

УДК 621.38

Е.В.Балашов (6 курс, каф. РТТК), А.С.Коротков, д.т.н., проф.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РАДИОПРИЕМНОГО ТРАКТА В СРЕДЕ LabVIEW

ABSTRACT: Simulation of receiver section devices is examined. Models of AM-detector and mixer based on diode and FET are described. LabVIEW models of the circuits are realized. The results of modeling are presented.

LabVIEW – система графического программирования для ввода/вывода, визуализации, обработки сигналов и моделирования устройств различного назначения, в том числе систем связи. Программирование в среде LabVIEW осуществляется заданием панели ввода/вывода данных и блок схемы, описывающей математическую модель устройства. LabVIEW обладает компилятором, генерирующим оптимизированный код со скоростью быстрогодействия сравнимой с кодом С-компилятора. Для коллективного дистанционного доступа к созданным моделям, в LabVIEW встроены веб-сервер и библиотека межсетевого обмена. Модели могут быть подключены к локальной или глобальной сети и использоваться для коллективного дистанционного доступа даже с тех компьютеров, где не установлена среда LabVIEW. Последнее из перечисленных достоинств делает LabVIEW наиболее перспективным для дистанционного доступа.

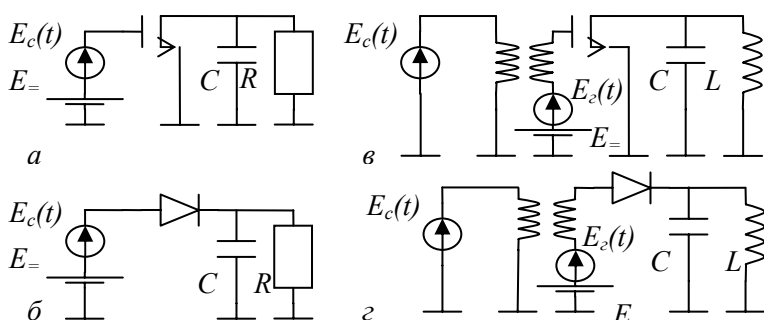


Рис. 1. Устройства радиочастотного тракта: *а* – АМ детектор на МОП-транзисторе; *б* – АМ детектор на диоде; *в* – смеситель на МОП-транзисторе; *з* – смеситель на диоде

Моделирование нелинейных устройств проводится во временной области. Для этого решается система дифференциальных уравнений. Пакет LabVIEW предоставляет инструменты для решения систем уравнений, заданных в символьной форме. Уравнения моделируемого устройства составляется в базе переменных состояния [1, гл. 4,5], и затем используются при реализации модели. Рассматриваются устройства радиоприемного тракта: АМ детектор (рис.1 *а*, *б*) и смеситель (рис.1 *в*, *з*) в двух реализациях: на МОП-транзисторе и диоде [2]. Источники напряжения $E_c(t)$ и $E_z(t)$ (рис. 1) соответствуют источникам сигнала и гетеродина и определяются выражениями:

$$E_c(t) = U_m \cdot (1 + k_m \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_c \cdot t)) \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot t) \quad E_z(t) = U_{mz} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_z \cdot t) \quad (1)$$

где U_m , U_z – амплитуда сигнала и гетеродина, f_c , f_n и f_z – частота сигнала, несущей и гетеродина, k_m – коэффициент модуляции, E_- – напряжения смещения. Выходная нагрузка детектора представляет параллельную RC -цепь. Выходная нагрузка смесителя – параллельный резонансный LC -контур с частотой настройки, равной промежуточной частоте.

Для построения математической модели составляется эквивалентная схема устройства с использованием зависимого источника тока, эквивалентного нелинейному элементу. Затем

составляется граф эквивалентной цепи, на основе которого строится матрица главных контуров. Решается топологическая система уравнений относительно переменных состояния – напряжения на конденсаторе и тока через индуктивность (в случае смесителя). После добавления компонентных уравнений формируется математическое описание устройств. АМ детектор на полевом транзисторе описывается уравнением (2), на диоде – уравнением (3):

$$\frac{dU_C}{dt} = \left(\frac{1}{C \cdot R_{3C}} + \frac{1}{C \cdot R} \right) \cdot U_C - \frac{1}{C \cdot R_{3C}} \cdot E + \frac{I_{FET}[E(t)]}{C}, \quad (2)$$

$$\frac{dU_C}{dt} = -\frac{1}{C \cdot R} \cdot U_C + \frac{I_D[E(t) - U_C]}{C}. \quad (3)$$

Смесители на МОП-транзисторе и диоде описываются системами (4) и (5) соответственно:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_L}{dt} = \frac{U_C}{L} - I_L \cdot \frac{R_L}{L} \\ \frac{dU_C}{dt} = -\frac{1}{C} \cdot \frac{U_C}{R_{3C}} - \frac{1}{C} \cdot I_L + \frac{1}{C} \cdot \frac{E(t)}{R_{3C}} + \frac{1}{C} \cdot I_{FET}[E(t)] \end{array} \right. \quad (4) \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_L}{dt} = \frac{U_C}{L} - I_L \cdot \frac{R}{L} \\ \frac{dU_C}{dt} = -\frac{1}{C} \cdot I_L + \frac{1}{C} \cdot I_D[E(t) - U_C] \end{array} \right. \quad (5)$$

где R_{3C} – сопротивление между затвором и стоком, R_L – сопротивление потерь катушки индуктивности, $E(t)$ – эквивалентный сигнал, представляющий собой суммарное напряжение на входе детектора. Токи через МОП-транзистор и диод задаются выражениями (6), (7):

$$I_{FET}(U_{3И}) = k \cdot (U_{3И} - U_0)^2, \quad (6) \quad I_D(U_D) = I_0 \cdot (\exp(U_D / 0,025) - 1), \quad (7)$$

где k – коэффициент проводимости транзистора с размерностью A/B^2 , U_0 – напряжение отпирания транзистора, I_0 – ток насыщения диода.

Программная реализация математической модели состоит из двух файлов: первый выполняет формирование в символьной форме правой части системы дифференциальных уравнений, векторов переменных и функции входного сигнала, второй, демонстрационный, предоставляет возможность выбора параметров моделирования, осуществляет интегрирование дифференциальных уравнений, поступающих из первого файла, обработку и вывод результатов моделирования.

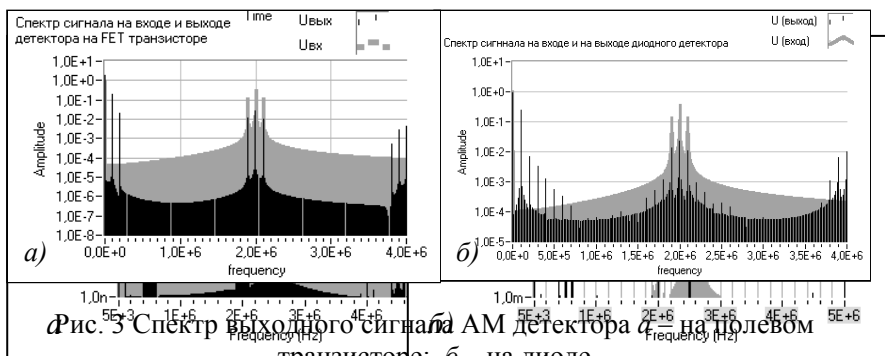


Рис. 2 Спектр выходного сигнала смесителя *a* – на МОП-транзисторе; *б* – на диоде

Моделирование смесителей и детекторов проведено при следующих параметрах сигналов: $f_c=100$ кГц, $f_n=2$ МГц, $f_s=2,5$ МГц; $k_m=0,5$, $U_s=500$ мВ; $U_c=500$ мВ для детекторов, $U_c=50$ мВ для смесителей. При этом использованы следующие параметры элементов: $k=0,01$ A/B^2 и $U_0=0,6$ В, $I_0=1$ пА, выходной контур

смесителя: $R_L=0,001$ Ом, $C=100$ мкФ, $L=1$ нГн, выходной контур детектора: $R=420$ Ом, $C=10$ нФ. На рис. 2 и рис. 3 приведены основные результаты моделирования: спектры входных и выходных сигналов устройств. Выходной спектр смесителей содержит сигнал на промежуточной частоте, а также не подавленные в выходном контуре сигнал на несущей частоте и сигнал гетеродина (рис.2 *a*, *б*). Выходной спектр детектора содержит гармонику модулирующего сигнала, а также не подавленный в выходном контуре сигнал на несущей частоте (рис.3 *a*, *б*). Уровень нелинейных искажений выходного сигнала в диодном детекторе

выше, чем в детекторе на полевом транзисторе, что обусловлено экспоненциальной характеристикой зависимости тока через диод, а не полиномиальной зависимостью в случае полевого транзистора. Полученные результаты моделирования полностью соответствуют теоретическим данным.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Автоматизация проектирования радиоэлектронных средств / Под ред. О.В.Алексеева. – М.: Высш. шк., 2000, – 479с.
2. О.В. Головин. Радиоприемные устройства. – М.: Радио и Связь, 2002, – 384 с.