

МГТУ им. Н.Э. Баумана

**Дисциплина электроника
Лабораторный практикум №7
по теме: «Полевые транзисторы»**

Работу выполнил:

студент группы ИУ7-31Б

Палладий Евгений Игоревич

Работу проверил:

Оглоблин Дмитрий Игоревич

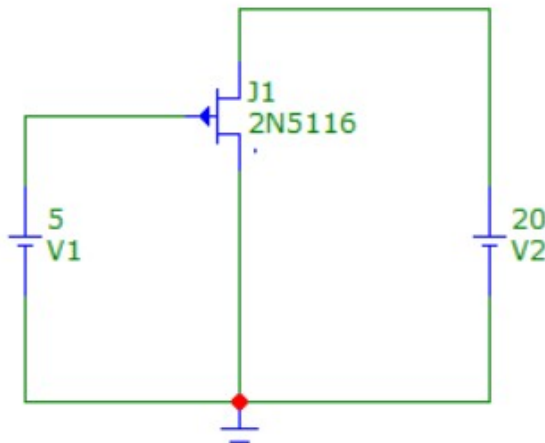
Москва, 2024 г.

Цель работы:

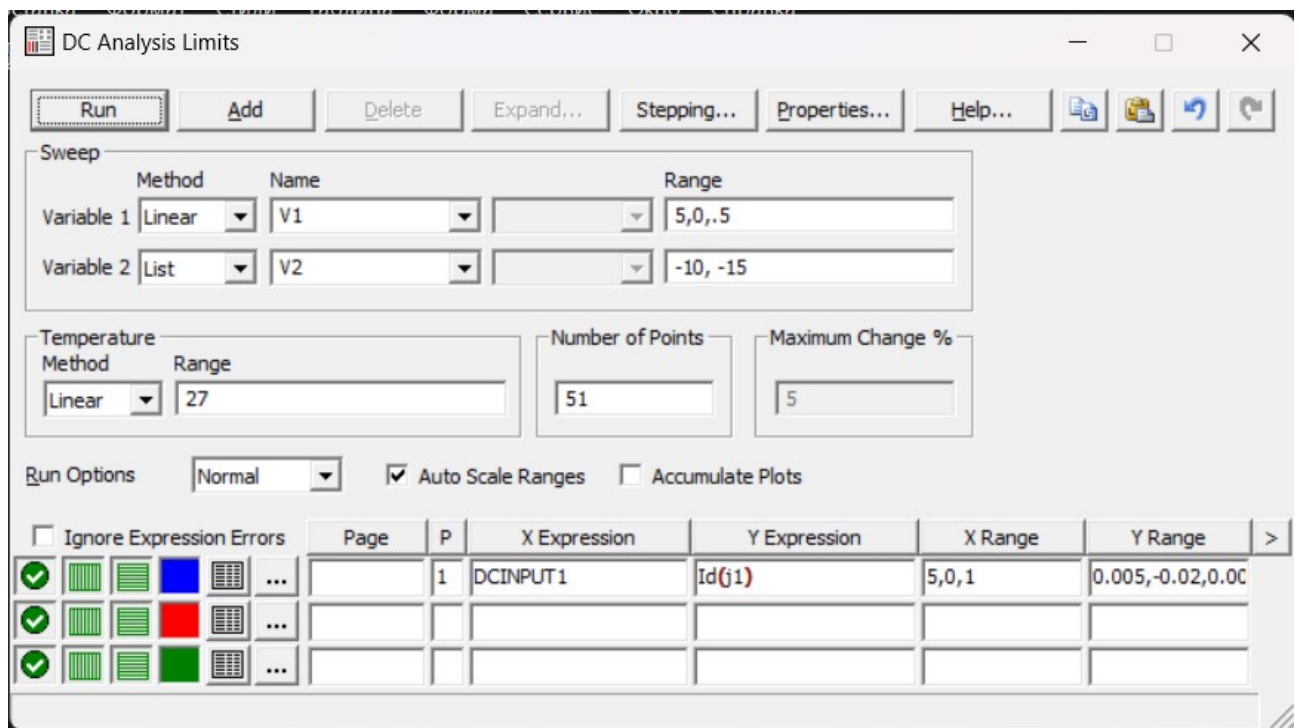
Получить навыки в использовании базовых возможностей программы Microcap и знания при исследовании и настройке усилительных, ключевых и логических устройств на биполярных и полевых транзисторах.

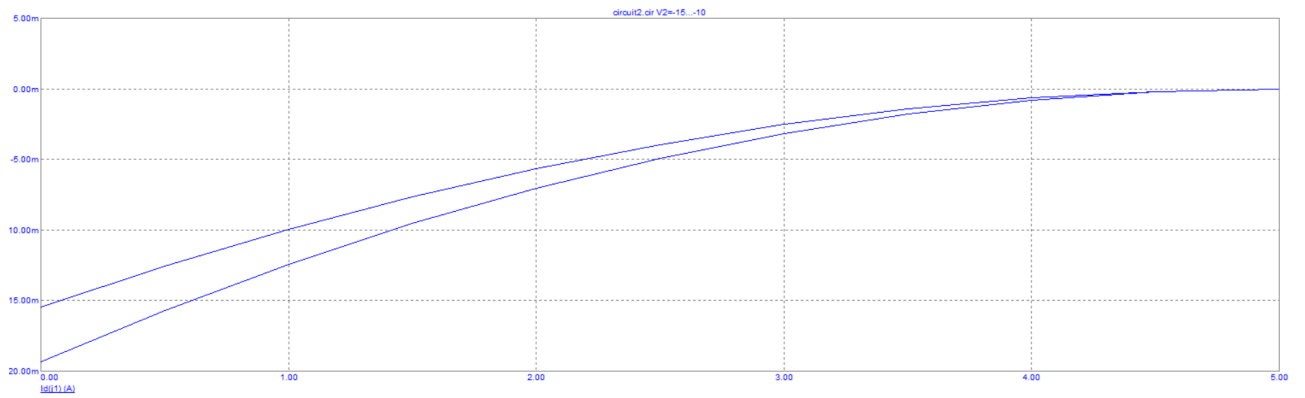
Эксперимент 7

1) Построю схему для получения переходных характеристик pJFET транзистора по варианту (2N5116)

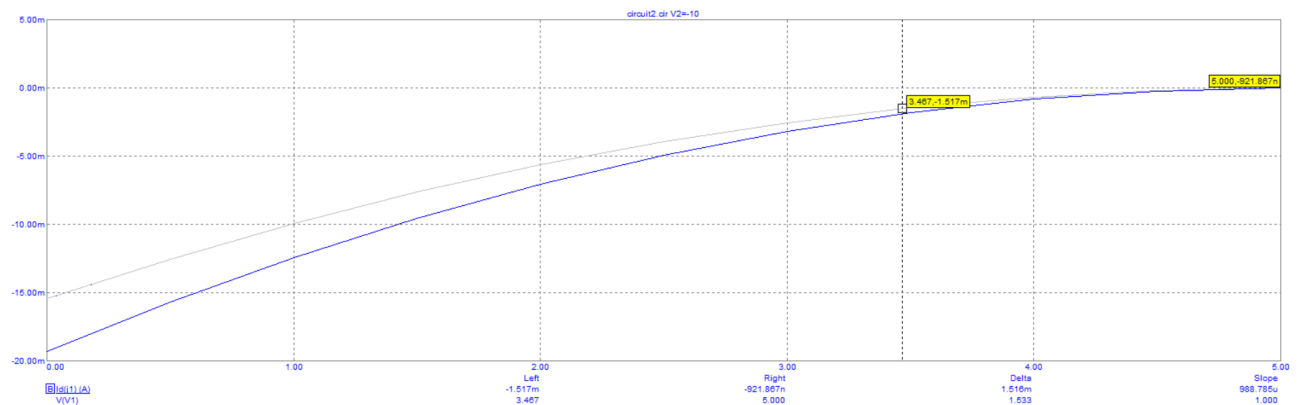


2) В режиме DC определяю переходные характеристики транзистора

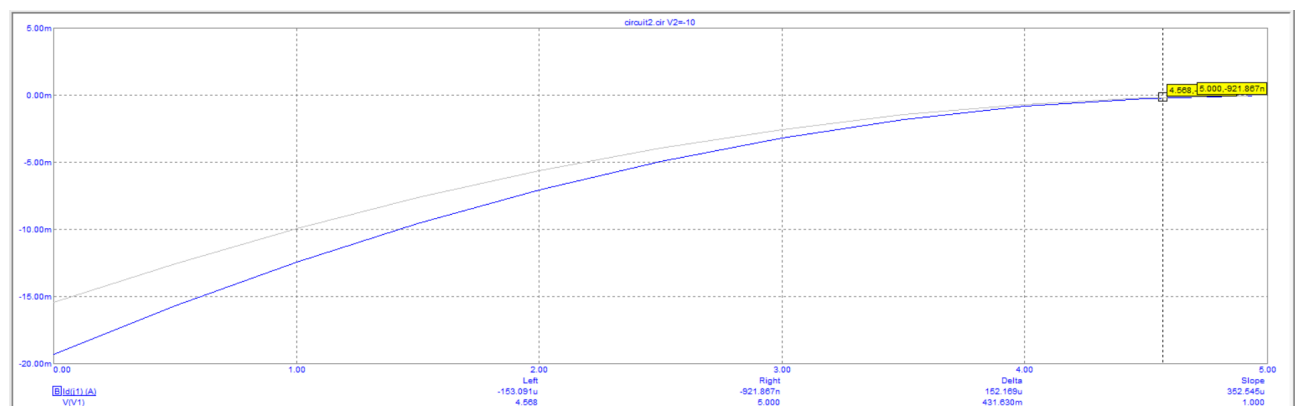




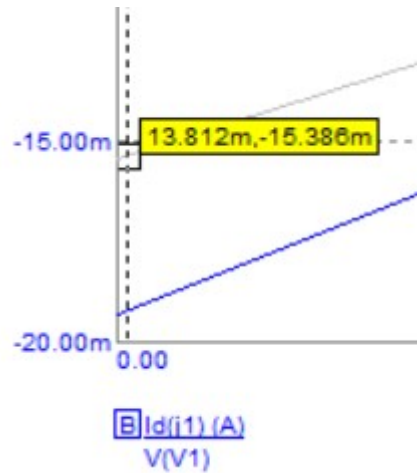
3) pJFET запирается при напряжении, при котором значение тока составляет примерно 0.1 от максимального значения тока. Для напряжения -10 В это значение составляет 3.467 В.



4) Начальный ток стока составляет -15.467 мА для напряжения 10 В. Напряжение отсечки возьмем в точке, где значение тока стало примерно в 100 раз меньше изначального. Получим напряжение 4.568 В.

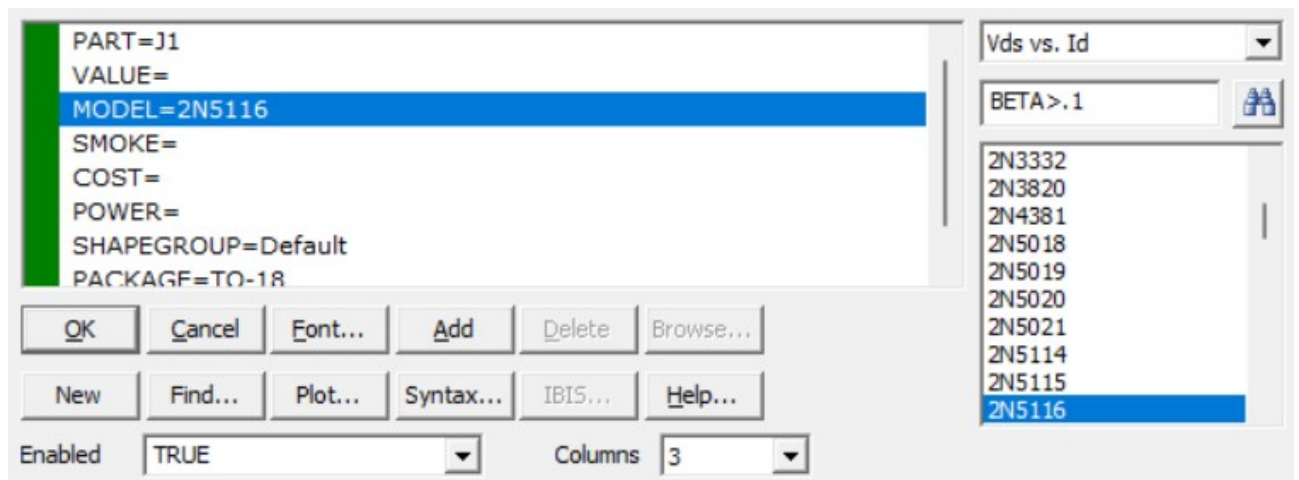


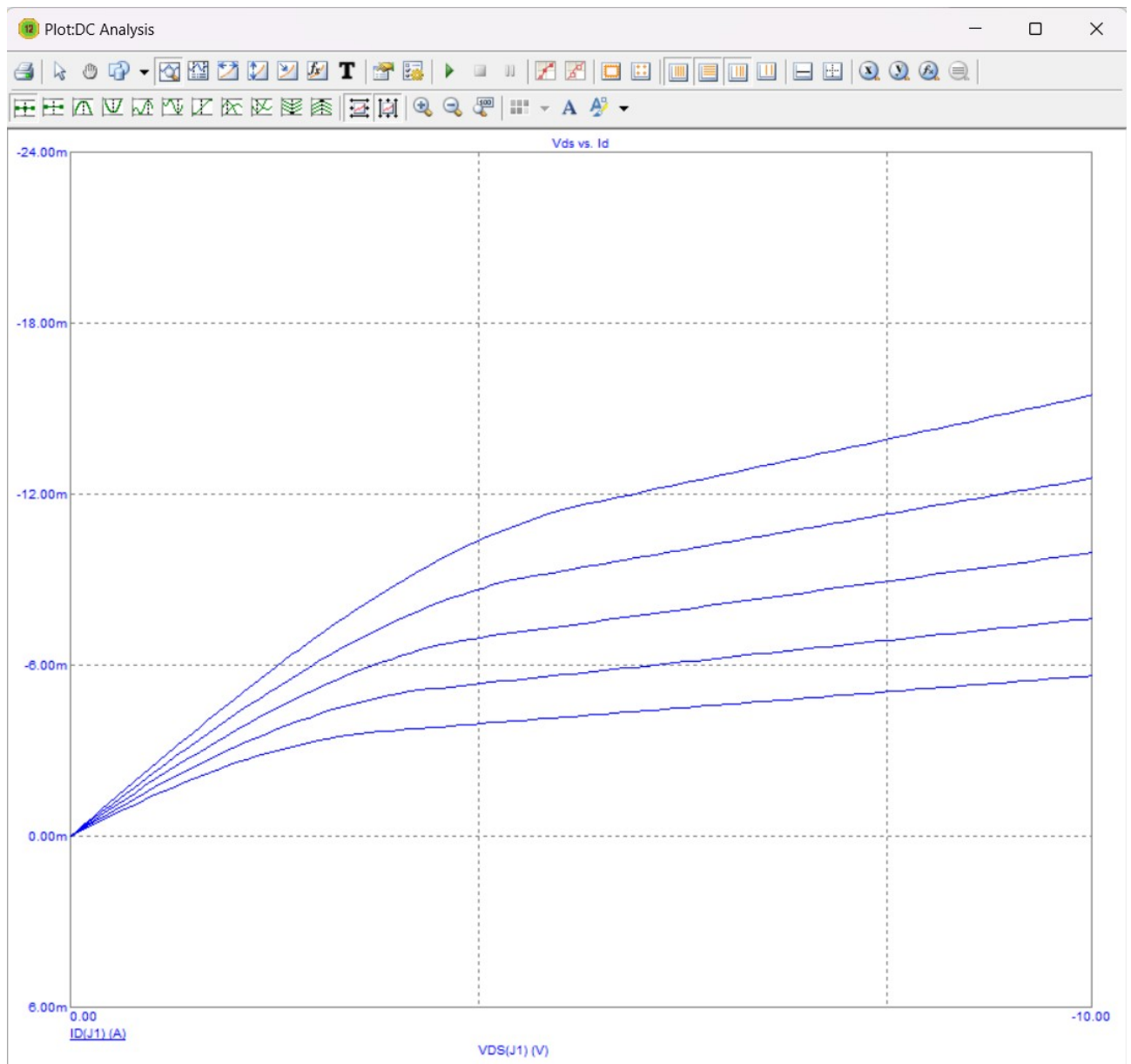
5) Вычислю максимальное значение крутизны характеристики, выберу две точки близко к нулевому напряжению и найду отношение тока к напряжению, учитывая, что в нуле сила тока составляет -15.467 мА: $S_{max} = dI_c/dU_{зи} = (15.467 - 15.386) \text{ мА} / (13.812) \text{ мВ} = 5.86 \text{ мА/В}$



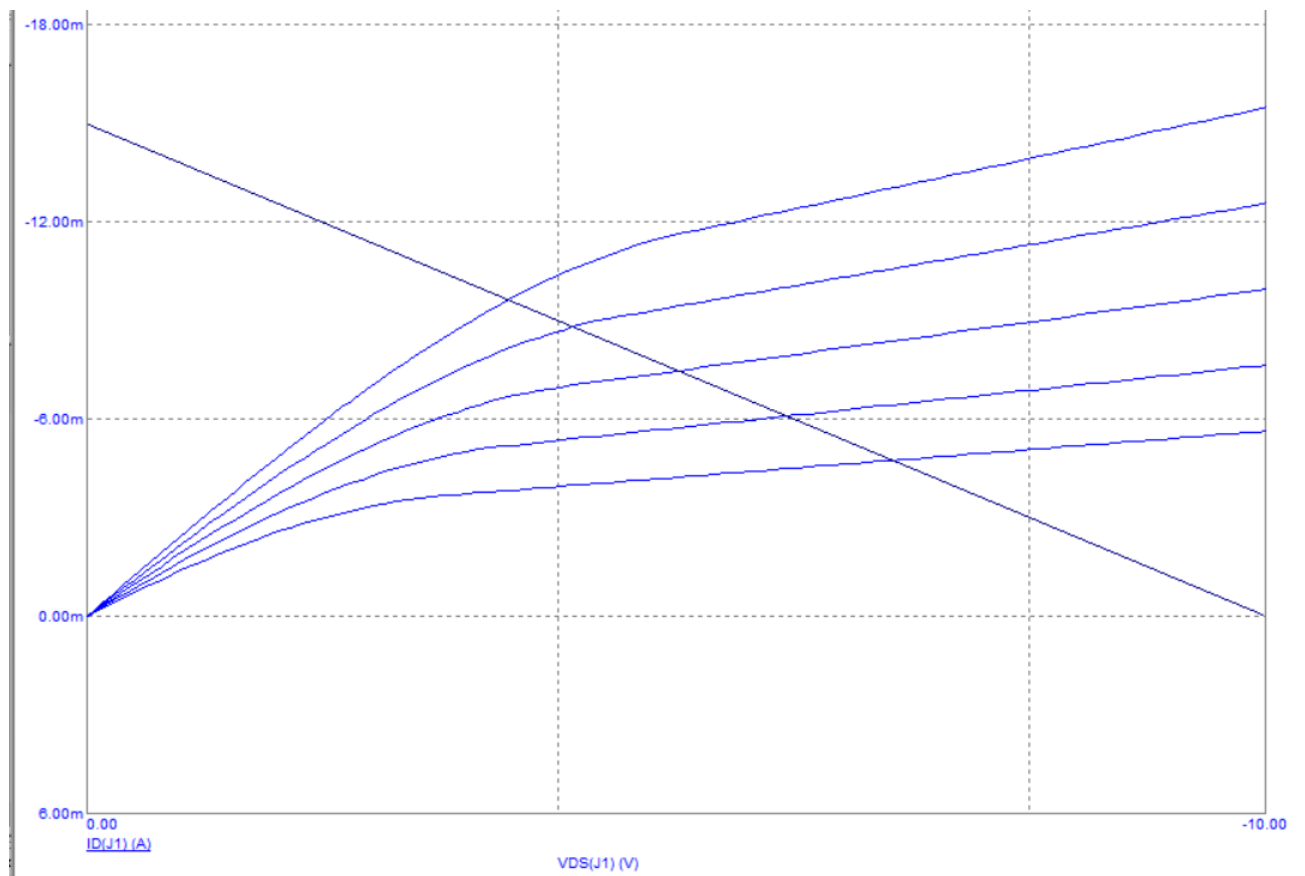
6) Рассчитаю теоретически максимальное значение крутизны характеристики $S_{max} = 2 * I_{нач} / U_{отс} = 2 * 15.467 \text{ мА} / 4.568 \text{ В} = 6.772 \text{ мА/В}$. Данное значение отличается от вычисленного по схеме на 16 процентов.

7) Выведу выходные характеристики pJFET

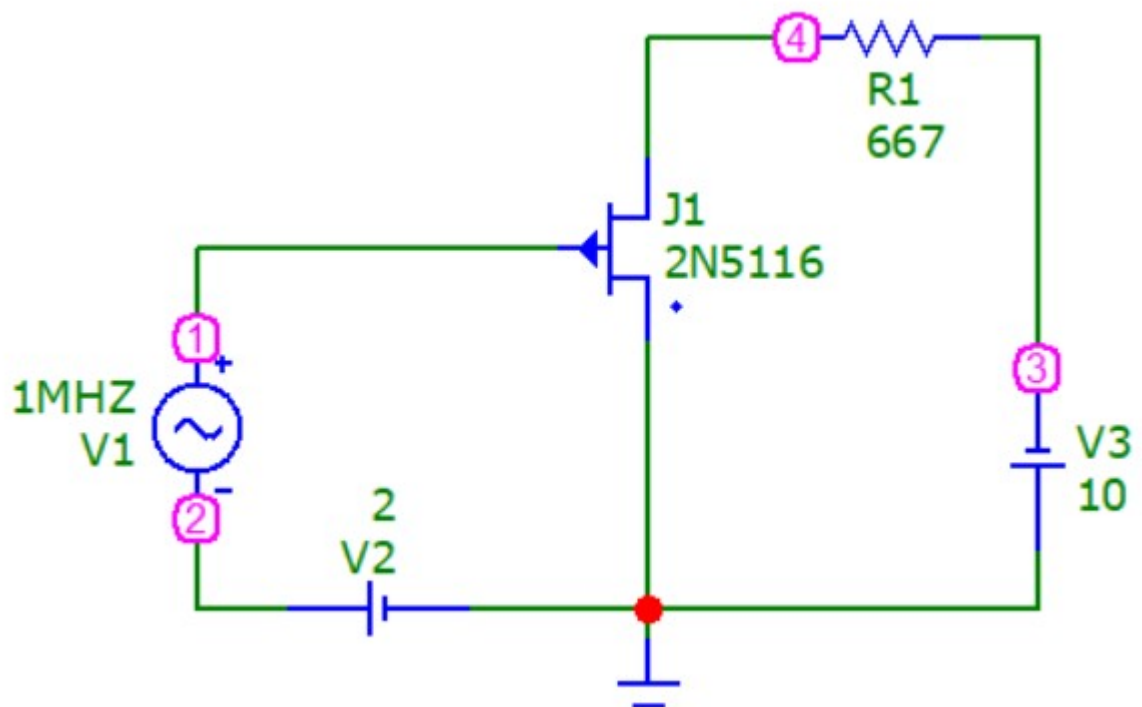




8) Проведу нагрузочную прямую и выберу рабочую точку посередине: $U_{рт} = 5$ В, $I_{рт} = 7.5$ мА. Определию сопротивление стока в рабочей точке: $R_d = (E_{пит} - U_{рт}) / I_{рт} = (10 - 5) / 0.0075 = \sim 667$ Ом.



9) Соберу схему усилителя на транзисторе pJFET



10) Настрою генератор по варианту

☒ Help Bar [File Link](#)

☐ Show Data on Exit

Source: Local page 'Models'

A DC F

PH RP RS

TAU

11) Запущу Transient Analysis и получу следующие графики (время 1 мс было выбрано как 3 / 3000 (количество импульсов на частоту генератора))

Transient Analysis Limits

Run Add Delete Expand... Stepping... PSS... Properties... Help...

Maximum Run Time Run Options

Output Start Time (tstart) State Variables

Maximum Time Step ☒ Operating Point ☐ Accumulate Plots

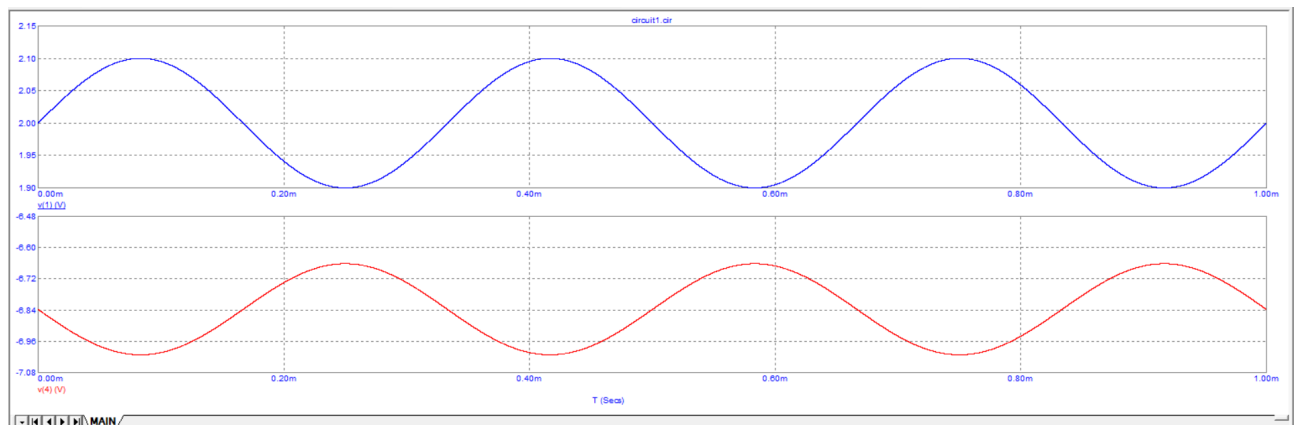
Number of Points ☐ Operating Point Only ☐ Fixed Time Step

Temperature ☒ Auto Scale Ranges ☐ Periodic Steady State

Retrace Runs

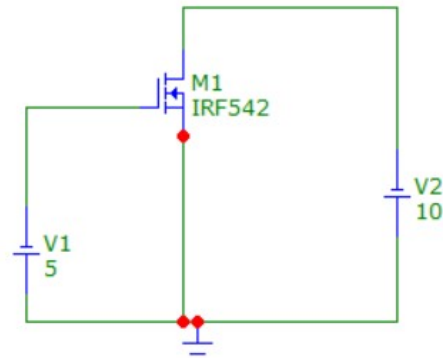
☐ Ignore Expression Errors

	Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
<input checked="" type="checkbox"/>		1	T	v(1)	0.001,0,0.0002	-1.8,-2.1,0.06
<input checked="" type="checkbox"/>		2	T	v(4)	0.001,0,0.0002	-1.08,-1.38,0.06
<input checked="" type="checkbox"/>						



12) В данном случае каскад усиления pJFET будет равен $0.340 / 0.02 = 17$ (считаем высоту нижней синусоиды и делим на высоту верхней)

13) Построю схему для получения переходных характеристик nMOS



14) В режиме DC определю переходные характеристики транзистора

DC Analysis Limits

Run Add Delete Expand... Stepping... Properties... Help...

Sweep

Variable	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	V1	5,0,.5
Variable 2	List	V2	10, 15

Temperature

Method	Range
Linear	27

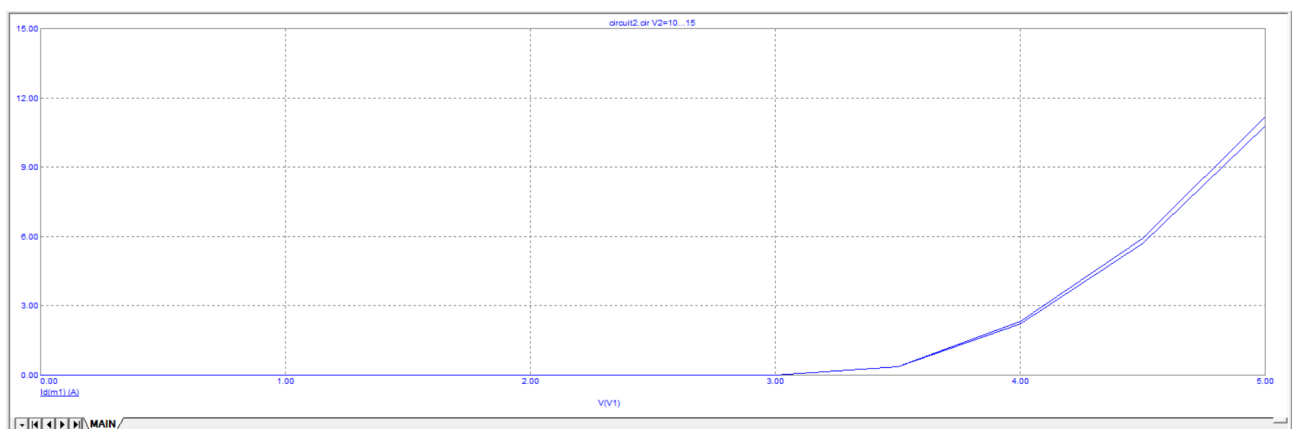
Number of Points: 51

Maximum Change %: 5

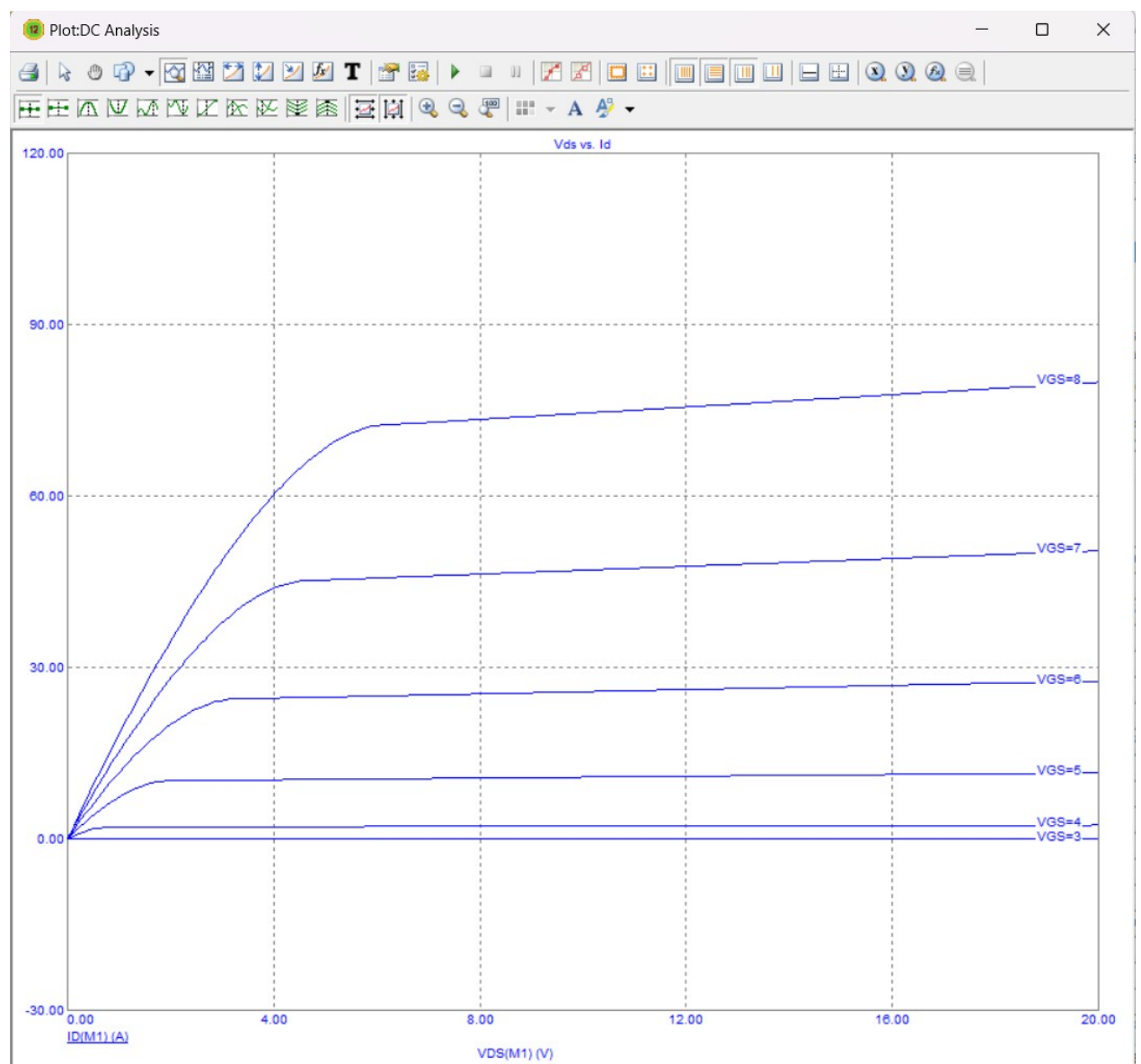
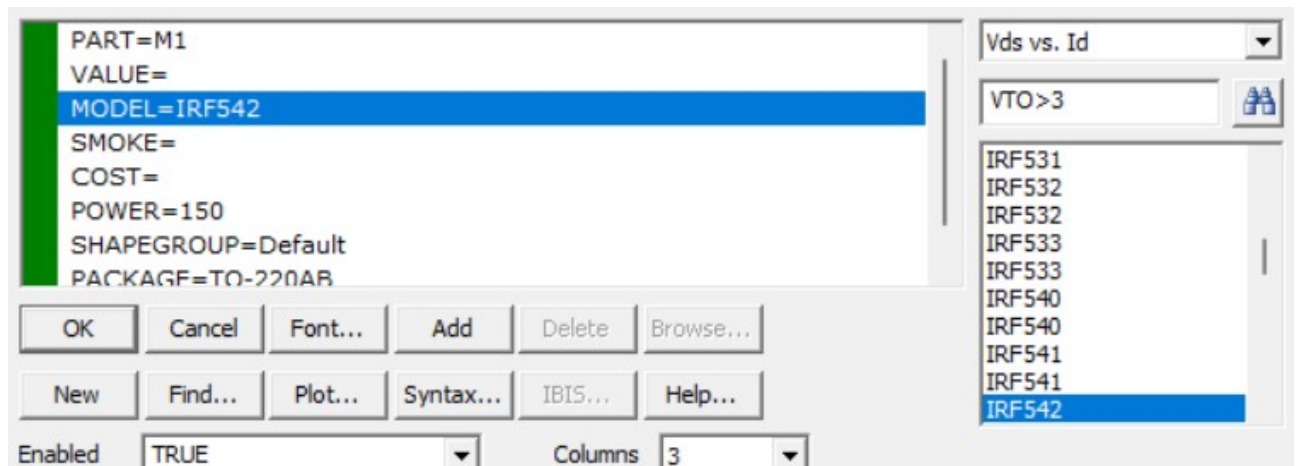
Run Options: Normal ☒ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

☐ Ignore Expression Errors

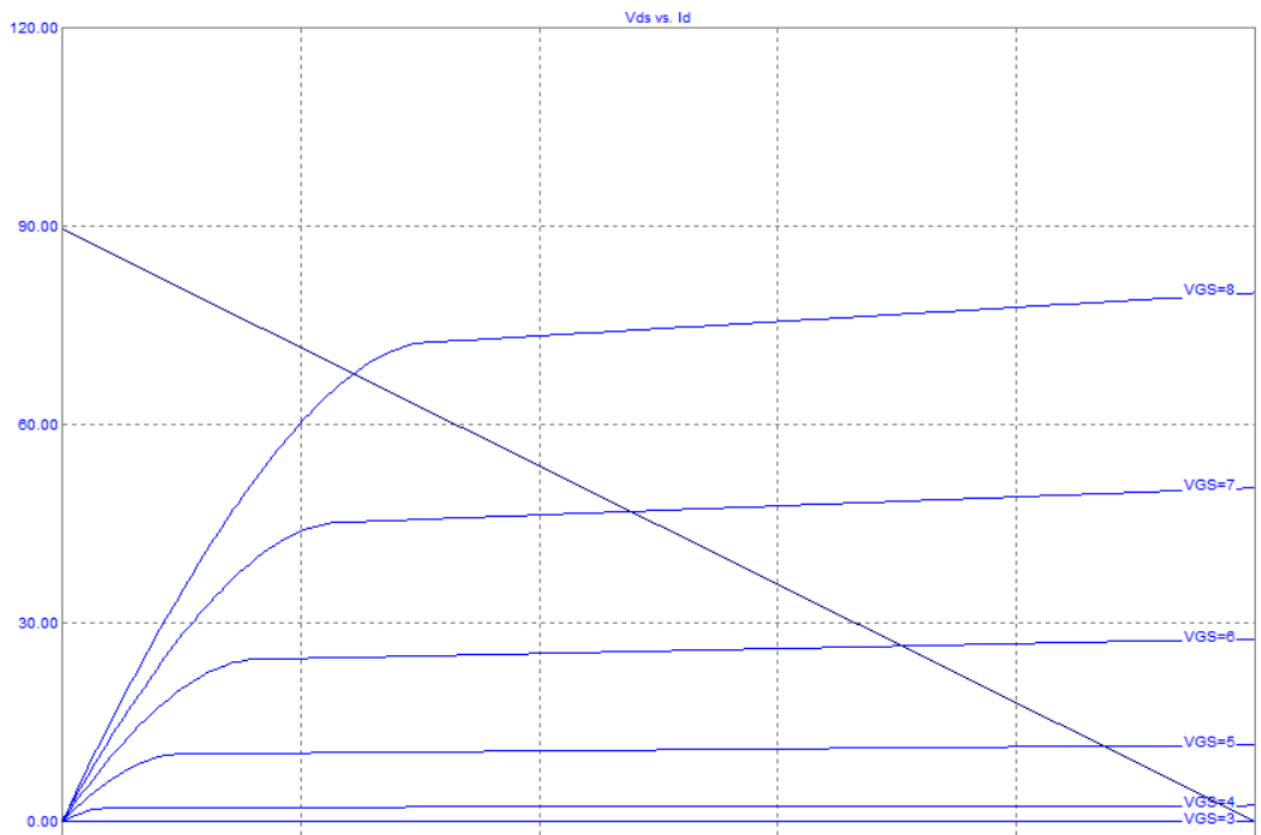
	Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
<input checked="" type="checkbox"/>		1	DCINPUT1	Id(m1)	5,0,1	15,0,3
<input checked="" type="checkbox"/>						
<input checked="" type="checkbox"/>						



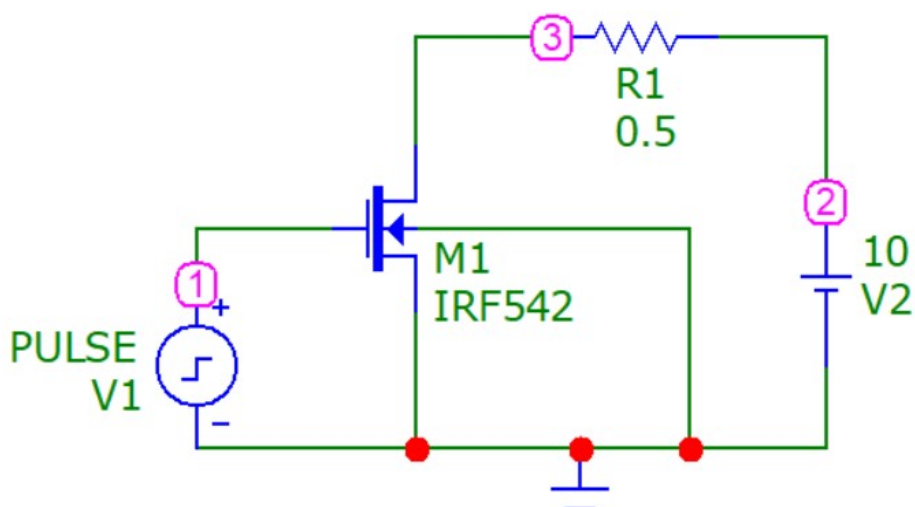
15) Выведу выходные характеристики транзистора



16) Проведу нагрузочную прямую и выберу рабочую точку посередине: $U_{рт} = 10 \text{ В}$, $I_{рт} = 45 \text{ А}$. Определяю сопротивление стока в рабочей точке: $R_d = E_{пит} / I_{рт}$
 $R_d = 10 / 45 = \sim 0.22 \text{ Ом}$.



17) Соберу схему ключа на транзисторе pMOS, подам импульс амплитудой -7 В и длительностью 2 мкс и получу графики характеристики полученного ключа, сопротивление было увеличено до 0.5 В для более корректной работы ключа.



Enabled Columns

☒ Help Bar [File Link](#)

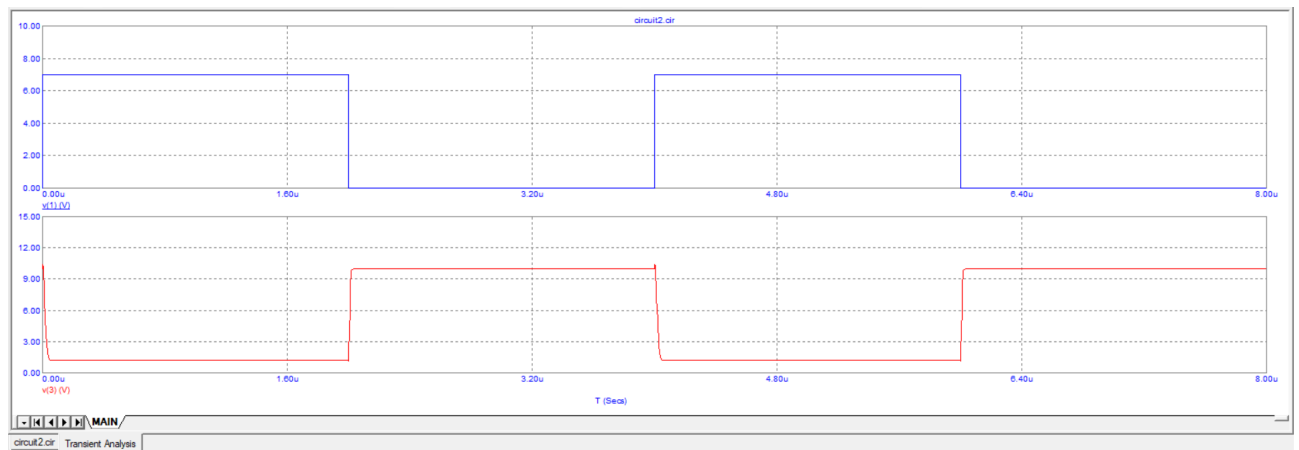
☐ Show Data on Exit

Source: Local page 'Models'

P1 P2 P3

P4 P5 VONE

VZERO



18) Напряжение открытого транзистора на приведенных выше схемах соответствует уровню «0» ≤ 1.5 В.

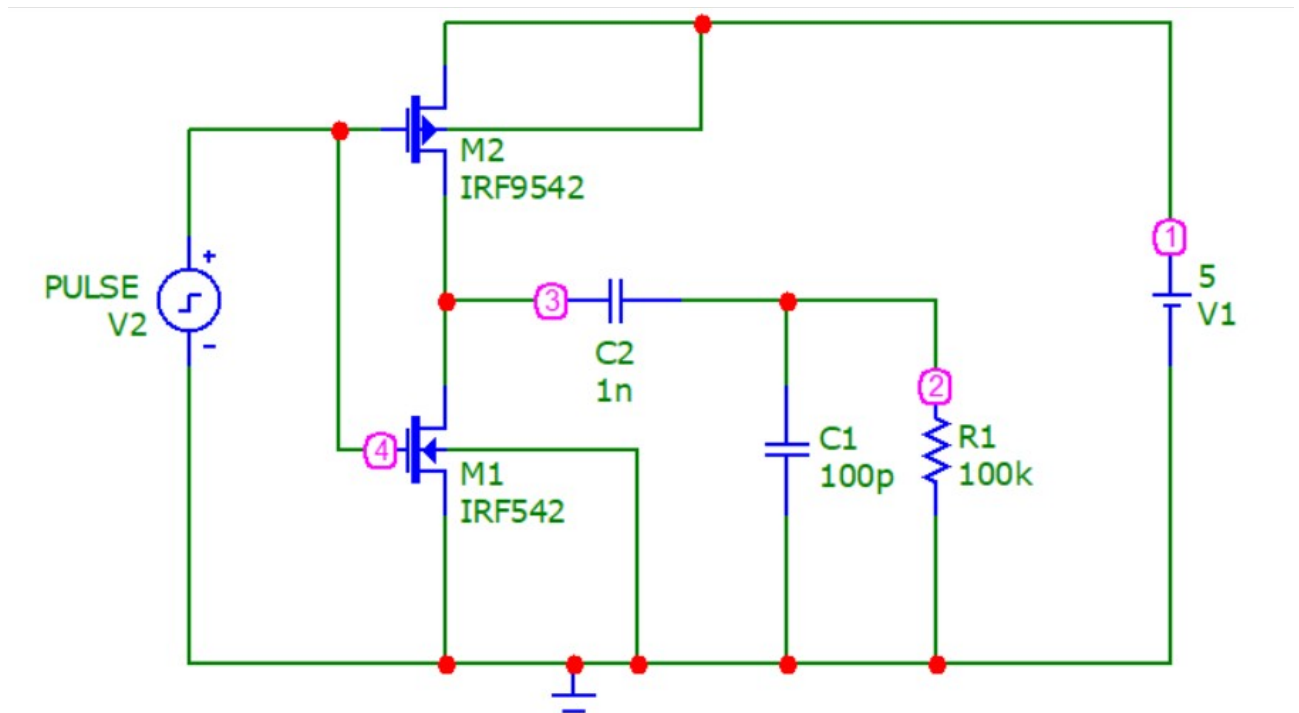
Эксперимент 8

1) Соберу схему КМОП цифрового ключа

☐ Show Data on Exit

Source: Local page 'Models'

P1 P2 P3
P4 P5 VONE
VZERO



2) Построю графики прямоугольных импульсов

Transient Analysis Limits

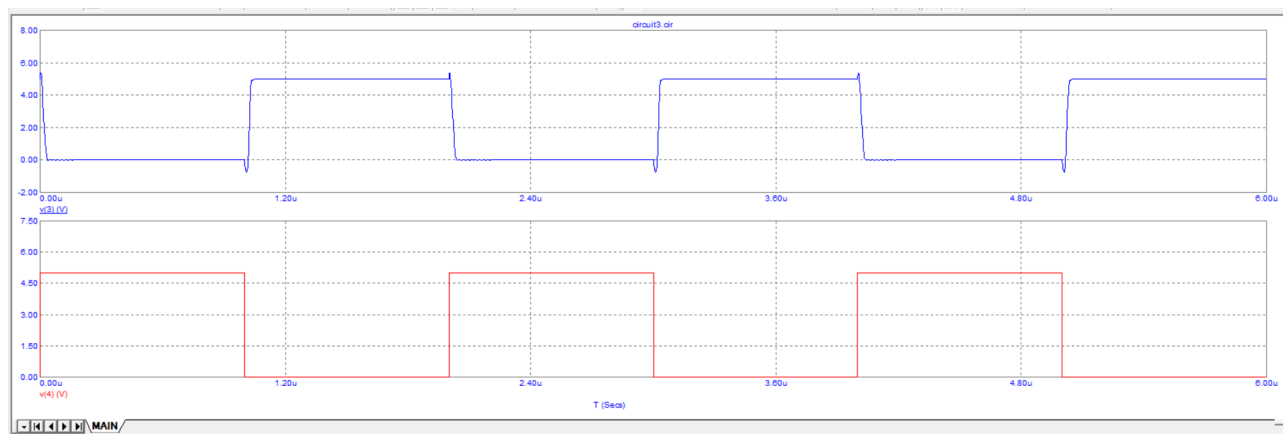
Run Add Delete Expand... Stepping... PSS... Properties... Help...

Maximum Run Time:
Output Start Time (tstart):
Maximum Time Step:
Number of Points:
Temperature:
Retrace Runs:

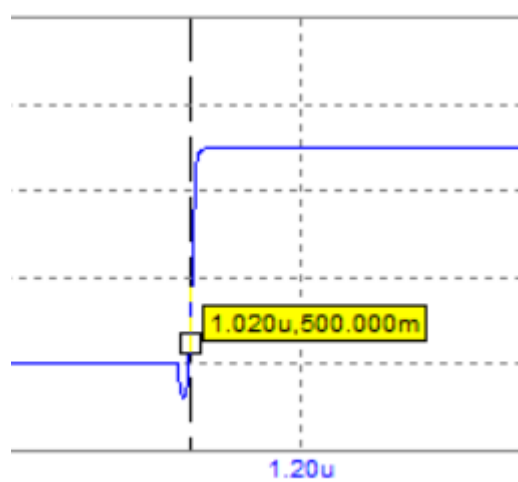
Run Options:
State Variables:
☒ Operating Point ☐ Accumulate Plots
☐ Operating Point Only ☐ Fixed Time Step
☒ Auto Scale Ranges ☐ Periodic Steady State

☐ Ignore Expression Errors

	Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
<input checked="" type="checkbox"/>		1	T	v(3)	6e-6,0,1.2e-6	15,0,3
<input checked="" type="checkbox"/>		2	T	v(4)	6e-6,0,1.2e-6	7.5,0,1.5
<input checked="" type="checkbox"/>						



3) Рассчитаю задержку перехода $t_{01} = 1.031 - 1.020 = 11$ нс

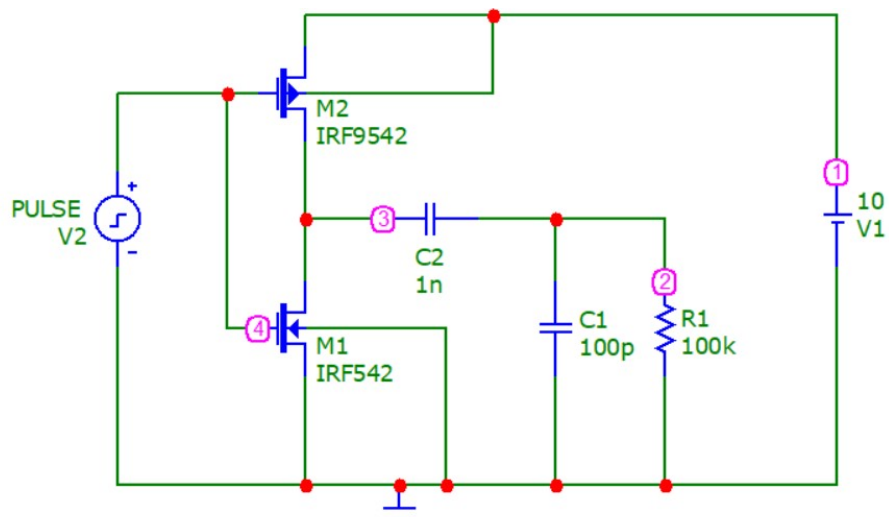


4) Рассчитаю задержку перехода $t_{10} = 2.029 - 2.011 = 18$ нс



5) Итого задержка $T_{\text{зад}} = (t_{01} + t_{10}) / 2 = (18 + 11) / 2 = 14.5$ нс.

6) Изменим напряжение до 10 В



7) Получу передаточную характеристику

DC Analysis Limits

Run Add Delete Expand... Stepping... Properties... Help...

Sweep

Variable	Method	Name	Range
Variable 1	Linear	V2	10,0,.1
Variable 2	Linear	V1	10,6,0.2

Temperature

Method	Range
Linear	27

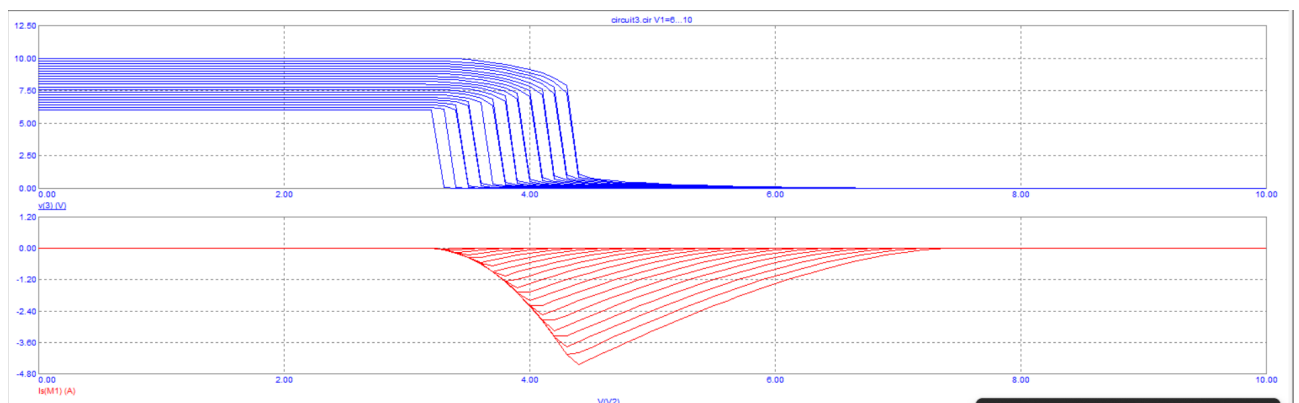
Number of Points: 5100

Maximum Change %: 5

Run Options: Normal ☒ Auto Scale Ranges ☐ Accumulate Plots

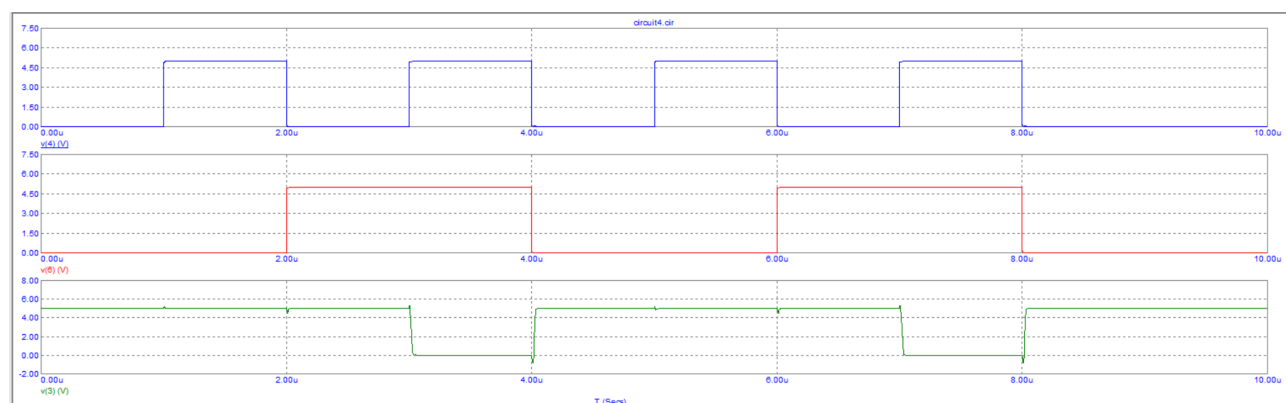
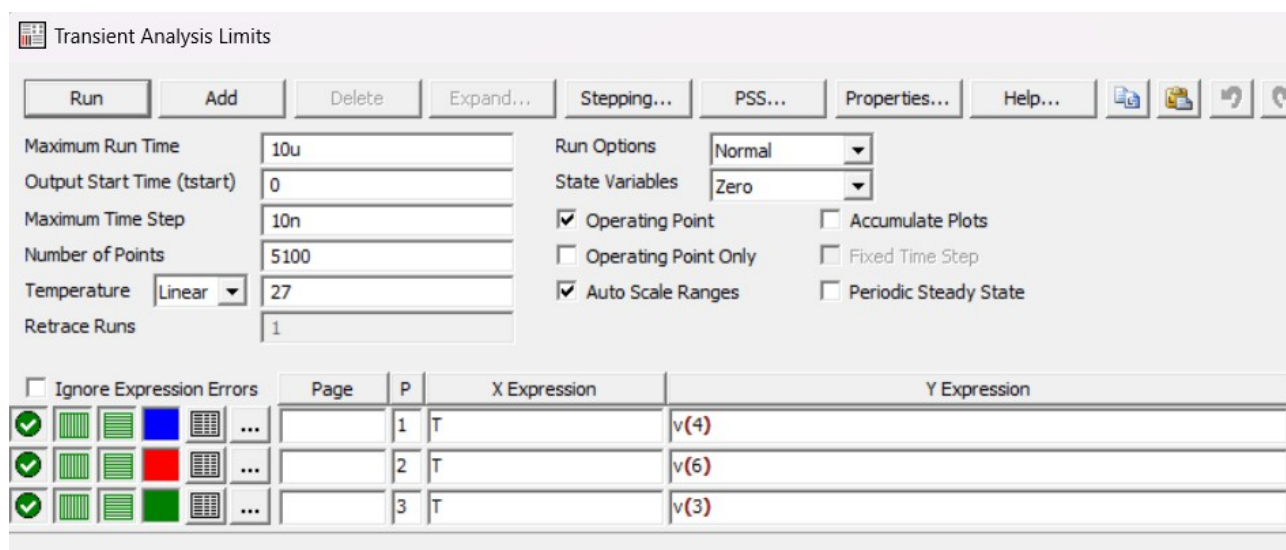
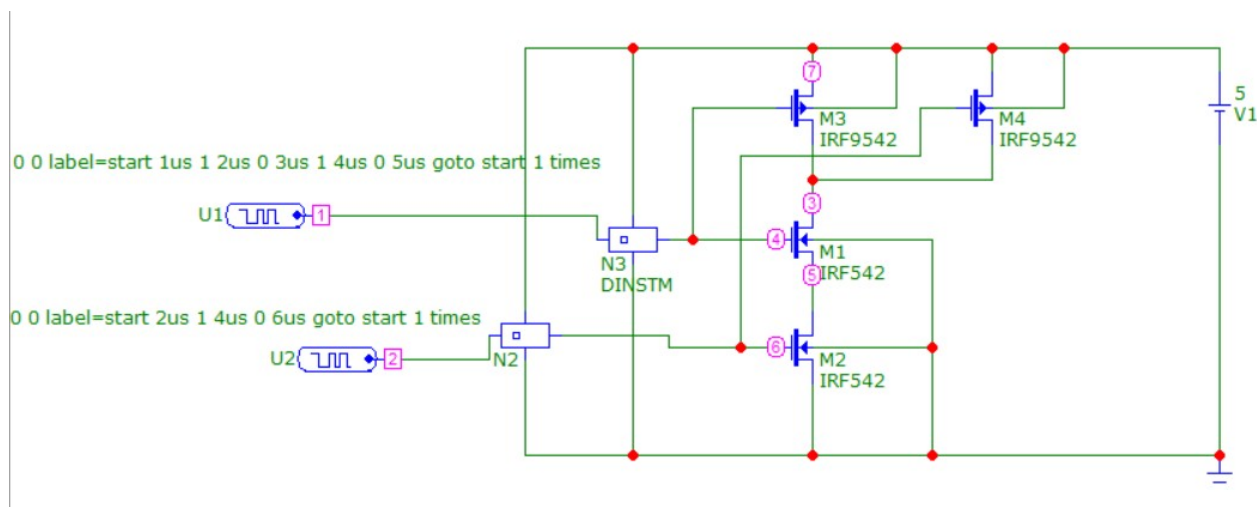
☐ Ignore Expression Errors

	Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
<input checked="" type="checkbox"/>		1	DCINPUT1	v(3)	10,0,2	12.5,0,2.5
<input checked="" type="checkbox"/>		2	DCINPUT1	Is(M1)	10,0,2	1.2,-4.8,1.2
<input checked="" type="checkbox"/>						

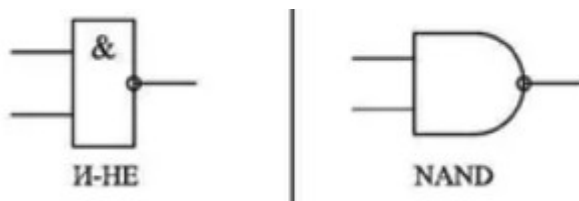


8) Комплементарные схемы потребляют электрическое напряжение исключительно во время переключения, а в статическом состоянии их потребление практически нулевое. Эти схемы находят применение в мобильных устройствах благодаря низкому энергопотреблению, что позволяет размещать больше логических элементов на одном чипе. Кроме того, они функционируют в широком диапазоне напряжений и обладают высокой устойчивостью к помехам.

9) Соберу логический элемент 2И-НЕ, получу напряжения на входах 4 и 6 и выходе 3 в режиме Transient. Для согласования уровней сигнала цифрового генератора и аналоговой схемы добавлю Digital To Analog (DToA):

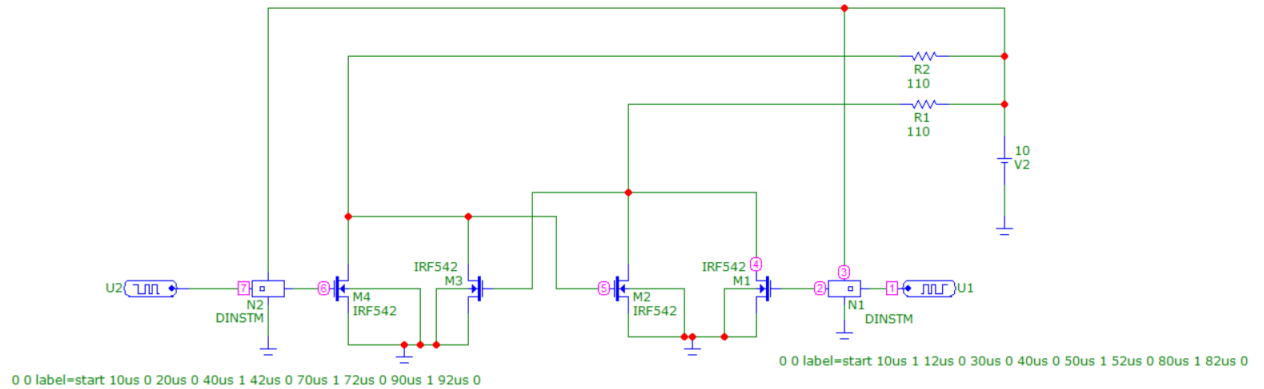


10) В итоге получаем, что 1 на входе тогда, когда хотя бы на одном входе будет 0. В схемотехнике данная функция обозначается следующим образом



Эксперимент 9

1) Соберу схему учебного триггера на элементах NMOS с последовательностями импульсов на входах S и R.



2) Запусти анализ Transient и получи следующие графики

