

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА В ПАКЕТЕ САПР

Рекомендовано редакционно-издательским советом
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения
высшего профессионального образования «Самарский государственный
аэрокосмический университет имени академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет)»
в качестве методических указаний

Самара
Издательство СГАУ
2014

Составитель *А.Н. Муравьев*

Рецензент канд. техн. наук, доц. И. В. Л о ф ц к и й

Разработка и исследование модели полевого транзистора в пакете САПР: метод. указания / сост. *А.Н. Муравьев*. – Самара: Изд-во СГАУ, 2014. – 20 с.

Изложена методика разработки и исследования модели полевого транзистора в пакете САПР OrCAD-PSPICE. Приведены методы оценки точности модели и тестирование в реальной схеме.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по специальностям 210601 «Радиоэлектронные системы и комплексы», 210400 «Радиотехника», 200500 «Лазерная техника и лазерные технологии» по дисциплине «Прикладная информатика» и по специальности 201000 «Биотехнические системы и технологии» и выполняющих лабораторные работы по дисциплине «Основы компьютерного проектирования радиоэлектронных медицинских аппаратов». Разработаны на кафедре радиотехники.

1. КРАТКИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ СВЕДЕНИЯ

Полевой транзистор (ПТ) – полупроводниковый прибор, в котором регулирование тока осуществляется изменением проводимости проводящего канала с помощью поперечного электрического поля. В отличие от биполярного ток полевого транзистора обусловлен потоком основных носителей.

Электроды полевого транзистора называют истоком (И), стоком (С) и затвором (З). Управляющее напряжение прикладывается между затвором и истоком. От напряжения между затвором и истоком зависит проводимость канала, следовательно, и величина тока. Таким образом, полевой транзистор можно рассматривать как источник тока, управляемый напряжением затвор-исток.

По конструкции полевые транзисторы можно разбить на две группы:

- с управляющим р-п-переходом;
- с металлическим затвором, изолированным от канала диэлектриком.

Проводимость канала полевого транзистора может быть электронной или дырочной. Если канал имеет электронную проводимость, то его называют n-каналом. Каналы с дырочной проводимостью называют р-каналами.

Структура полевого транзистора с каналом n-типа показана на рис. 1,а. На рис. 1, б приведено его условное графическое обозначение.

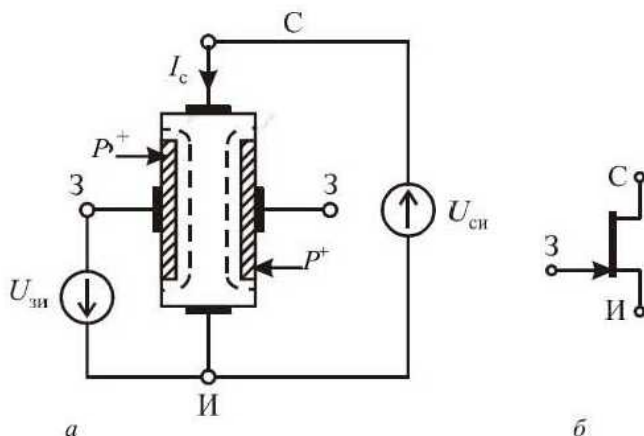


Рисунок 1 – Полевой транзистор с управляющим р-п-переходом

Принцип действия полевого транзистора с управляющим р-п-переходом основан на изменении проводимости канала за счёт изменения его поперечного сечения. Между стоком и истоком включается напряжение такой полярности, чтобы основные носители заряда (электроны в канале n-

типа) перемещались от истока к стоку. Между затвором и истоком включено отрицательное управляющее напряжение, которое запирает р–п-переход. Чем больше это напряжение, тем шире запирающий слой и уже канал. С уменьшением поперечного сечения канала его сопротивление увеличивается, а ток в цепи сток-исток уменьшается. Это позволяет управлять током стока с помощью напряжения затвор-исток $U_{зи}$. При некоторой величине напряжения затвор-исток запирающий слой полностью перекрывает канал, что приводит к уменьшению проводимости канала. Напряжение $U_{зи}$, при котором перекрывается канал, называют напряжением отсечки и обозначают $U_{отс}$ (или U_0). Для n-канального полевого транзистора напряжение отсечки отрицательно.

Рассмотрим вольт-амперные характеристики ПТ. Входные характеристики у полевых транзисторов отсутствуют, так как входной ток равен нулю. Выходные характеристики полевого транзистора с управляющим р–п-переходом и каналом n-типа показаны на рис. 2. На выходной характеристике можно выделить три области – отсечки, линейную и насыщения. В линейной области ВАХ представляют прямые, наклон которых зависит от напряжения затвор-исток $U_{зи}$. Минимальное сопротивление канала достигается, когда напряжение $U_{зи} = 0$, так как проводящая часть канала в этом случае имеет наибольшее сечение.

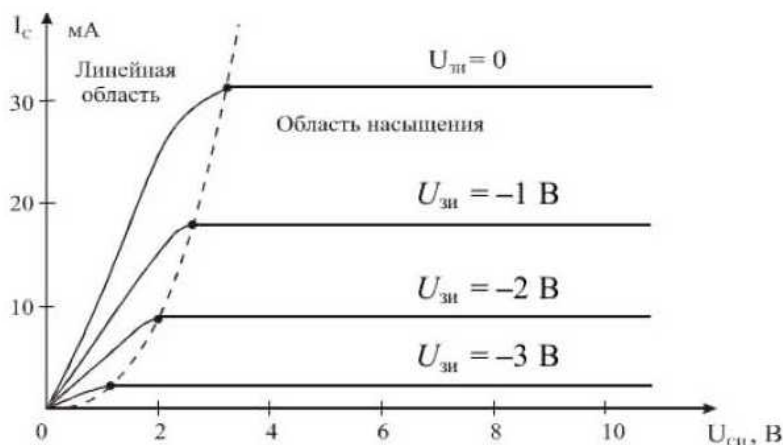


Рисунок 2 – Выходные характеристики ПТ

Таким образом, в линейной области полевой транзистор можно использовать как резистор, сопротивление которого регулируется напряжением затвора.

В области насыщения ветви выходной характеристики расположены почти горизонтально. Это объясняется тем, что при увеличении напряжения

сток-исток $U_{си}$ область перекрытия канала вблизи стока расширяется и сопротивление канала увеличивается.

В области насыщения полевой транзистор удобно моделировать передаточной характеристикой – зависимостью тока стока I_c от напряжения затвор-исток $U_{зи}$ при постоянном напряжении сток-исток:

$$I_c = f(U_{зи}) \mid U_{си} = \text{const.}$$

Передаточная характеристика n-канального полевого транзистора с управляющим p–n-переходом показана на рис. 3.

При нулевом напряжении на затворе ток стока имеет максимальное значение, которое называют начальным $I_{c \text{ нач}}$. При увеличении напряжения затвор-исток ток стока уменьшается и при напряжении отсечки $U_{отс}$ становится близким к нулю.

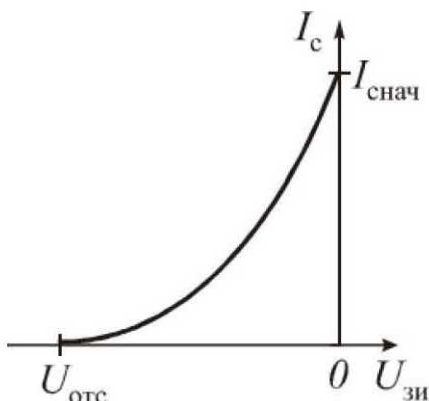


Рисунок 3 – Передаточная характеристика ПТ

Приведем уравнения, которыми описываются характеристики полевого транзистора с управляющим p–n-переходом.

Режим отсечки:

$$U_{зи} \leq U_{отс}, I_c = 0.$$

Линейный режим:

$$U_{отс} \leq U_{зи} \leq 0, U_{си} \leq U_{зи} - U_{отс}.$$

ВАХ полевого транзистора на участке, соответствующем линейному режиму, аппроксимируется выражением

$$I_c = I_{c \text{ нач}} \left[2 \left(1 - \frac{U_{зи}}{U_{отс}} \right) \left(\frac{U_{си}}{-U_{отс}} \right) - \left(\frac{U_{си}}{U_{отс}} \right)^2 \right].$$

Режим насыщения:

$$U_{отс} \leq U_{зи} \leq 0, \quad U_{си} \geq U_{зи} - U_{отс},$$

$$I_c = I_{снач} \left(1 - \frac{U_{зи}}{U_{отс}} \right)^2.$$

Важным параметром полевого транзистора является крутизна характеристики, определяемая как отношение приращения тока стока ΔI_c к приращению напряжения затвор-исток $\Delta U_{зи}$:

$$S = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зи}} = \frac{dI_c}{dU_{зи}}.$$

Крутизна полевых транзисторов с управляющим р-п-переходом может изменяться от 1–2 мА/В у маломощных приборов до единиц А/В у силовых транзисторов.

Выходное сопротивление или сопротивление канала R_i (определяется в режиме насыщения):

$$R_i = \Delta U_{си} / \Delta I_c \quad | \quad U_{зи} = \text{const.}$$

Выходное сопротивление характеризуется тангенсом угла наклона выходных характеристик. В рабочей области (режим насыщения) этот угол близок к нулю и, следовательно, выходное сопротивление оказывается при использовании транзистора в усилительном каскаде достаточно большим – (сотни килоом).

Статический коэффициент усиления:

$$\mu = \Delta U_{си} / \Delta U_{зи} \quad | \quad I_c = \text{const.}$$

Параметры ПТ связаны соотношением

$$\mu = S \cdot R_i.$$

Наиболее часто для анализа усилительного режима используется простая схема замещения полевого транзистора, представленная на рис. 4.

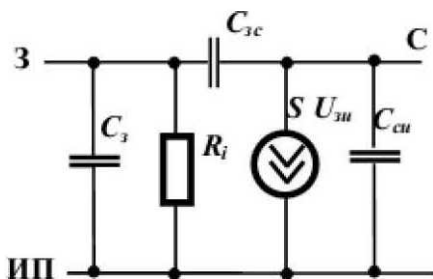


Рисунок 4 – Схема замещения ПТ

В этой схеме принято, что вывод подложки **П** электрически соединен с истоком **И**. Основную идею работы ПТ выражает зависимый

источник тока в цепи стока $SU_{\text{зв}}$ управляемый напряжением затвор-исток. Сопротивление канала представлено резистором R_i .

Следует отметить, что входное и выходное сопротивления ПТ носят явно выраженный емкостный характер, т.к. конструкция полевого транзистора обуславливает наличие больших входных $C_з$ и выходных $C_{\text{си}}$ емкостей. Поэтому увеличение частоты входного сигнала приводит к фактическому падению коэффициента усиления каскада на полевом транзисторе.

Простейший усилительный каскад на полевом транзисторе для схемы включения общих истоков показан на рис. 5.

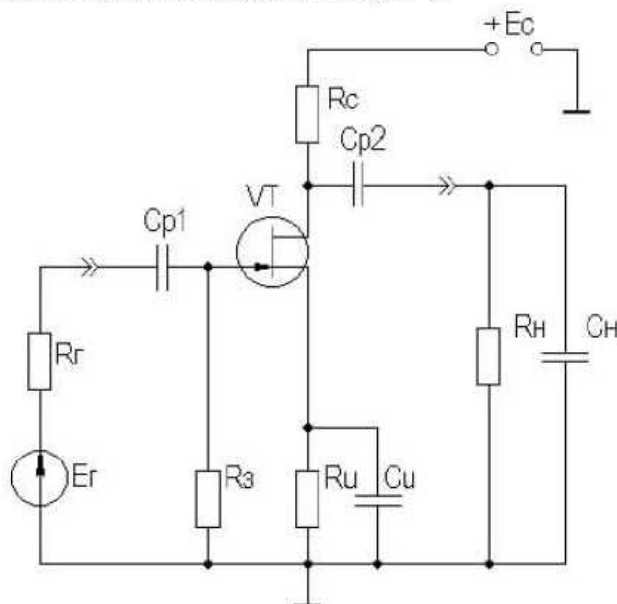


Рисунок 5 – Усилительный каскад на полевом транзисторе

В схеме:

E_c – постоянное напряжение питания каскада ($E_c=10\dots20\text{В}$);

E_Γ – источник входного сигнала ($E_\Gamma=1\dots100\text{мВ}$);

R_Γ – внутреннее сопротивление источника сигнала;

$R_\text{н}$, $C_\text{н}$ – сопротивление и емкость нагрузки;

$C_{\text{р1}}$, $C_{\text{р2}}$ – разделительные конденсаторы на входе и выходе;

$R_\text{з}$ – резистор, обеспечивающий по постоянному току напряжение между затвором и «землей», равное 0В, т.к. входной ток полевого транзистора отсутствует;

$R_\text{и}$ – создает отрицательное напряжение смещения на затворе для задания рабочей точки ($U_{\text{зи0}}$, $I_{\text{с0}}$) на передаточной характеристике от протекания тока стока;

R_c – задает положение рабочей точки на выходных характеристиках ($U_{си0}, I_{c0}$) от протекания тока стока и определяет коэффициент усиления по напряжению;

$C_{и}$ – блокировочный конденсатор, устраняющий отрицательную обратную связь по переменной составляющей через $R_{и}$.

Для выбранного положения рабочей точки в середине линейного участка передаточной характеристики транзистора ($U_{зи0}, I_{c0}$) и средней части усилительного линейного режима (режима насыщения) ($U_{си0}, I_{c0}$) выходных характеристик элементы схемы рассчитываются по формулам

$$R_{и} = U_{зи0} / I_{c0};$$

$$R_c = (E_c - U_{си0}) / I_{c0}.$$

Остальные элементы для каскада в области звуковых частот 60-20000Гц можно принять равными: $R_3 = 1\text{МОм}$ и $C_{р1} = C_{р2} = C_{и} = 22\text{мкФ}$.

2. ЗАДАНИЕ НА ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ

Цель работы: Провести моделирование в пакете OrCAD-PSPICE полевого транзистора с р–п-переходом для получения параметров схемы замещения. Исследовать работу каскада на ПТ и каскада с использованием схемы замещения.

Для указанного типа транзистора:

1. Построить передаточную характеристику $I_c = f(U_{зи})$ при $U_{си} = \text{const} = 15 \dots 20\text{В}$.

2. Определить напряжение отсечки $U_{отс}$, начальный ток стока I_c нач.

3. Построить на графике передаточной характеристики аппроксимацию передаточной характеристики с найденными значениями $U_{отс}$, I_c нач.

$$I_c = I_{c\text{нач}} \left(1 - U_{зи} / U_{зиотс} \right)^2.$$

4. Выбрать рабочую точку в середине линейного участка передаточной характеристики ($U_{зи0}, I_{c0}$).

5. Построить выходные характеристики для пяти значений $U_{зи}$.

$$U_{зи} = \{0\text{В}; U_{\dots}; U_{зи0}; U_{\dots}; U_{отс}\},$$

где U_{\dots} – промежуточные значения напряжения затвор-исток.

6. Выбрать рабочую точку в середине линейного участка выходных ВАХ ($I_{c0}, U_{си0}$). Можно принять $U_{си0} \approx E_c / 2$.

7. Определить крутизну ПТ в рабочей точке S , сопротивление канала R_i , коэффициент усиления по напряжению $\mu = S \cdot R_i$.

8. Построить на выходной характеристике для значения напряжения $U_{зи0}$ аппроксимацию выходной характеристики:

$$I_c = I_{c\text{нач}} \left[2 \left(1 - \frac{U_{зи}}{U_{отс}} \right) \left(\frac{U_{си}}{-U_{отс}} \right) - \left(\frac{U_{си}}{U_{отс}} \right)^2 \right].$$

9. Нарисовать линейную схему замещения ПТТ и указать ее рассчитанные параметры.

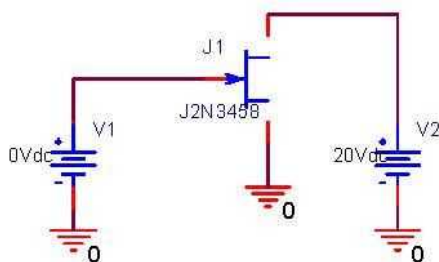
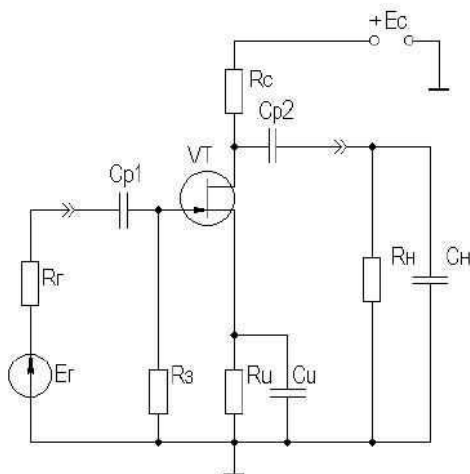


Рисунок 6 – Схема для получения передаточной характеристики

10. Рассчитать элементы схемы усилительного каскада на ПТТ с общим истоком для выбранных значений I_{c0} , $U_{си0}$, $U_{зи0}$:

$$R_{и} = U_{зи0} / I_{c0};$$

$$R_{с} = (E_{с} - U_{си0}) / I_{c0};$$

$$R_{з} = 1 \text{ Мом.}$$

11. Провести моделирование каскада по постоянному току. Определить напряжение в узлах и ток цепи стока. Сравнить их с I_{c0} , $U_{си0}$, $U_{зи0}$.

12. Провести моделирование усилительного каскада со схемой замещения по постоянному току. Определить напряжение в узлах и ток цепи стока. Сравнить их с I_{c0} , $U_{си0}$, $U_{зи0}$.

13. Сравнить результаты расчетов в п.11 и п. 12. Сделать вывод о соответствии параметров каскадов на транзисторе и на его схеме замещения.

14. Провести моделирование усилительного каскада на ПТТ во временной области. Определить коэффициент усиления по результатам моделирования как отношение амплитуд выходного напряжения к входному.

Рассчитать теоретический коэффициент усиления по формуле: $K_u = -S \cdot R_c$. Сравнить результаты.

15. Провести моделирование усилительного каскада со схемой замещения во временной области. Определить коэффициент усиления по результатам моделирования как отношение амплитуд выходного напряжения к входному. Сравнить результат с п. 14.

Примечание. Для выполнения практического занятия можно использовать и другие пакеты САПР, например, Multisim, Proteus, MicroCap и др.

3. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Выполним указанное задание на примере ПТТ типа 2N3458.

В программе OrCAD-PSpICE модели полевых транзисторов с р-п-переходом находятся в библиотеке JFET.olb. Примем $E_c = 20\text{В}$.

1. Схема для получения передаточной характеристики (рис. 6):

Для получения передаточной характеристики производится анализ по постоянному току с вариацией напряжения затвор-исток. Настройки профиля моделирования (рис. 7) могут быть другими для индивидуального задания, т.к. транзисторы имеют разное напряжение отсечки. Также шаг в приращении напряжения следует брать меньше для построения более гладких графиков.

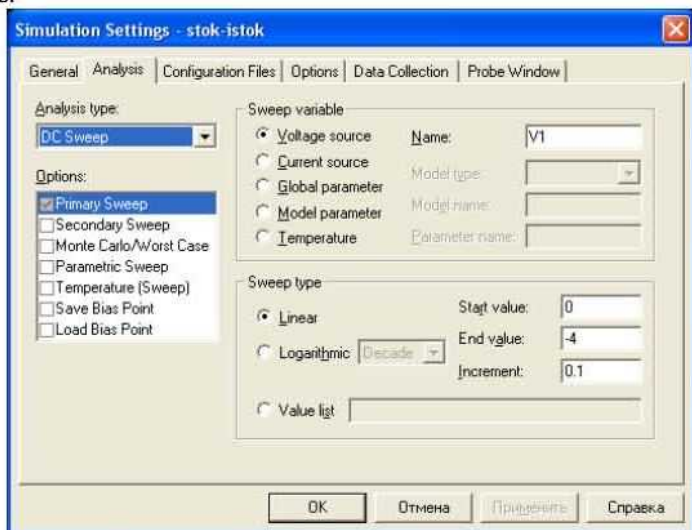


Рисунок 7 – Настройка профиля моделирования

Передаточная характеристика (рис. 8) получается после вывода графика тока стока:

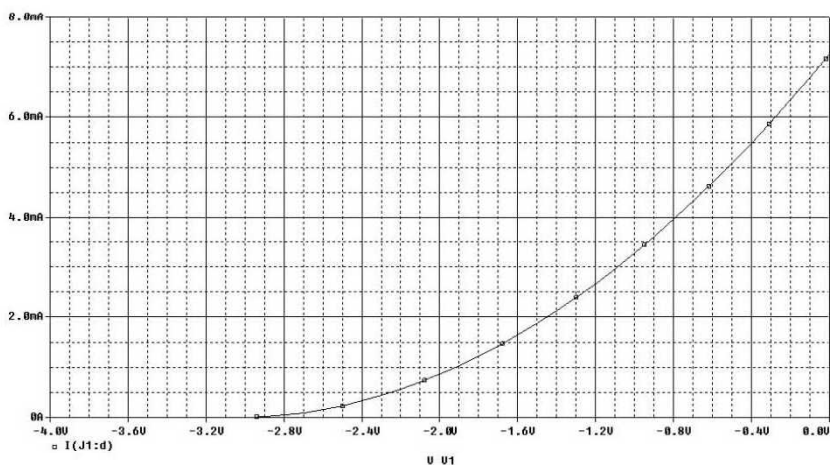


Рисунок 8 – Передаточная характеристика

2. Из графика определяем: $U_{отс} = -3\text{В}$ и $I_{снач} = 7,26\text{мА}$. Для точного определения параметров используйте режим курсора.

3. Для построения аппроксимации передаточной характеристики используем формулу

$$I_C = I_{снач} \left(1 - U_{зи} / U_{зиотс}\right)^2$$

Пример записи этой формулы в стандарте пост-процессора PROBE показан на рис. 9. Он соответствует обозначениям элементов на рис. 6.

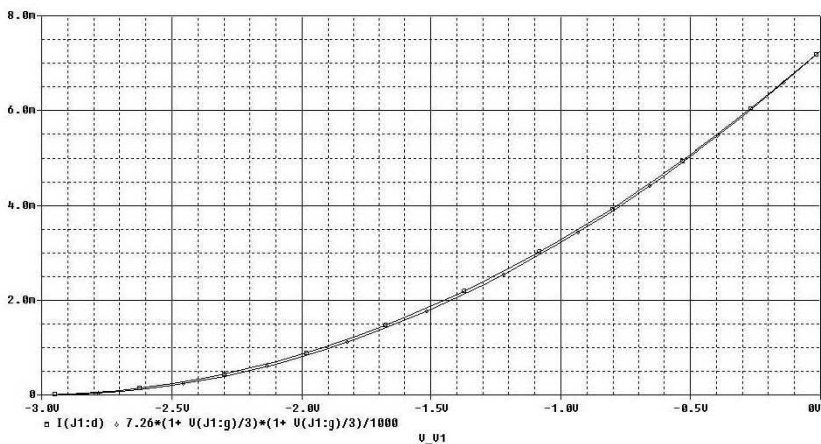


Рисунок 9 – Аппроксимация передаточной характеристики

Как видно из рис. 9, аппроксимация по формуле выполнена достаточно точно.

4. Выбираем рабочую точку в середине линейного участка передаточной характеристики с параметрами $U_{зи0} = -0,5\text{В}$ и $I_{c0} = 5,11\text{мА}$ при $U_{си} = E_c = 20\text{В}$.

5. Выходные характеристики строим для пяти значений $U_{зи}$:
 $U_{зи} = \{0\text{В}; -0,25\text{В}; U_{зи0} = -0,5\text{В}; -1,5\text{В}; U_{отс} = -3\text{В}\}$.

Для построения выходных характеристик проводим анализ по постоянному току с вариацией напряжений на затворе V1 ($U_{зи}$ по списку в цикле Secondary Sweep) и V2 ($U_{си}$ линейно от 0В до $E_c = 20\text{В}$ в цикле Primary Sweep).

Настройка профиля моделирования для получения выходных характеристик (рис. 10):

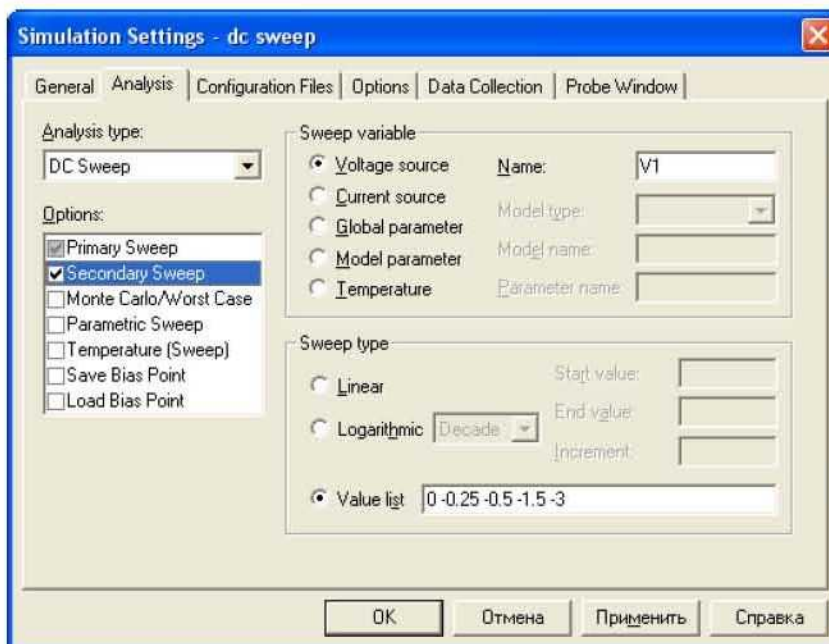
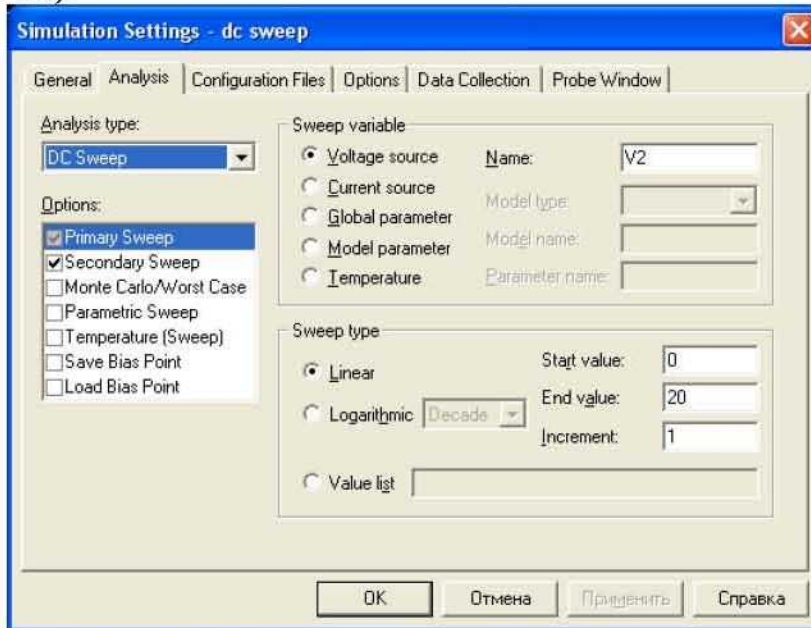


Рисунок 10 – Профиль моделирования

График выходных характеристик (рис. 11):

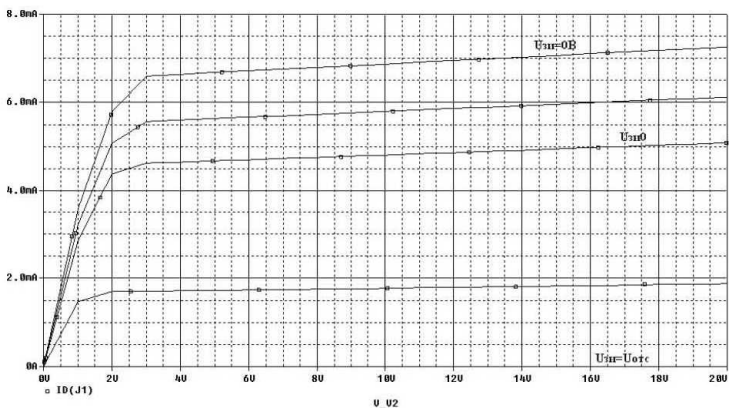


Рисунок 11 – Выходные характеристики

6. Выбираем рабочую точку в середине линейного участка выходных ВАХ ($I_{c0}=4,8\text{mA}\approx 5\text{mA}$, $U_{си0}=E_c/2=20/2=10\text{B}$).

7. По передаточной характеристике определяем крутизну в рабочей точке:

$$S = \Delta I_c / \Delta U_{зи} = (6,11 - 5,08) / (-0,25 - (-0,5)) = 4,12 \text{ mA/V.}$$

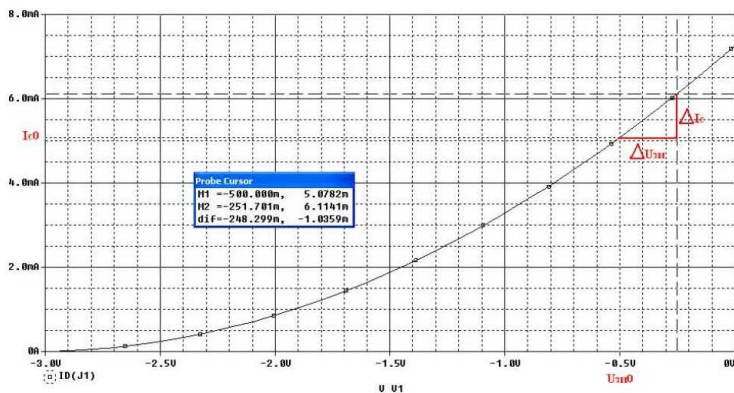


Рисунок 12 – Определение крутизны

Теоретическое значение:

$$S = \frac{dI_c}{dU_{зи}} = \frac{2}{|U_{зи}|} \cdot \sqrt{I_{снач} \cdot I_{с0}} = \frac{2}{|-3|} \cdot \sqrt{7,26 \cdot 5,11} = 4,06 \text{ мА/В.}$$

По выходной характеристике для $U_{зи} = U_{зи0} = -0,5\text{В}$ определяем сопротивление канала (рис. 13):

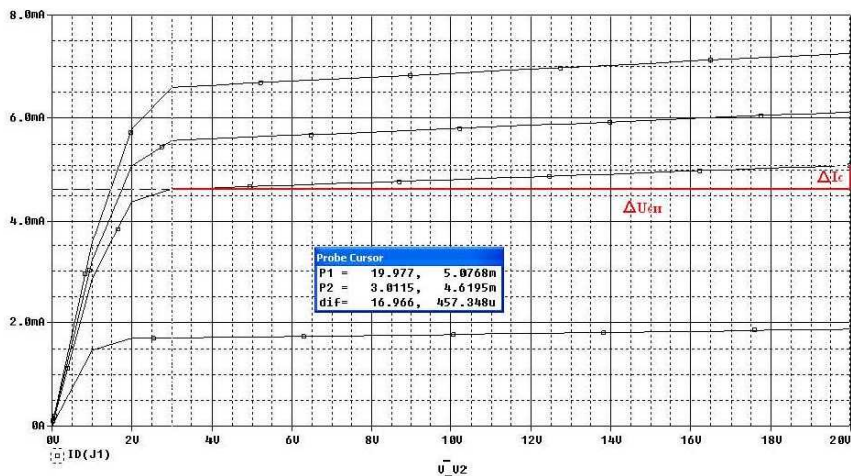


Рисунок 13 – Определение сопротивления канала

$$R_i = \Delta U_{си} / \Delta I_c = (19,98 - 3,01) / (5,08 - 4,62) \cdot 10^{-3} = 36,89 \text{ Ом.}$$

Коэффициент усиления транзистора:

$$\mu = S \cdot R_i = 4,06 \cdot 36,89 = 149,78.$$

Сопротивление канала в рабочей точке постоянному току определяется как:

$$R_{i=} = U_{си0} / I_{с0} = 10 / 5 \cdot 10^{-3} = 2 \text{ кОм.}$$

8. Аппроксимация выходной характеристики строится аналогично п.3.

9. Линейная схема замещения для переменного тока (рис. 14):

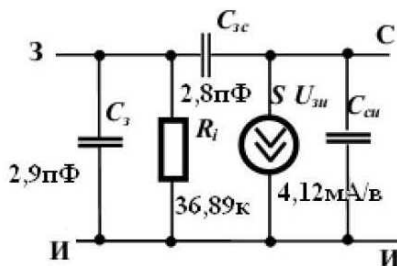


Рисунок 14 – Схема замещения по переменному току

Параметры емкостей можно взять из справочника или из программы САПР. Схема замещения по постоянному току не будет содержать емкости, сопротивление канала следует брать для расчета $R_{i_}$.

Расчет элементов усилительного каскада:

$$R_{i_} = |U_{зи0}| / I_{c0} = 0,5 / 5 \text{mA} = 100 \text{ Ом};$$

$$R_c = (E_c - U_{си0}) / I_{c0} = (20 - 10) / 5 \text{mA} = 2 \text{кОм};$$

$$R_3 = 1 \text{ Мом}.$$

Теоретический коэффициент усиления по напряжению:

$$K_u = -S \cdot R_c = -4,06 \cdot 10^{-3} \cdot 2 \cdot 10^3 = -8,12.$$

11. Проводим моделирование усилительного каскада на полевом транзисторе по постоянному току. Для определения напряжения в узлах и тока цепи стока нужно использовать анализ типа Bias Point. На рис. 15 представлены профиль моделирования и результат с выводом постоянных токов и напряжений каскада.

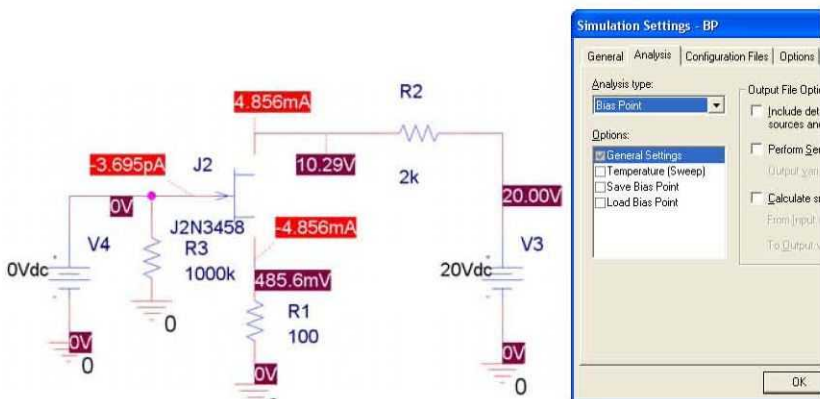


Рисунок 15 – Моделирование каскада по постоянному току

По результатам моделирования определяем $I_{c0} = 4,86 \text{mA}$, $U_{си0} = 10,29 \text{V}$, $U_{зи0} = 0,49 \text{V}$. Полученные при моделировании значения практически совпадают с выбранными для расчета по характеристикам полевого транзистора.

12. Схема для анализа рабочей точки с использованием модели и результат моделирования представлены на рис. 16. Отметим, что в модели транзистора использован источник тока, управляемый напряжением G_{lc} параметром управления GAIN, равным расчетному значению крутизны транзистора S , а сопротивление канала берем равным $R_{i_}$.

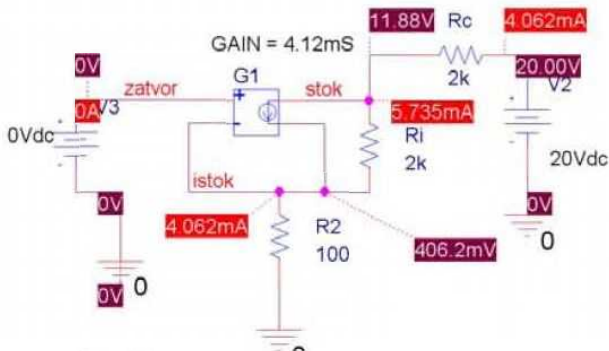


Рисунок 16 – Схема для анализа каскада на основе модели

Для проведения тестирования модели проводим анализ по постоянному току Bias Point с расчетом токов в ветвях и напряжений в узлах для сравнения с расчетом.

13. Можно видеть, что выбранные параметры рабочей точки также близки к результатам моделирования: $I_{c0}=4,06\text{mA}$, $U_{си0}=11,88\text{B}$, $U_{зи0}=0,41\text{B}$.

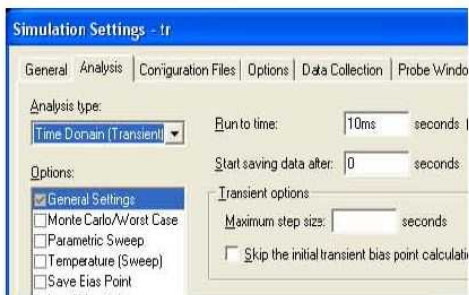
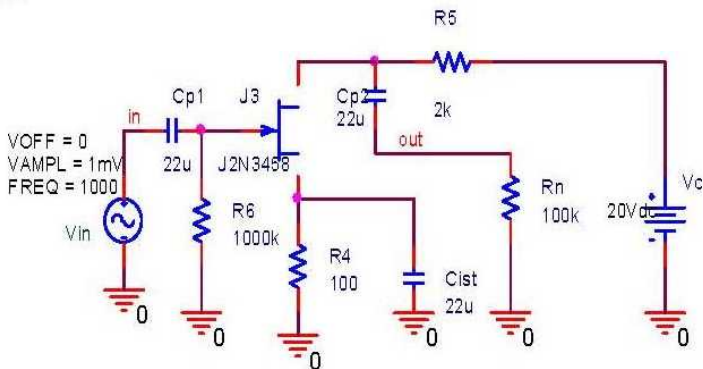


Рисунок 17 – Схема и профиль моделирования каскада на ПТ

14. Для моделирования усилительного каскада на ПТ во временной области используем анализ переходных процессов Time Domain (Transient

Analysis). Входной сигнал – синусоидальной формы амплитудой $U_{in}=1\text{mV}$ и частотой 1кГц. На рис. 17 показаны схема и профиль моделирования для анализа во временной области от 0 до 10мс.

Результат моделирования представлен на рис. 18, по которому определяем амплитуду выходного сигнала: $U_{out} = 6,9\text{mV}$.

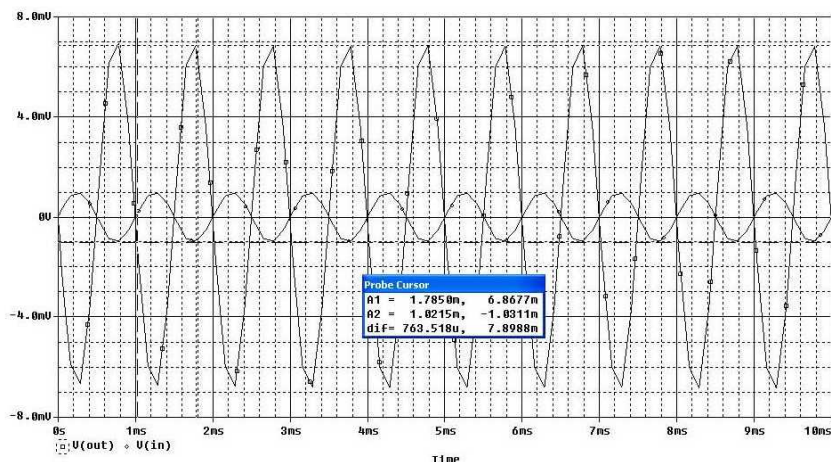


Рисунок 18 - Результат моделирования каскада на ПТ

Определяем коэффициент усиления каскада по результатам моделирования как отношение амплитуд выходного напряжения к входному:

$$K_u^* = V(out)/V(in) = 6,9/(-1) = -6,9.$$

Получилось значение близкое к теоретическому.

15. Проводим моделирование усилительного каскада со схемой замещения во временной области. Эквивалентная схема представлена на рис. 19. В ней учтены особенности моделирования для переменного сигнала, поэтому элементы, обеспечивающие режим по постоянному току, отсутствуют, а сопротивление канала транзистора равно по значению R_i .

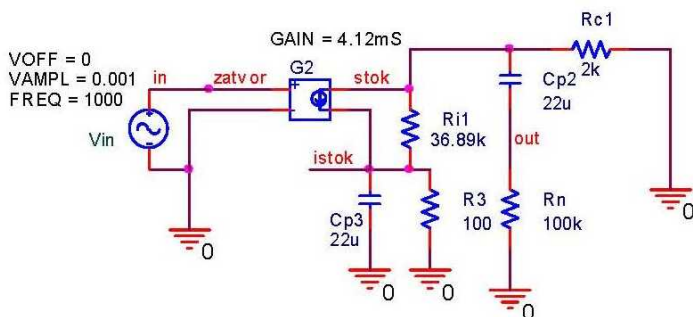


Рисунок 19 – Схема для анализа переходных процессов

Результат моделирования представлен на рис. 20, по которому определяем амплитуду выходного сигнала: $U_{out} = 3\text{ мВ}$.

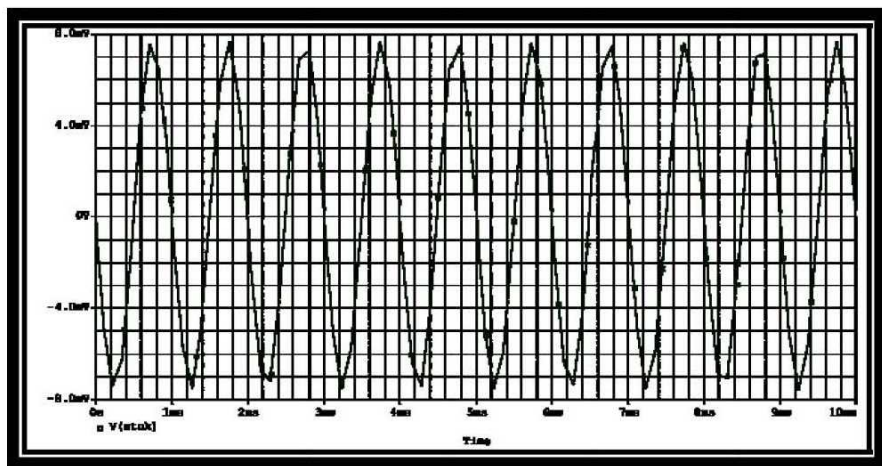


Рисунок 20 – График выходного сигнала

Коэффициент усиления по напряжению для схемы каскада на базе модели замещения составит:

$$K_u^* = U_{out} / U_{in} = -7,9/1 = -7,9.$$

Данный результат практически совпадает с теоретическим расчетом и результатом моделирования каскада на базе встроенной модели транзистора в пакете OrCAD-PSPICE. Таким образом, разработанную модель полевого транзистора можно считать верной.

Контрольные вопросы

1. Принцип работы полевого транзистора с р–n-переходом.
2. Какие параметры характеризуют передаточную характеристику полевого транзистора с р–n-переходом?
3. Какие параметры характеризуют выходные характеристики полевого транзистора с р–n-переходом?
4. Назначение элементов линейной схемы замещения полевого транзистора с р–n-переходом.
5. Как производится расчет параметров модели по характеристикам полевого транзистора с р–n-переходом?
6. Назначение элементов схемы усилительного каскада на полевом транзисторе с р–n-переходом.
7. Как провести тестирование модели полевого транзистора с р–n-переходом?

Библиографический список

1. Титце, У. Полупроводниковая схемотехника [Текст]. 12-е изд. Т. I / У. Титце, К. Шенк; пер. с нем. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 832с.
2. Наундорф, У. Аналоговая электроника. Основы, расчет, моделирование [Текст] / У. Наундорф. – М.: Техносфера, 2008. – 472 с.
3. Антипенский, Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств [Текст]: учеб. пособие / Р. Антипенский, А. Фадин. – М.: Техносфера, 2007. – 127 с.

Учебное издание

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ
ПОЛЕВОГО ТРАНЗИСТОРА В ПАКЕТЕ САПР**

Методические указания

Составитель *Муравьев Александр Николаевич*

Редакторская обработка Т.К. Кретинина
Доверстка Т.Е. Половнева

Подписано в печать 21.04.2014. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 1,25.
Тираж 50 экз. Заказ . Арт. 52/2014.

Самарский государственный аэрокосмический
университет имени академика С.П. Королева.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.

Изд-во Самарского государственного
аэрокосмического университета.
443086 Самара, Московское шоссе, 34.