

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИТМО  
Факультет систем управления и робототехники

## Электроника и схемотехника

### Лабораторная работа №3

Исследование характеристик полевого транзистора

Вариант 2

Выполнили студенты:  
Кирбаба Д.Д. R3338  
Курчавый В.В. R3338

Преподаватель:  
Николаев Н.А.

г. Санкт-Петербург  
2023

## Цель работы

- Получение передаточной характеристики, зависимости сопротивления канала полевого транзистора от напряжения затвор-исток и семейства выходных характеристик полевого транзистора;
- Расчёт схемы автоматического смещения полевого транзистора.

## Ход работы

Вариант 2.

Технические характеристики транзистора АО6608\_N:

- МОП полевой транзистор с индуцированным N-каналом;
- $I_{D_{max}} = 3.4 \text{ A}$ ;
- $V_{SD_{max}} = 30 \text{ V}$ ;
- $V_{GS_{th}} = 0.5 \dots 1.5 \text{ V}$ ;
- $P_D = 1.25 \text{ W}$ .

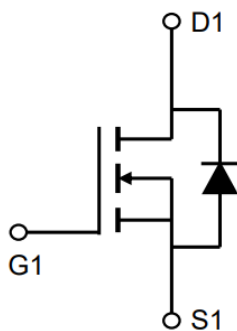


Рис. 1: Обозначение транзистора АО6608\_N.

Получение передаточной характеристики полевого транзистора в схеме с общим истоком

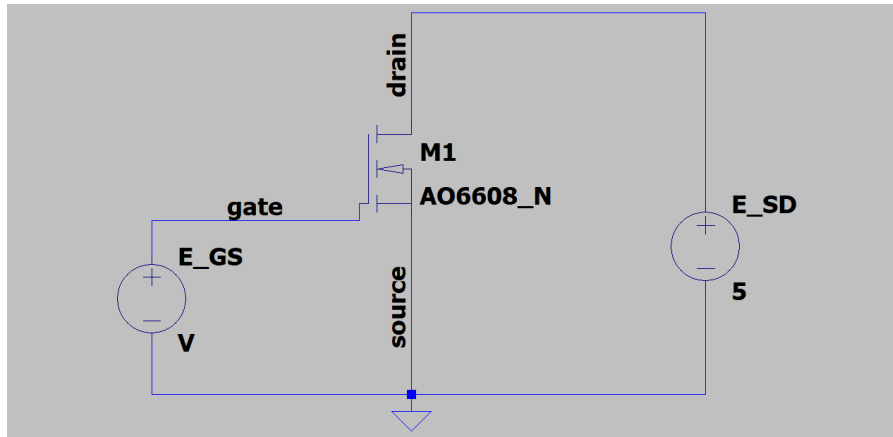


Рис. 2: Схема моделирования работы полевого транзистора.

Приведем график входной характеристики транзистора при  $V_{SD} = 5\text{ V}$  и  $V_{GS} \in [0, 1.5]\text{ V}$ .

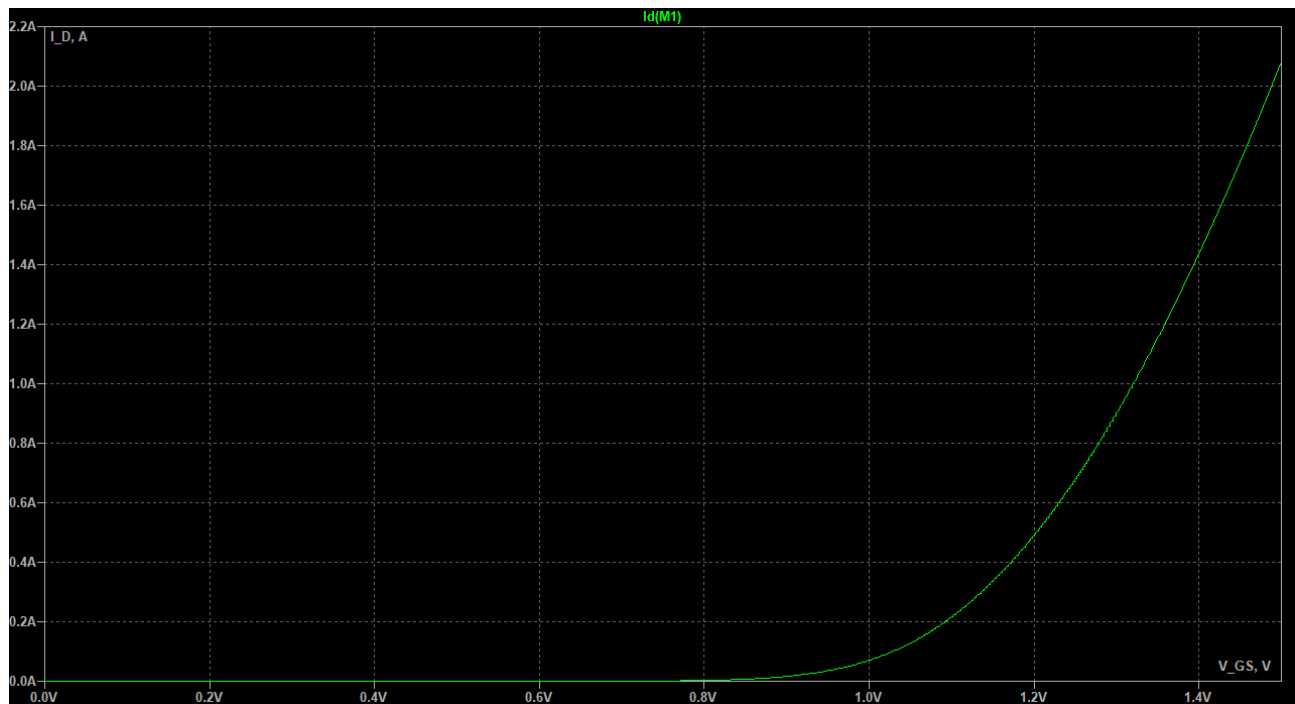


Рис. 3: Входная характеристика.

Пороговое значение  $V_{th} = 0.8\text{ V}$ .

Выберем две точки на данной характеристике:

$$V_{GS_1} = 1.2225\text{ V}, I_{D_1} = 0.5697\text{ A}, V_{GS_2} = 1.4818\text{ V}, I_{D_2} = 1.9528\text{ A}.$$

Вычислим крутизну передаточной характеристики полевого транзистора:

$$S = \frac{I_{D_2} - I_{D_1}}{V_{GS_2} - V_{GS_1}} = \frac{1.3831}{0.2593} = 5.334$$

Определим значение удельной кривизны при  $V_{GS_{mean}} = \frac{V_{GS_2} + V_{GS_1}}{2} = 1.35215 \text{ V}$ :

$$b = \frac{S}{V_{GS_{mean}} - V_{th}} = \frac{5.334}{1.35215 - 0.8} = 9.66$$

**Получение семейства выходных характеристик полевого транзистора в схеме с общим истоком**

$V_{SD} \in [0, 30] \text{ V}$ ,  $V_{GS} \in \{0.8, 0.975, 1.15, 1.325, 1.5\} \text{ V}$ .

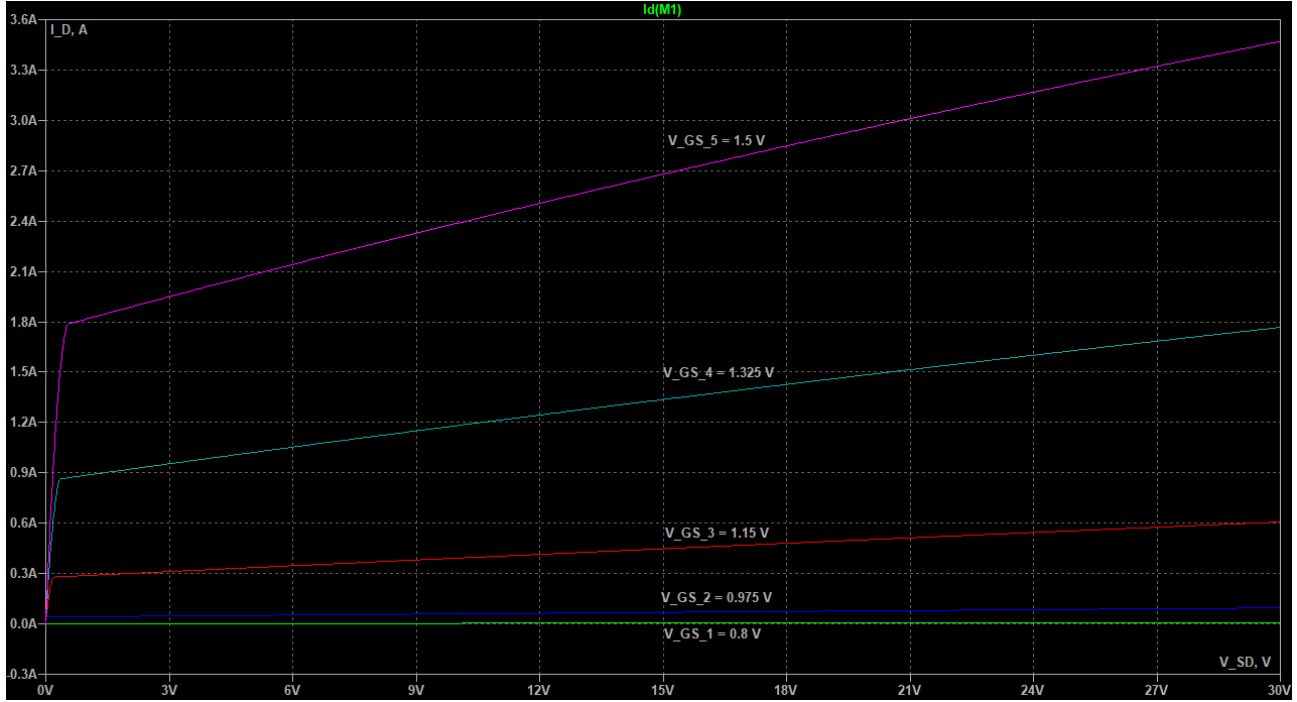


Рис. 4: Семейство выходных характеристик полевого транзистора.

Для каждой полученной выходной характеристики получим значение тока стока, соответствующее  $V_{SD} = 5 \text{ V}$ :

$$I_{D_1} = 0.002919 \text{ A}, I_{D_2} = 0.05050 \text{ A}, I_{D_3} = 0.3352 \text{ A}, I_{D_4} = 1.02041 \text{ A}, I_{D_5} = 2.07794 \text{ A}.$$

Вычислим соответствующие им значения крутизны  $S = \sqrt{2bI_D}$ :

$$S_1 = 0.2375, S_2 = 0.9878, S_3 = 2.5448, S_4 = 4.44, S_5 = 6.336.$$

Для ПТИЗ с индуцированным каналом верно, что при напряжении на затворе меньше порогового значения  $V_{th} = 0.8 \text{ V}$  ток стока транзистора равен нулю, а его появление происходит только при большем напряжении на затворе, и в дальнейшем, при увеличении напряжения на затворе происходит увеличение тока стока.

Так как мы получили выходные характеристики при различных значениях напряжения на затворе и зафиксировали напряжение на истоке-стоке, то величина крутизны будет различно и характеризовать усилительные свойства.

Значение крутизны, вычисленное ранее  $S = 5.334$ .

Это значение является средним усилением транзистора между выбранными точками  $V_{GS_1}$  и  $V_{GS_2}$ .

Логично, что крутизна будет нарастать с увеличением протекающего через канал тока.

### Расчет усилительного каскада на полевом транзисторе

Исходные данные:  $R_{load} = 200 \text{ Ohm}$ ,  $V_{load_{max}} = 5V$ .

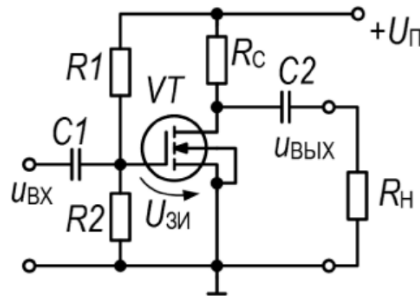


Рис. 5: Схема усилительного каскада на полевом транзисторе с изолированным затвором.

Отобразим линию максимальной мощности на семействе ВАХ:



Рис. 6: Семейство выходных характеристик полевого транзистора с нагрузочной линией.

Изменим токи на истоке-затворе и масштаб:

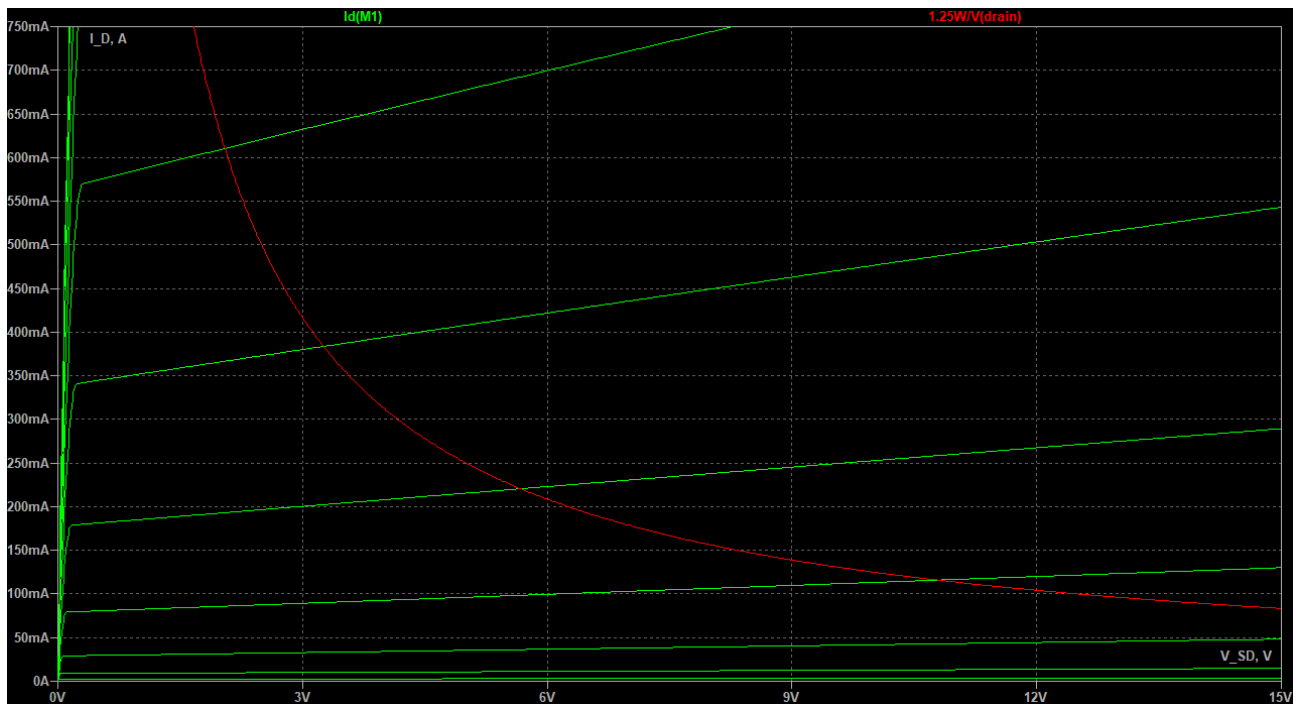


Рис. 7: Семейство выходных характеристик полевого транзистора с нагрузочной линией.

Для нормальной работы усилительного каскада необходимо установить определенные токи и напряжения во входной и выходной цепях транзистора при отсутствии входного сигнала. Такой режим работы называют *режимом покоя*.

Точка, координаты которой на ВАХ транзистора определяют напряжения и токи в его электродах, называется *рабочей*. При отсутствии входного сигнала эта точка называется *исходной рабочей точкой* (И.Р.Т.). Исходная рабочая точка определяет режим работы транзистора по постоянному току.

Выберем рабочую точку транзистора и нанесем нагрузочную линию:

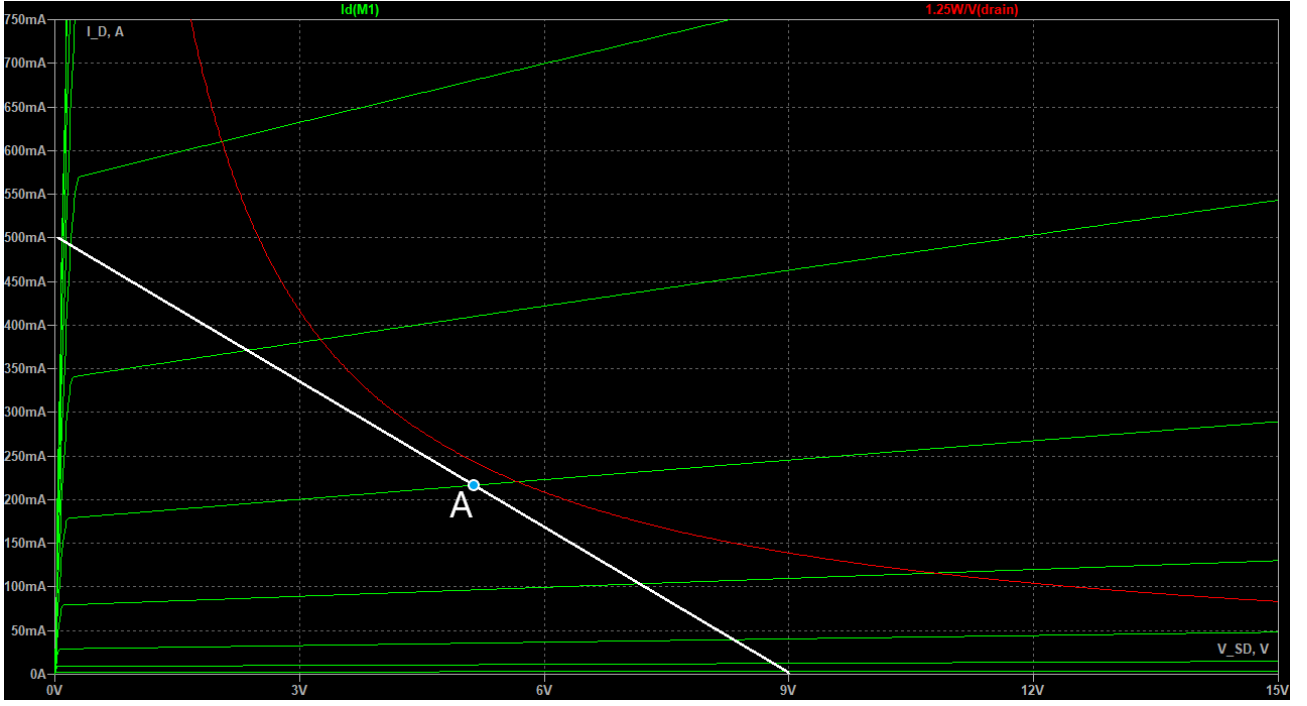


Рис. 8: Рабочая точка и нагрузочная линия.

Характеристики рабочей точки:

$$V_{GS_0} = 1.1 \text{ V}, \quad V_{SD_0} = 5.07825 \text{ V}, \quad I_{D_0} = 0.21606225 \text{ A}.$$

$$V_{supp} = 9 \text{ V}, \quad I_{D_{max}} = 0.5 \text{ A}.$$

Рассчитаем выходную мощность и максимальный ток в нагрузке:

$$P_{out} = \frac{V_{load_{max}}^2}{2R_{load}} = 0.0625 \text{ W}, \quad I_{load_{max}} = \frac{V_{load_{max}}}{R_{load}} = 0.025 \text{ A}.$$

В каскаде, изображенном на рисунке 5, транзистор  $VT$  совместно с резистором  $R_C$  образуют управляемый делитель напряжения. С помощью остальных резисторов реализуют цепи, обеспечивающие начальный режим работы транзистора. Разделительные конденсаторы  $C_1$  и  $C_2$  служат соответственно для предотвращения проникновения постоянной составляющей сигнала на затвор транзистора и на выход усилительного каскада. Их значения выберем равными  $1 \text{ mF}$ .

Сопротивление  $R_C = \frac{V_{supp}}{I_{D_{max}}} = 18 \text{ Ohm}$ .

Проверим выполнение условий:

$$V_{SD_{max}} = 30 \text{ V} > V_{supp} = 9 \text{ V};$$

$$I_{D_{max}} = 3.4 \text{ A} > I_{D_{max}} = 0.5 \text{ A};$$

$$P_{D_{max}} = 1.25 \text{ W} > V_{SD_0} I_{D_0} = 1.097 \text{ W}.$$

Задаваясь значением  $R_1 || R_2 = 4.95 \text{ MOhm}$  находим:

$$R_1 = \frac{V_{supp}}{V_{GS_0}} 4.95 = 40.5 \text{ MOhm};$$

$$R_2 = \frac{V_{GS_0}}{V_{supp} - V_{GS_0}} R_1 = 5.639 \text{ MOhm}.$$

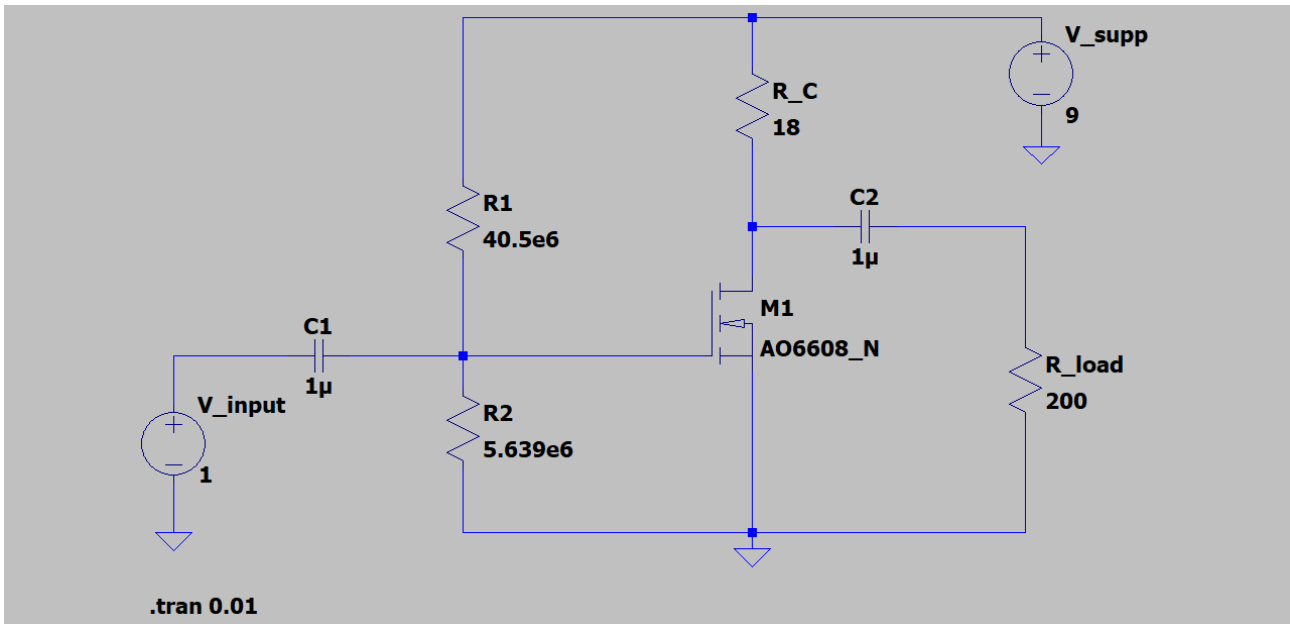


Рис. 9: Схема моделирования усилительного каскада.

Произведем моделирование работы схемы при постоянном входном сигнале  $U_{input} = 1 \text{ V}$ :

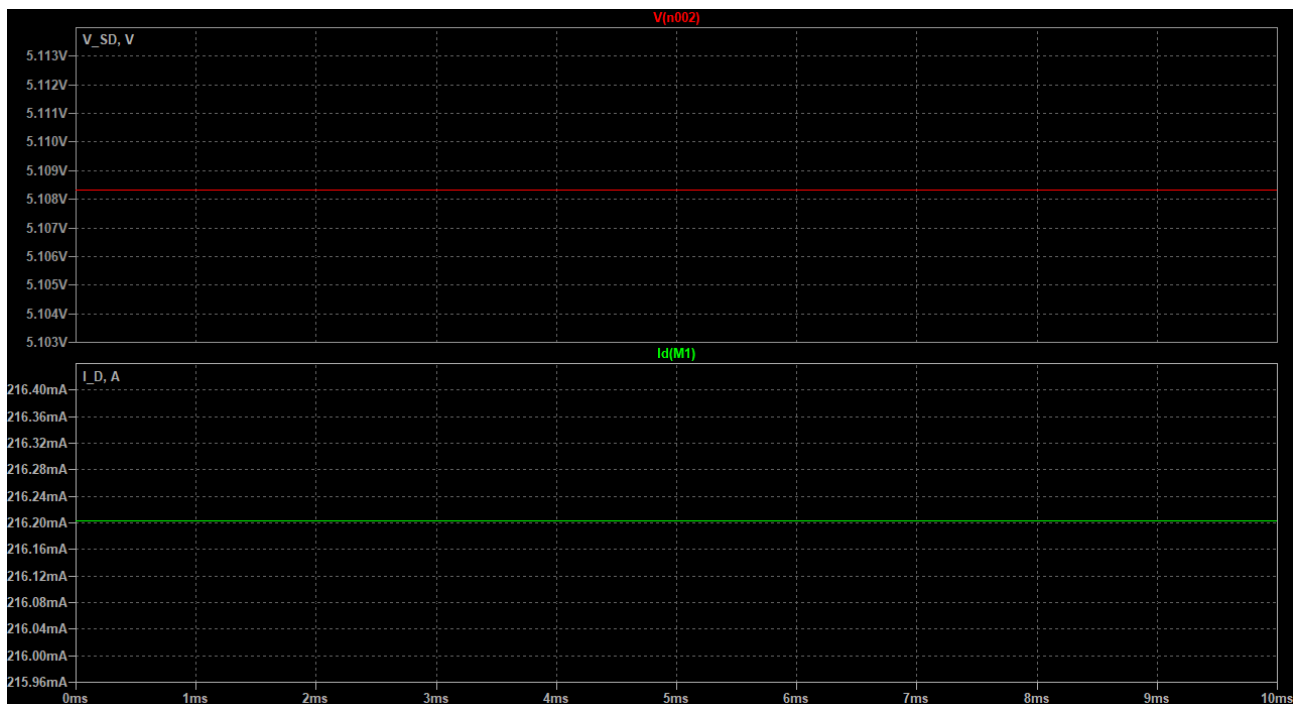


Рис. 10: Осциллограммы выходных тока и напряжения при постоянном сигнале.

Выходные значения тока и напряжения близки к значениям заданной рабочей точки, значит расчет элементов усилительного каскада был проведен верно.



Произведем моделирование работы схемы при гармоническом входном сигнале  $U_{input} = 0.1 \sin 1000t$ :

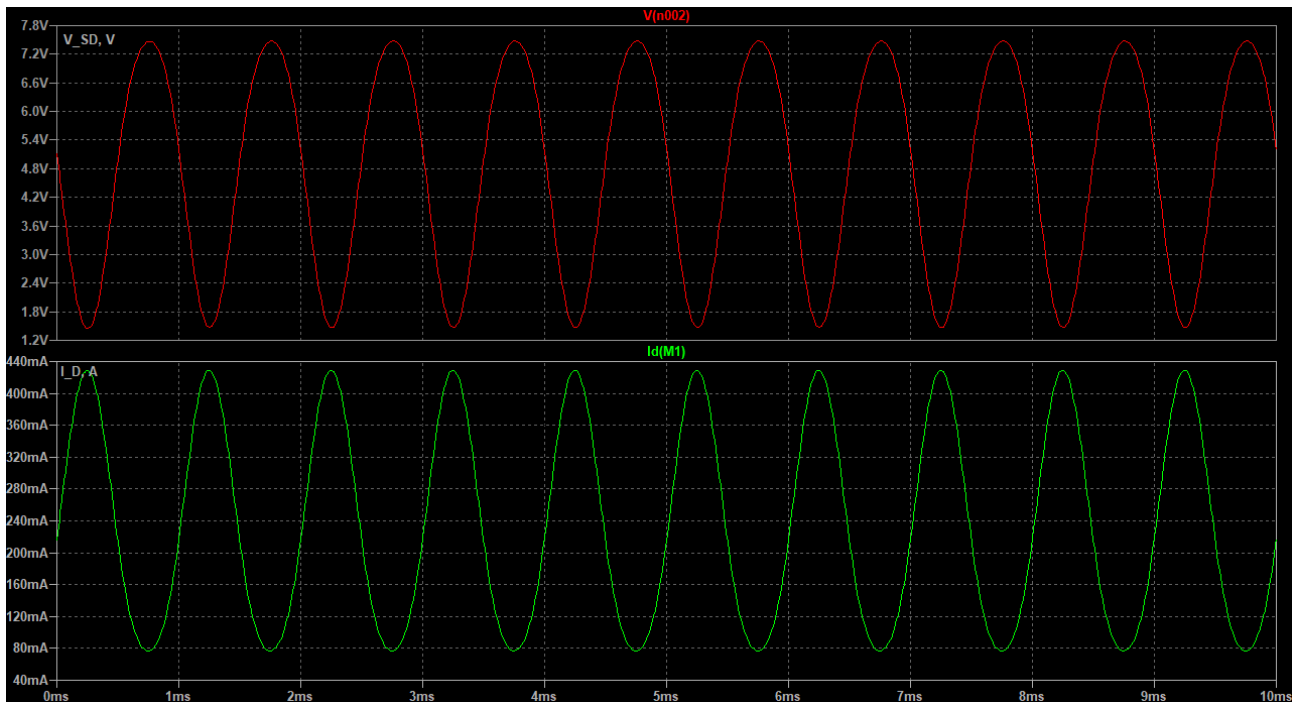


Рис. 11: Осциллограммы выходных тока и напряжения при синусоидальном сигнале.

Данный усилительный каскад работает в режиме калсса  $A$ , так как мы выбрали рабочую точку, находящуюся на линейном участке входной характеристики и амплитуда входного сигнала такова, что транзистор входит в насыщения.

Теперь рассчитаем коэффициент усиления по напряжению как отношение амплитуды выходного напряжения к входному:

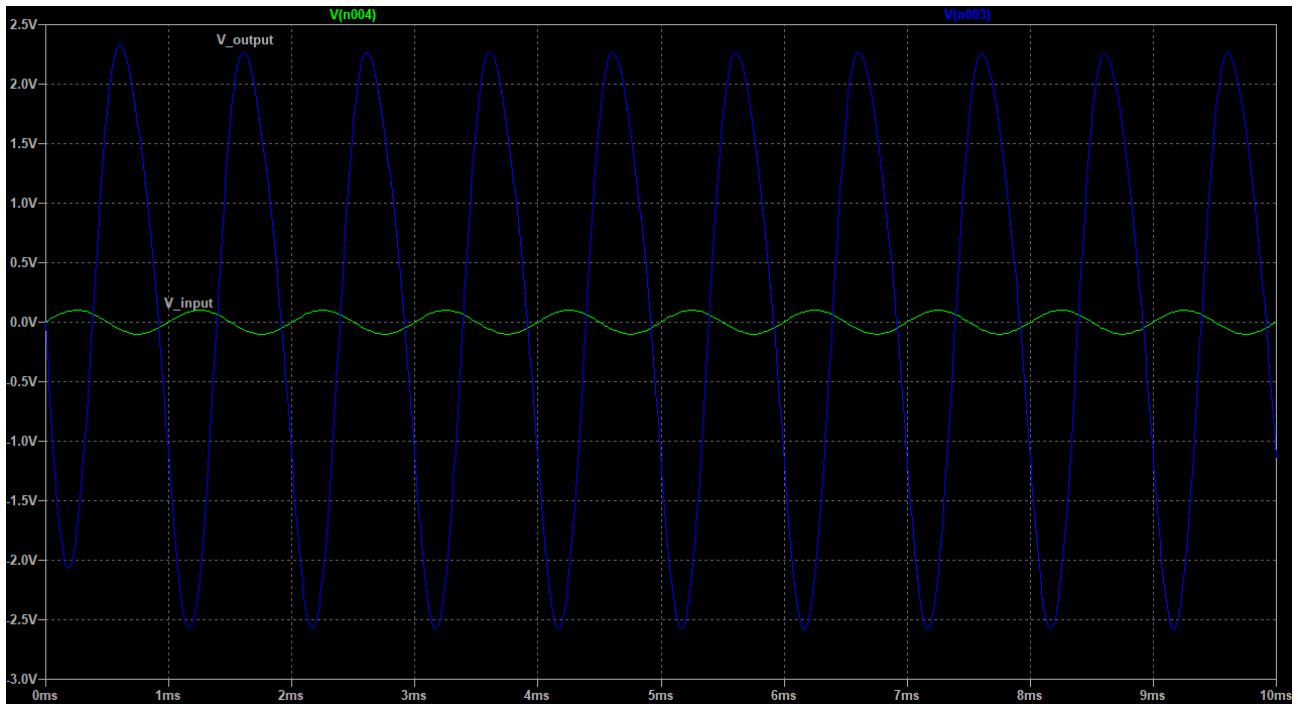


Рис. 12: Осциллограммы входного и выходного напряжения при синусоидальном сигнале.

$$k_V = \frac{V_{out_{amp}}}{V_{in_{amp}}} = \frac{2.26543}{0.1} = 22.6543$$

## Выводы

В данной лабораторной работе было проведено исследование свойств полевого транзистора с индуцированным n-каналом. МОП транзистор обогащенного типа в нормальном состоянии закрыт и проводит ток только тогда, когда приложено напряжение  $V_{GS}$  выше порогового  $V_{th} = 0.8 \text{ V}$ . Это было подтверждено моделированием и построением входной характеристики.

Во второй части работы была построена стоковая (выходная) характеристика транзистора. В целом, её вид аналогичен с выходной характеристикой из прошлой лабораторной работы, за исключением того, что при  $V_{GS} < V_{th}$  характеристика будет сливаться с осью абсцисс. На данном семействе выходных характеристик выделяют 4 области: отсечки, насыщения, пробоя, омическая. Также в конце была вычислена крутизна транзистора - скорость изменения тока стока в зависимости от изменения напряжения затвор-исток при фиксированном значении напряжения сток-исток.

В заключительной части был проведен расчет усилительного каскада на полевом транзисторе. Была выбрана рабочая точка и она стабилизировалась с помощью схемы автоматического смещения с делителем напряжения. Из-за того, что рабочая точка была выбрана на линейном участке входной характеристики и амплитуда входного сигнала подобрана так, что транзистор входит в насыщения, то усилительный каскад работал в классе А.