb2}}{4} \sum_{n=-N}^N I_{ex2}^n$$

где:

$$I_{CH}^n = \frac{j\omega_1}{4\pi^2} \int_0^{2\pi} C_H(U_{CH}) W^n \cdot \left[\sum_s^N (r+s \frac{\omega_2}{\omega_1}) U_{CH}^{r,s} W^{-r,-s} \right] \cdot d\tau_1 d\tau_2$$

$$I_H^n = \frac{1}{\pi^2} \int_0^{2\pi} i_H \left[\sum_s^N A_{iH}^t V^n W^{-n} \right] \cdot W^n d\tau_1 d\tau_2$$

Эта система реализована на элементной базе AWR. Структурная схема однокаскадного МШУ, которая была разработана в среде AWR, состоит из согласующей цепи на входе, полевого транзистора и согласующей цепи на 120 ГГц.

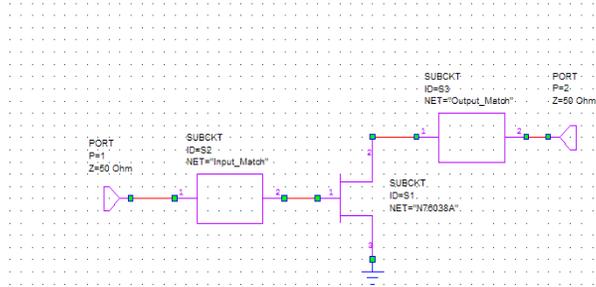


Рис. 1. Структурная схема одного каскада МШП.

В процессе моделирования были согласованы входная и выходная цепь усилителя, реализованные на копланарах, выбрана рабочая точка и оптимизированы токи и напряжения, подаваемые на транзистор, также были рассчитаны основные характеристики усилителя. Графики коэффициентов передачи и отражения усилителя показаны на рис. 2 и рис. 3. Также была исследована стабильность работы прибора в заданном диапазоне частот (рис. 4). В заданной полосе частот коэффициент усиления мощности 1.6 дБ, коэффициент шума меньше 4.5 дБ. Значения коэффициента стабильности больше 1 на всей полосе частот, при 120 ГГц равно 1.28. Результаты моделирования показали, что однокаскадный МШУ не дает достаточного коэффициента усиления, поэтому было решено смоделировать усилитель с двумя каскадами. При применении 2-х каскадов характеристики усилителя значительно улучшились. Как можно увидеть на рис. 4 и рис. 5, усиление удалось увеличить до 5.1 дБ, что удовлетворяет предъявленные требования. Также были получены кривые ВАХ транзистора на уровнях от -0.5 до 3 В (рис. 6) и график выходной мощности двух каскадов МШУ (рис. 7).

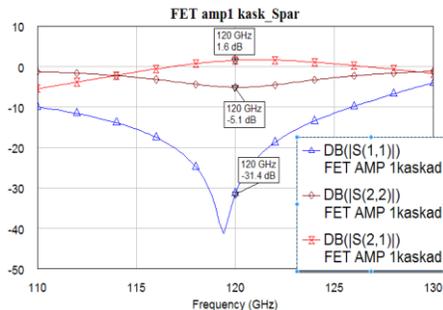


Рис. 2 Значение коэффициентов отражения и передачи однокаскадного усилителя в частотной области

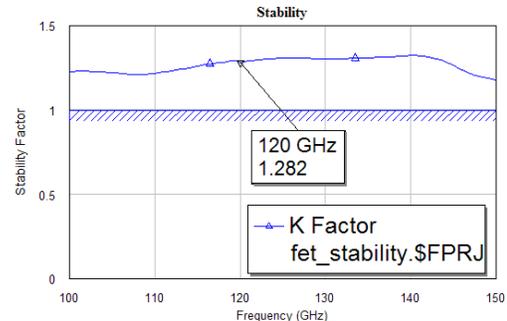


Рис. 3 График измерения стабильности транзистора

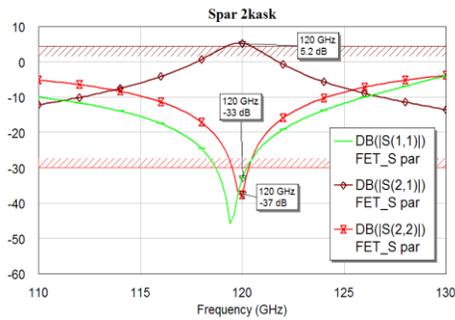


Рис. 4 Значение коэффициентов отражения и передачи двух каскадов в частотной области

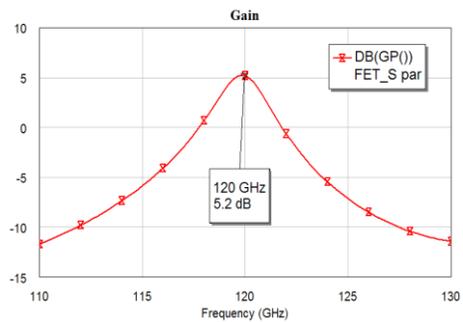


Рис.5 График усиления 2-х каскадного МШУ

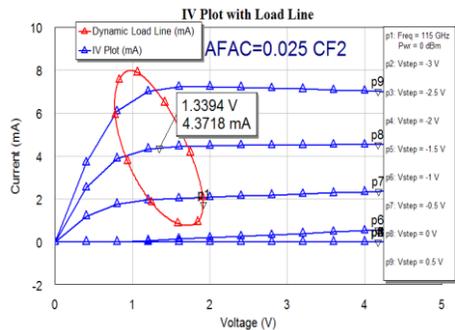


Рис. 6 Семейство выходных статических ВАХ биполярного транзистора. (Верхняя кривая соответствует напряжению на затворе транзистора $U_{з0} = 0.5$ В, нижняя - напряжению $U_{з0} = -3$ В)

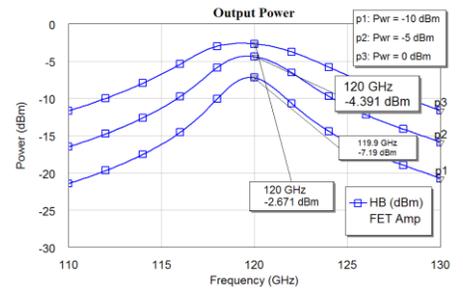


Рис. 7 Значения выходной мощности двух каскадного МШУ при -10, -5, 0 дБм на входе

Промоделирована работа малошумящего усилителя SiGe на 120 ГГц. Определены основные качественные показатели и характеристики. Они удовлетворяют заданным требованиям.

Литература

1. Wells J. New multi-gigabit wireless systems satisfy high-security rapid response applications / J. Wells // technology Securing MIL SYSTEMS, 2006. – P. 32—34.
2. Schwoerer C. Coplanar High Performance MMICs in MHEMT and PHEMT Technology for Applications up to 100 GHz / C. Schwoerer, A. Tessmann, M. Leich, A. Leuther, S. Kudszus, A. Bessemoulin, M. Schlechtweg // in Proc. of GAAS, Sept. 2002.
3. Tessmann A. 220-GHz metamorphic HEMT amplifier MMICs for high-resolution imaging applications/ A. Tessmann // IEEE J. Solid-State Circuits. – 2005, Oct. – Vol. 40, No. 10. – P. 2070-2076.
4. M. Schlechtweg et al., "Coplanar Millimeter-wave IC's for W-Band Applications Using 0.15 μm Pseudomorphic MODFETs" IEEE Journal of Solid-state Circuits, Vol. 31, n° 10, October 1996, pp. 1426-1434.
5. R. Gilmore and M. Steer, "Nonlinear circuit analysis using the method of harmonic balance -A review of the art. Part IV Introductory concepts" Int. J. Microwave Millimeter Wave Computer Aided Engineering, vol. 1, no. 1, 1991.