

**АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
МОДЕЛИРОВАННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРА ПРИ
РАЗРАБОТКЕ УСИЛИТЕЛЯ**

Шуров А.П., Разгуляева Н.Г., Малкин А.И.

ФГАОУ ВО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»,
Екатеринбург, Россия
shurov060501@mail.ru

Аннотация. Описан метод сравнения модели транзистора с его справочными характеристиками для выявления несоответствия параметров с реальным. Исследованы выходные вольт-амперные характеристики отечественного высокочастотного маломощного транзистора КТ-368А, проведена его проверка в схеме разработанного усилителя, проведены измерения и сравнение АЧХ. Показано, что характеристики модели транзистора не соответствуют справочным, из-за чего АЧХ имеют отличия. В частности, значения тока коллектора и сопротивления базы отличаются в 2-3 раза по сравнению с расчетами, проведенными по техническим параметрам. Коэффициент усиления по напряжению и полоса пропускания отличаются от собранного усилителя в 3 и 1.2 раза соответственно.

Ключевые слова: транзистор, КТ-368А, вольт-амперные характеристики, Micro-Cap.

**ANALYSIS OF THE POSSIBILITIES OF USING THE SIMULATED
CHARACTERISTICS OF A TRANSISTOR IN THE DEVELOPMENT
OF AN AMPLIFIER**

Shurov A.P., Razgulyaeva N., Malkin A.I.

Ural Federal University, Ekaterinburg, Russia

Abstract. A method is described for comparing the transistor model with its reference characteristics to identify the discrepancy between the parameters

and the real one. The output volt-ampere characteristics of the domestic high-frequency low-power transistor КТ-368А were investigated, its verification was carried out in the circuit of the developed amplifier, measurements and comparison of frequency response were carried out. It is shown that the characteristics of the transistor model do not correspond to the reference ones, which is why the frequency response has differences. In particular, the values of the collector current and the base resistance differ by 2-3 times compared to calculations carried out according to technical parameters. The voltage gain and bandwidth differ from the assembled amplifier by 3 and 1.2 times, respectively.

Keywords: transistor, КТ-368А, volt-ampere characteristics, Micro-Cap.

1. Введение

Существует несколько этапов создания устройства, ключевым из которых является моделирование. В настоящее время существует множество программ и приложений, позволяющих создать модель реального устройства и провести его исследование. Однако не всегда учитываются множество влияющих факторов, таких как окружающая среда, ЭМ совместимость и др.

В данной работе проводится исследование модели транзистора в среде Micro-Cap на примере построения его выходных характеристик и сравнения со справочными, а также проверка его работы в схеме разработанного усилителя.

2. Основная часть

В качестве исследуемой модели был выбран отечественный высокочастотный маломощный транзистор КТ-368А, который по техническим параметрам имеет граничную частоту коэффициента передачи тока равную 900 МГц и статический коэффициент передачи тока от 50 до 450 [1]. В качестве среды моделирования используется схемотехническая программа Micro-Cap, особенностью которой является большая встроенная библиотека

различных компонентов, в том числе транзисторов. Так как в основном программа содержит модели только зарубежных компонентов, то задание отечественного транзистора можно осуществить заданием параметров SPICE-модели транзистора КТ-368А. Особенность такой модели в том, что она является приближенной к реальному элементу, но не всегда соответствует реальным техническим параметрам.

Одним из способов проверки соответствия такой модели и реального транзистора является сравнение их выходных вольт-амперных характеристик (ВАХ), так как по ним выбирается оптимальный режим работы транзистора [2].

Создание ВАХ в среде Micro-Cap осуществляется в режиме анализа DC (по постоянному току). В этом режиме строится график зависимости тока коллектора (I_k) от напряжения коллектор-эмиттер ($U_{кэ}$), который представляет собой семейство выходных ВАХ транзистора (Рисунок 1). Верхняя ветка графика выбирается равной максимальному току коллектора, а шаг между ветками выбирается равным изменению тока базы (I_b) в соответствии со справочными характеристиками [1].

Сравнение ВАХ проводится по точкам пересечения графика с нагрузочной прямой.

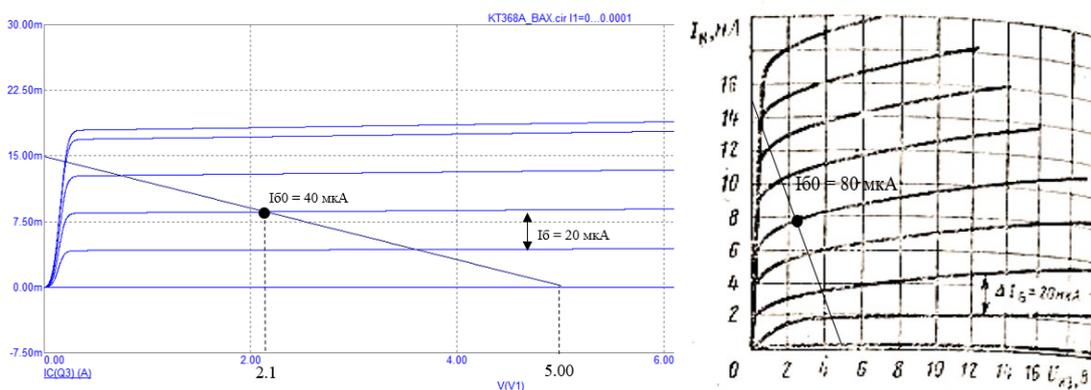


Рисунок 1 – Выходные ВАХ: а) смоделированная б) справочная

По полученным значениям можем рассчитать сопротивление базы (R_B) усилительного каскада [3] для задания рабочей точки модели и реального устройства (Рисунок 2). Сравнение модели усилителя и реального устройства проводится путем построения их АЧХ (Рисунок 3).

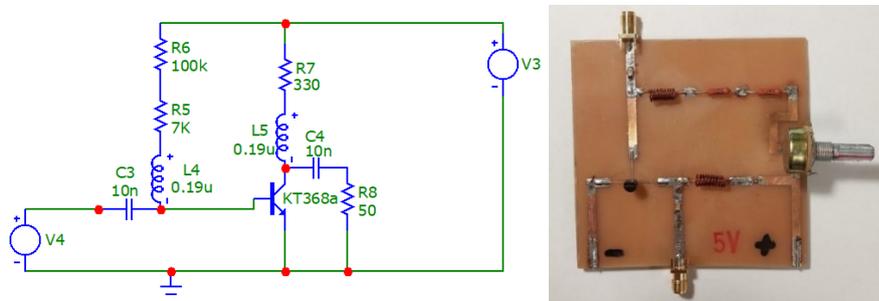


Рисунок 2 – Усилитель: а) схема модели в Micro-Cap, б) собранное устройство

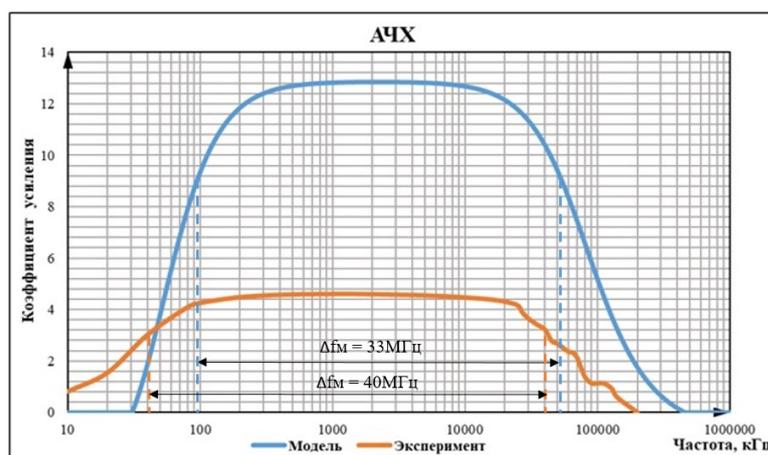


Рисунок 3 – АЧХ модели усилителя в Micro-Cap (синий) и собранного устройства (оранжевый)

По результатам работы видно, что характеристики ВАХ не совпадают, значит работа модели транзистора может быть некорректна. Математические расчеты по вычислению сопротивления базы (R_B) показали численные результаты модели и эксперимента, отличающиеся в 2-3 раза. Наиболее наглядно различия можно увидеть на амплитудно-частотных характеристиках: у модели усилителя коэффициент усиления по напряжению в 3 раза больше, а полоса пропускания меньше в 1.2 раза, чем у реального усилителя. Также стоит отметить тот факт, что в обоих случаях АЧХ измеряется не для

самого транзистора, а для всего усилительного каскада. Из-за этого на результаты измерений влияют паразитные параметры использованных в схеме элементов, которые дают спад АЧХ в области верхних частот.

3. Заключение

В работе исследована модель отечественного транзистора КТ-368А с помощью программы моделирования Micro-Cap, были построены и исследованы его выходные ВАХ. Построенные характеристики по сравнению со справочными имеют существенное различие значений в 2-3 раза. Построенные АЧХ модели и реального усилителя отличаются, по полосе пропускания в 1,2 раза, а по коэффициенту усиления в 3 раза. По результатам исследований можно сделать вывод, что использование моделей транзисторов не гарантирует их соответствие реальным элементам, поэтому при моделировании необходимо опираться на технические параметры и справочные характеристики компонентов. В частности, для транзистора КТ-368А характеристики модели значительно отличаются от характеристик справочных и результаты моделирования не соответствуют результатам исследования реального компонента. На основании этого стоит предположить, что созданные SPICE-модели имеют ошибки и требуется их дальнейшее изучение и корректировка.

Библиографический список

1. Брежнева, К. М., Гантман, Е. И., Давыдова, Т.И., Коровин, Г. Г., Перельман, Б. Л. Транзисторы для аппаратуры широкого применения: Справочник/ К. М. Брежнева, Е. И. Гантман, Т. И. Давыдова и др. Под ред. Б. Л. Прельмана. – М.: Радио и связь, 1981. – 656 с., ил.
2. Шумилин, М. С. Проектирование транзисторных каскадов передатчиков: учеб. пособие для техникумов / М. С. Шумилин [и др.]. М.: Радио и связь, 1987. 320 с.

3. Белов, Л. А., Богачев, В. М., Благовещенский, М. В. Устройства генерирования и формирования радиосигналов: Учебник для вузов / Л. А. Белов, В. М. Богачев, М. В. Благовещенский и др.; Под ред. Г. М. Уткина, В. Н. Кулешова и М. В. Благовещенского. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Радио и связь, 1994. – 416 с.: ил.