

РАЗРАБОТКА УСИЛИТЕЛЯ МОЩНОСТИ МИЛЛИМЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА НА ОСНОВЕ КМОП ТЕХНОЛОГИИ

Шевченко А.Л., Радченко А.А., Шелковников Б.Н.

Институт телекоммуникационных систем НТУУ «КПИ», Украина

E-mail: shevchenko.oleksandr.l@gmail.com

Development of the millimeter wave power amplifier based on CMOS technology

This paper presents the results of simulation using AWR of 140 GHz 3-stage power amplifier using CMOS technology. The results allow to proceed to the next stages - development of topology, technological implementation.

В связи с растущей потребностью в передаче все больших объемов информации широкое распространение получают системы радиосвязи миллиметрового диапазона длин волн. За счет использования широкой полосы рабочих частот такие системы обеспечивают скорость передачи данных до нескольких десятков гигабит в секунду.

Для реализации современных систем радиосвязи миллиметрового диапазона длин волн необходима разработка приемопередатчиков и их составляющих элементов, выполненных в виде интегральных микросхем, что обеспечивает миниатюрность пользовательских устройств. При этом выбор технологии для реализации микросхем обуславливается в основном соображениями низкой себестоимости массового производства при обеспечении заданных технических характеристик. В связи с этим в качестве основного кандидата для создания современных СВЧ приемопередатчиков многими исследователями рассматривается стандартная КМОП технология, широко распространенная и доступная в области микроэлектроники.

В данной работе решается задача схемотехнического проектирования трехкаскадного усилителя мощности в диапазоне частот 140 ГГц, являющегося одним из основных блоков приемопередатчика миллиметровых систем связи. Усилитель мощности (УМ) в действительности является одним из главных элементов радиотракта. Разработка и моделирование блока УМ по технологии КМОП 45 нм проводились в системе автоматизированного проектирования (САПР) AWR с использованием технологической библиотеки элементов интегральных схем фабрики TSMC.

Основными характеристиками УМ являются выходная мощность и полоса рабочих частот в согласованном режиме. В результате анализа имеющихся работ [1]-[4] по исследованию усилителей мощности были сформулированы требования на характеристики разрабатываемого усилителя. К усилителю предъявлялись следующие требования: коэффициент усиления $G > 30$ дБ; полоса пропускания 5-10 ГГц; неравномерность амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) $\Delta G = \pm$ дБ; входной и выходной коэффициенты отражения $m1 = |S11| \leq -18$ дБ, $m2 = |S22| \leq -15$ дБ; выходная мощность при сжатии амплитудной характеристики на 1дБ $P1dB > 20$ дБм; усилитель должен быть безусловно устойчивым во всем диапазоне частот, т.е. $K \geq 1$, где K - инвариантный коэффициент устойчивости.

В данной работе для реализации блока УМ была выбрана схема, состоящая из трех последовательных каскадов. Схема разработанного блока УМ представлена на Рис. 1. Основным достоинством такой архитектуры является высокий коэффициент усиления. Дополнительным преимуществом каскадной архитектуры является высокая изоляция между входом и выходом устройства, что позволило независимо разработать схемы входного и выходного согласования.

Для выполнения анализа в нелинейном моделировании используется гармонический баланс[4], который является эффективным методом для анализа усилителей мощности, смесителей, умножителей и генераторов. Моделирование с помощью гармонического баланса выполняется аналогично линейному моделированию-ввод схемы, вычисляемые в результате анализа параметры и качественные показатели. Отличие состоит в том, что для выполнения гармонического баланса требуется наличие источников напряжения, тока или мощности. Имитатор гармонического баланса позволяет определять одночастотное и многочастотное возбуждение портов, чтобы выполнить одно- и многосигнальный анализ. Всякий раз, когда источник гармонического баланса определен в схеме, имитатор гармонического баланса вызывается автоматически при моделировании. Подставим функции ряда Фурье в нелинейную математическую модель во временной области [4] и интегралы для представления комплексных амплитуд. Тогда слева и справа появится множитель $e^{j\omega t}$, что можно сократить. Уравнения превратятся в уравнения относительно комплексных амплитуд. Для сигнала одной гармоники получим (A-матрица связей элементов и ее субматрицы):

$$A_{CH}^* \sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} I_{CHk} + A_C^* \sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} I_{Ck} + A_I^* \sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} I_{Hk} + A_{JL}^* Y_{JL}^* A_{JL}^t \sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} V_k = -A_{iBX}^* I_{BX},$$

где комплексные амплитуды будут иметь следующий вид:

$$V(t) = \sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} V_k * e^{jk\omega t} \quad I_{Hk} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} i_H(A_{IH}^t * \sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} V_k * e^{jk\omega t}) * e^{-jk\omega t} d(\omega t)$$

$$i_{BX}(t) = \sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} I_{BXk} * e^{jk\omega t} \quad I_{Ck} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} C(A_C^t * \sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} jk\omega V_k * e^{jk\omega t}) * e^{-jk\omega t} d(\omega t)$$

$$I_{CHk} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} C_H(\sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} A_{CH}^t * V_k * e^{jk\omega t}) * A_{CH}^t * \sum_{k=-N(-\infty)}^{N(+\infty)} (jk\omega V_k * e^{jk\omega t}) * e^{-jk\omega t} d(\omega t)$$

Система уравнений представляет собою систему операторных уравнений. Операторами в этом случае будут операторы суммы, интегральные, нелинейные. Решение такой системы выполняется относительно комплексных амплитуд узловых потенциалов. В процессе вычисления могут быть определенные амплитуды напряжений и токов других ветвей схемы или цепи. Так как в целом мы имеем нелинейные операторы, то мы должны на конечном этапе решать систему нелинейных уравнений относительно комплексных амплитуд. Эта модель реализована средствами ПС AWR.

Схема каскада на 140 ГГц (рис.1) состоит из полевого транзистора и согласующих цепей (входного и выходного L,C фильтров, реализованных на многослойных структурах)

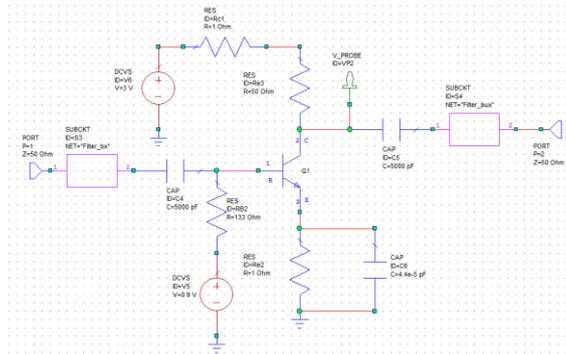


Рис. 1 Принципиальная схема одного каскада усилителя мощности.

В качестве примера результатов моделирования на рис.2-3 представлены вольт-амперная и динамическая характеристики каскада, S – параметры, показывающие коэффициент усиления, развязку и согласование. Промоделирована работа КМОП усилителя мощности, работающего на частоте 140 ГГц. Определены основные качественные показатели и характеристики. Они удовлетворяют предъявляемым требованиям от систем. Из графиков видно, что созданная модель каскада не противоречит теории радиопередающих устройств и полученные характеристики обеспечивают линейное усиления до уровня выходной мощности порядка 37 дБ в заданной полосе частот.

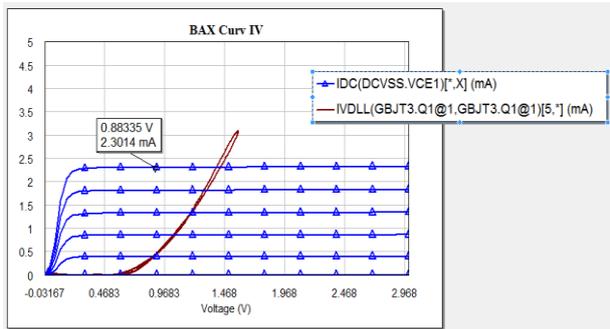


Рис. 2. Вольт-амперная и динамическая характеристики каскада

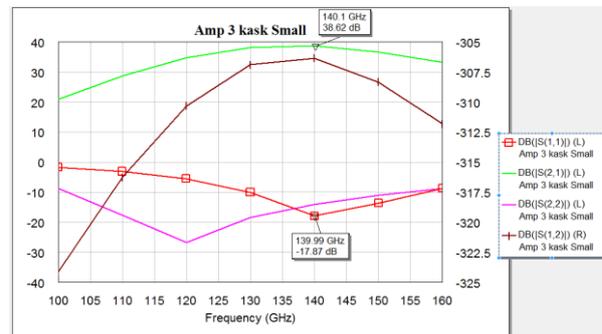


Рис.3. S – параметры, показывающие коэффициент усиления, развязку и согласование

Литература

1. Hirata Akihiko, Kosugi Toshihiko, Takahashi Hiroyuki 120-GHz-Band Millimeter-Wave Photoni Wireless Link for 10Gb/s Data Transmission // IEEE Transactions on micro-mave theory and techniquos. May 2006. Vol. 54. No. 5.
2. Wells J. New multi-gigabit wireless systems satisfy high-security rapid response applications / J. Wells // technology Securing MIL SYSTEMS, 2006. – P. 32—34.
3. B. Heydari. Millimeter Wave Devices and Circuit Blocks up to 104 GHz in 90 nm CMOS./ B. Heydari, M. Bohsali, E. Adabi, A. M. Niknejad.// IEEE JSSC, Vol. 42, No. 21, Dec. 2007, pp. 2893-2903.
4. 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.p.55.