

МГТУ им. Н. Э. Баумана
Курс «Основы Электроники»

Лабораторная работа №7
«ИССЛЕДОВАНИЕ ВАХ БИПОЛЯРНОГО
ТРАНЗИСТОРА И КАСКАДА УСИЛЕНИЯ В
MICROCAP. ЧАСТЬ 3»

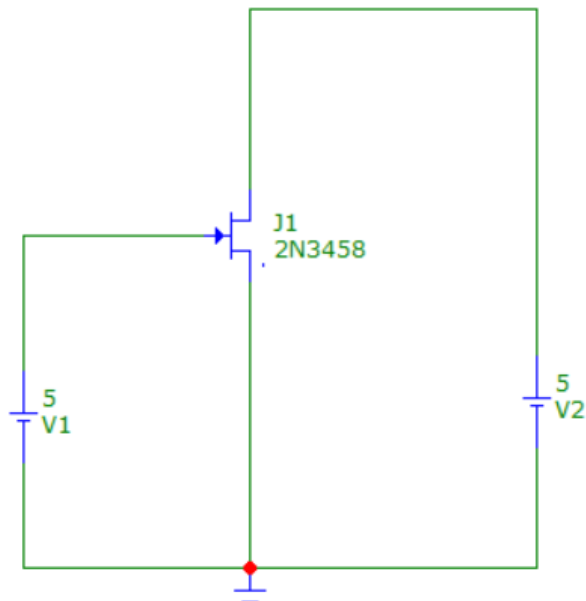
Работу выполнил:
Студент группы ИУ7-32Б
Апсуваев Рамазан

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.

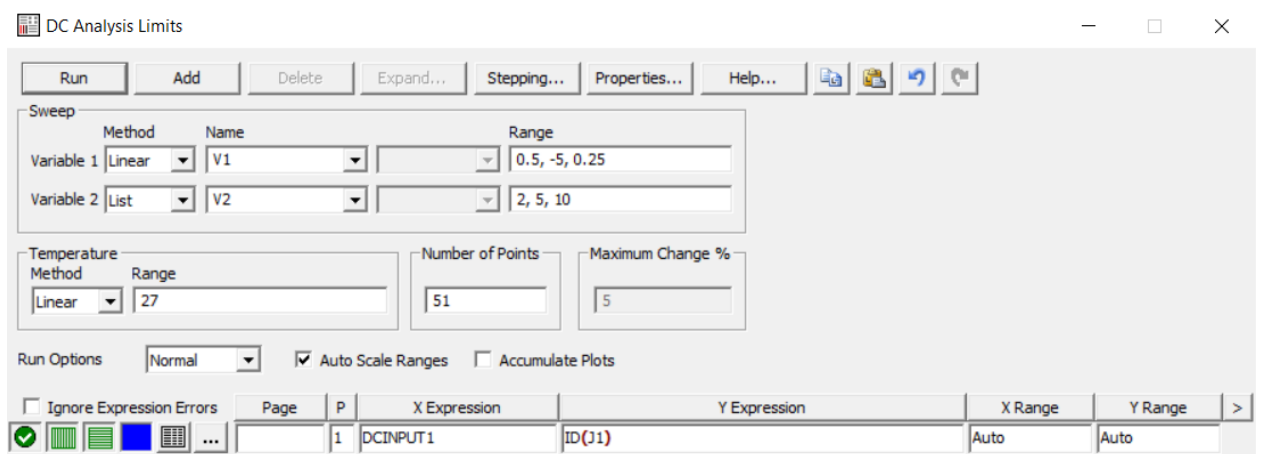
Эксперимент 7

Диод моего варианта - 2N3458

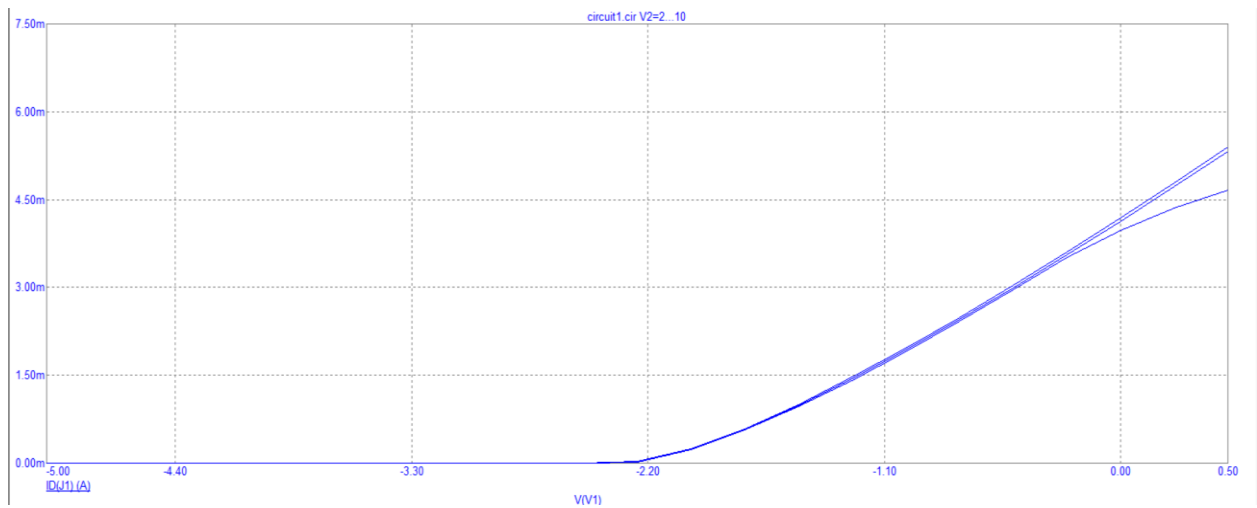
Построим следующую цепь



Воспользуемся DC Analysis Limits

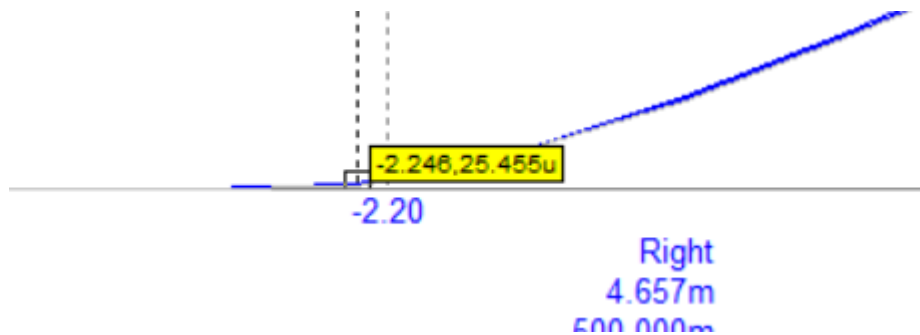


Получим следующий график

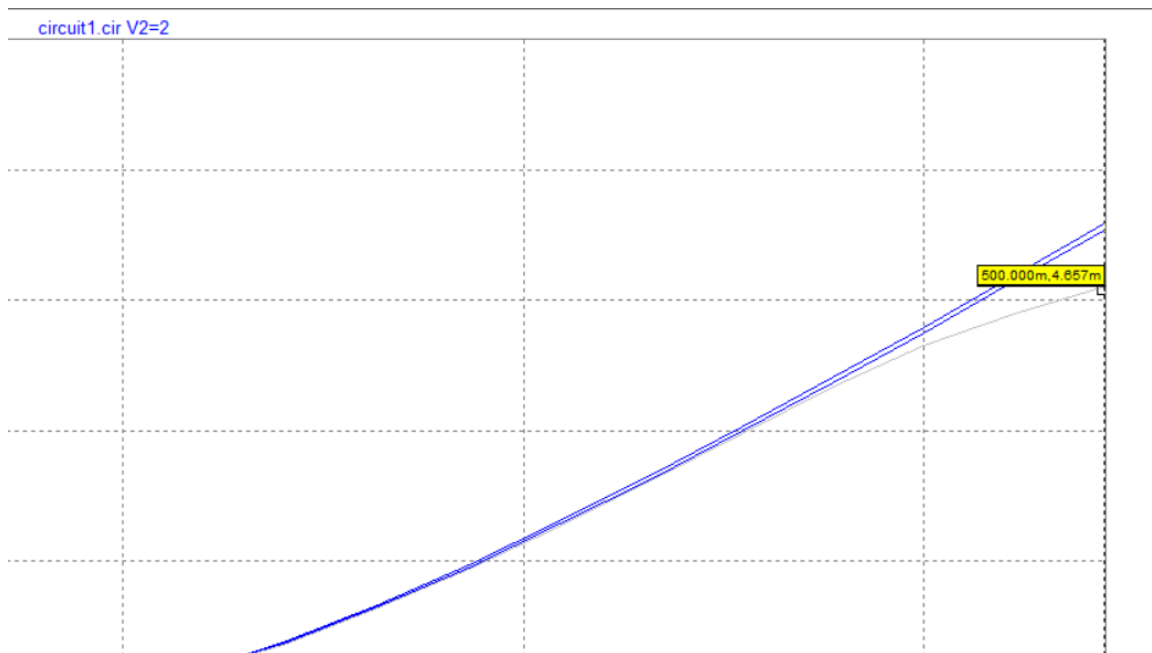


Приведу расчеты для $V_2 = 2$ В. Расчеты для $V_2 = 5, 10$ В проводятся аналогично

Из графика видно, что $U_{отс} = -2.246$ В



$I_{снач} = 4.657$ мА (начальный ток стока)



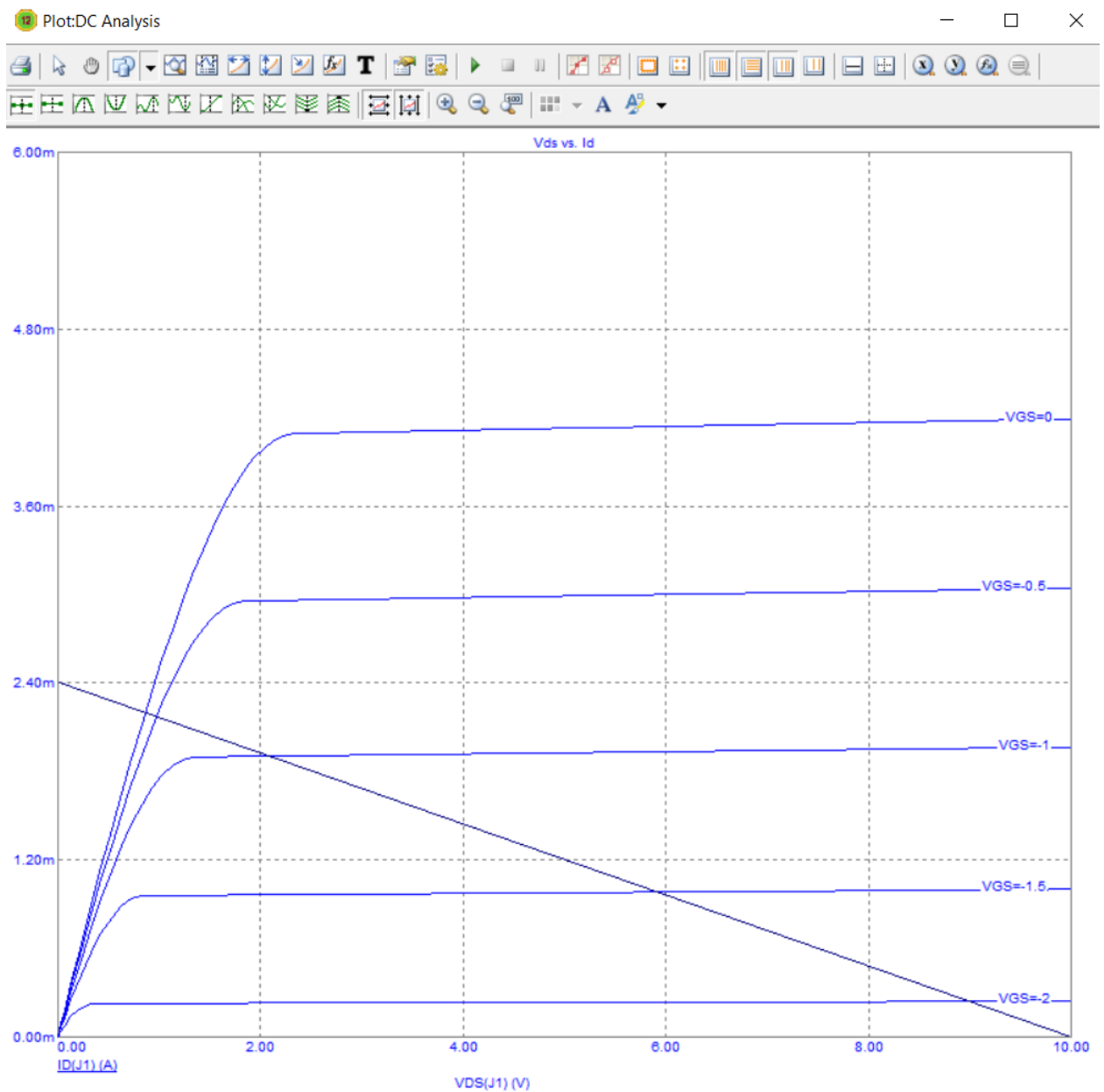
Отсюда высчитаем $S_{max} = 2 * I_{снач} / |U_{отс}| = 2 * 4.657 / 2.246 = 4.147$ мА/В

Приведу таблицу, где приведу вычисленные значения для $V_2 = 2, 5, 10$ В

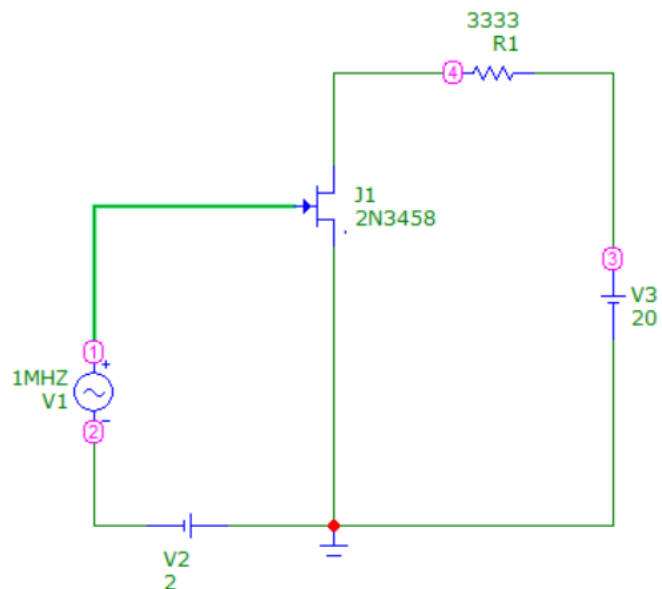
U, В	Iснач, мА	Smax, мА/В
2	4.657	4.147
5	5.310	4.827
10	5.385	4.896

Усилитель на *nJFET*

Выходные характеристики моего транзистора с нагрузочной прямой



$U_{PT} = 5V$, $I_d = 1.5 \text{ mA}$. Тогда сопротивление стока будет равно $(E_{пит} - U_{PT})/I_d = 5 / (1.5 \cdot 10^{-3}) = 3333 \text{ Ом}$. Построим следующую цепь



Параметры генератора

Sine Source

Name: MODEL Value: 1MHZ

Display: ☐ Pin Markers ☐ Pin Names ☐ Pin Numbers ☒ Current ☒ Power ☒ Condition

Shape: Border ☒ Fill ☒

PART=V1
MODEL=1MHZ
SMOKE=
COST=
POWER=
SHAPEGROUP=Default
PACKAGE=

OK Cancel Font... Add Delete Browse...

New Find... Plot... Syntax... IBIS... Help...

Enabled: TRUE Columns: 3

☒ Help Bar [File Link](#)

☐ Show Data on Exit

Source: Local page 'Models'

A: 0.1 DC: 0 F: 5000
PH: 0 RP: 0 RS: 1m
TAU: 0

Запустим Transient Analysis Limits

Transient Analysis Limits

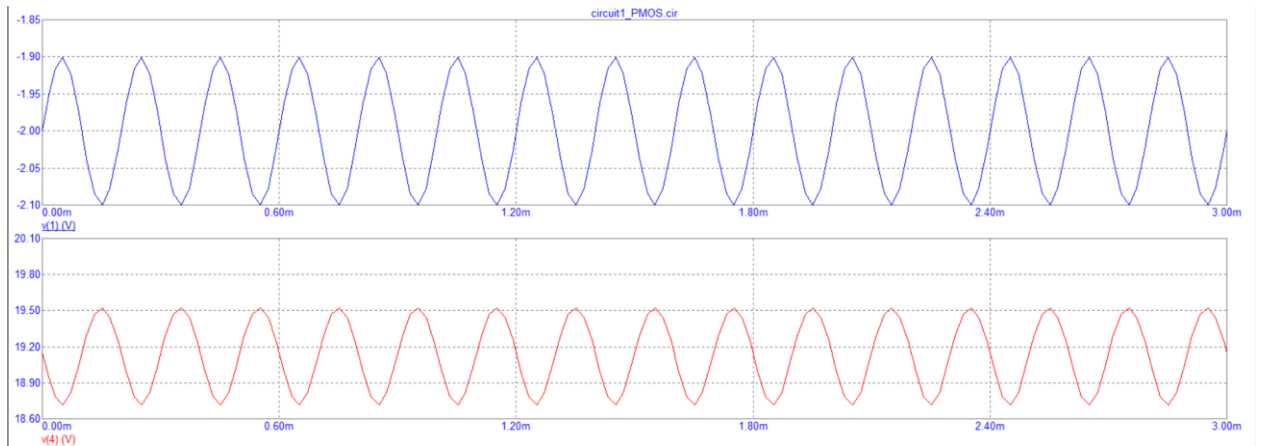
Run Add Delete Expand... Stepping... PSS... Properties... Help...

Maximum Run Time: 3m Run Options: Normal
Output Start Time (tstart): 0 State Variables: Zero
Maximum Time Step: 0 ☒ Operating Point ☐ Accumulate Plots
Number of Points: 5100 ☐ Operating Point Only ☐ Fixed Time Step
Temperature: Linear ☒ Auto Scale Ranges ☐ Periodic Steady State
Retrace Runs: 1

☐ Ignore Expression Errors

Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	v(1)	0.003,0,0.0006	-1.85,-2.1,0.05	
2	T	v(4)	0.003,0,0.0006	20.1,18.6,0.3	

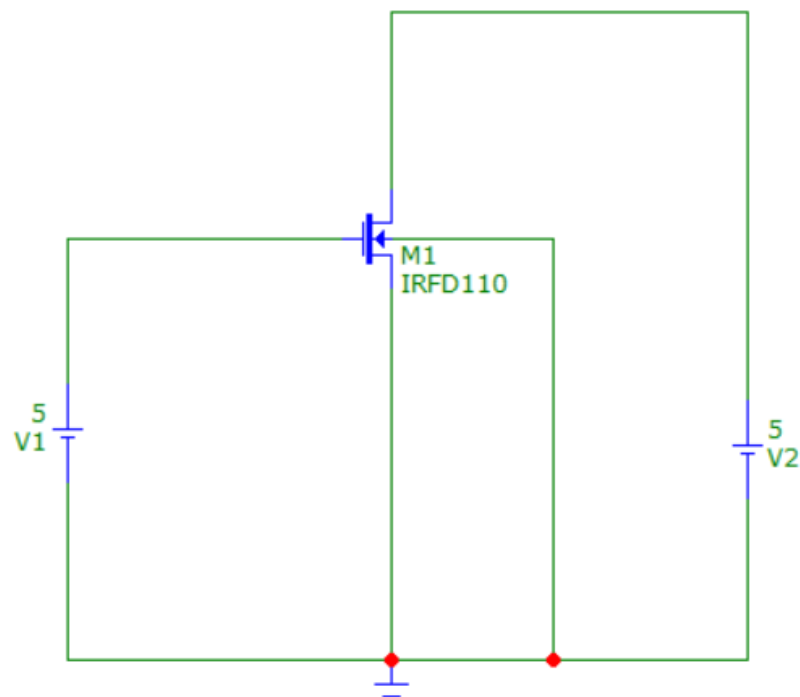
Получим следующий график



Вычислим усиление каскада (отношение амплитуд). $K = (19.522 - 18.715) / 0.2 = 4.035$

Исследование nMOS

Исследуем характеристики NMOS транзистора. Для этого построим следующую цепь



Воспользуемся DC Analysis

DC Analysis Limits

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

Sweep

Method	Name	Range
Variable 1 Linear	V1	5, 3.5, 0.1
Variable 2 List	V2	5, 10, 15, 20

Temperature

Method Range

Linear 27

Number of Points

51

Maximum Change %

5

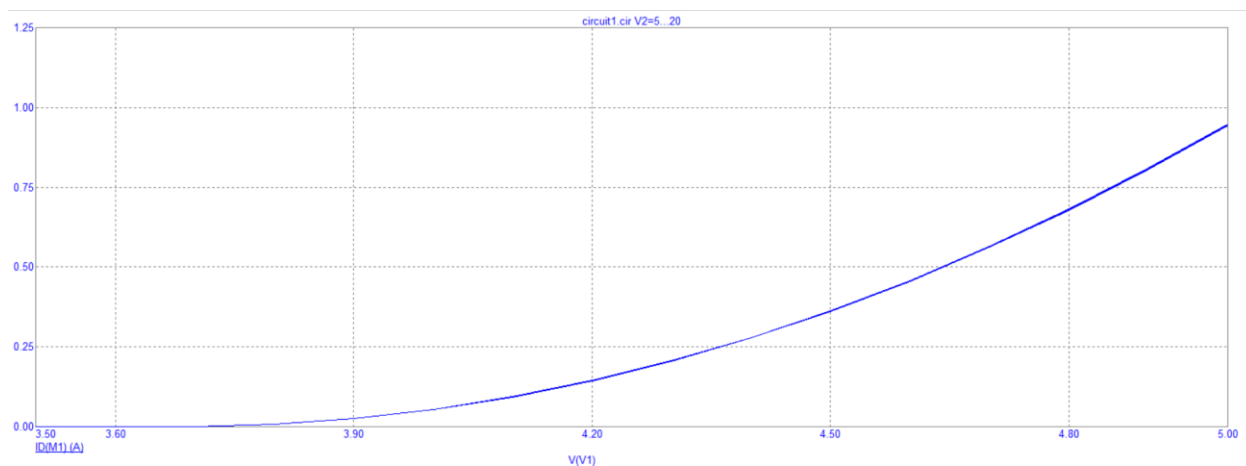
Run Options

Normal Auto Scale Ranges Accumulate Plots

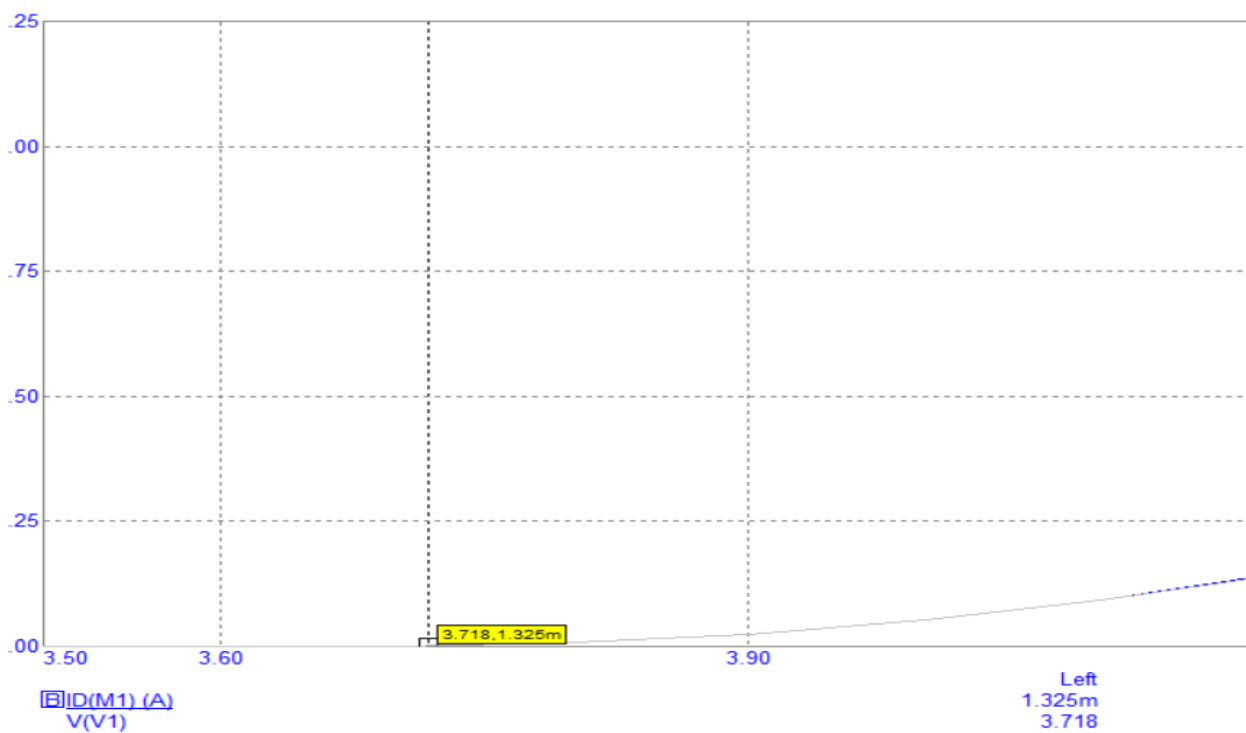
Ignore Expression Errors

Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	1	DCINPUT1	ID(M1)	Auto	Auto

Получим следующий график

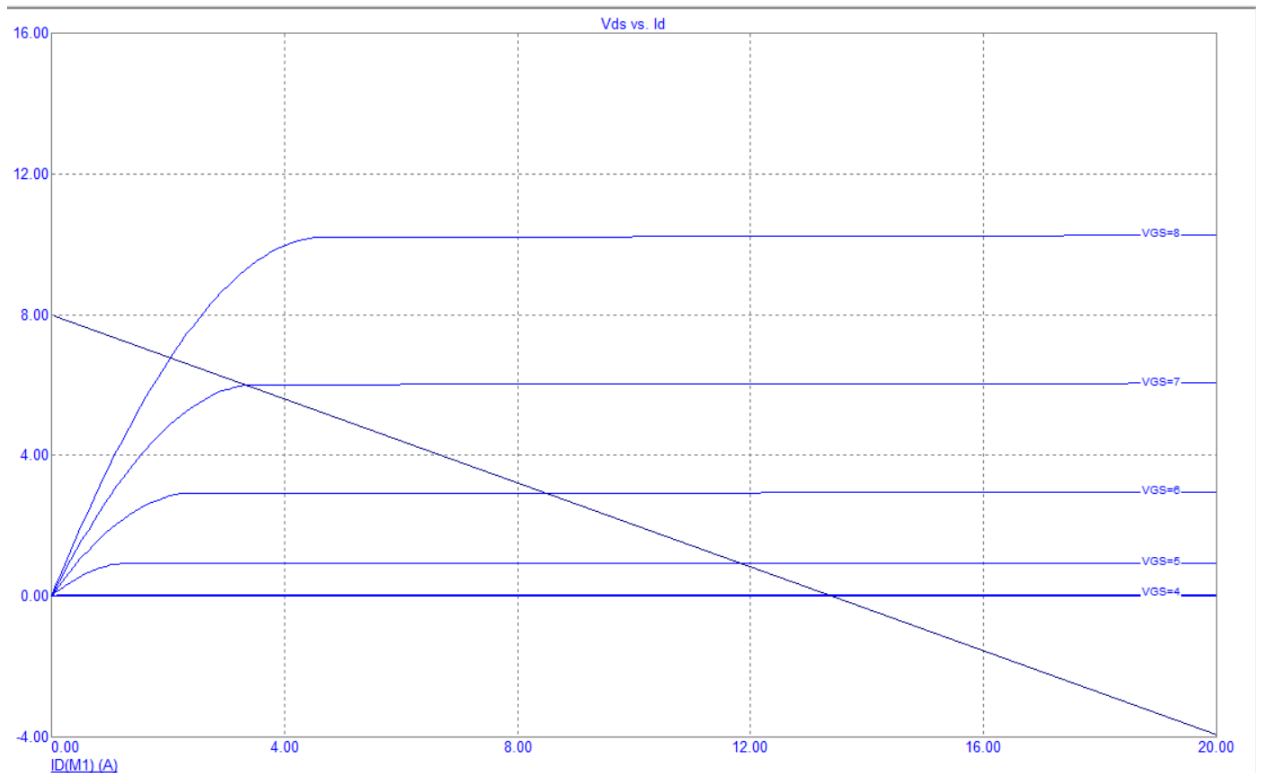


Отсюда, напряжение открытия транзистора равно 3.718 В



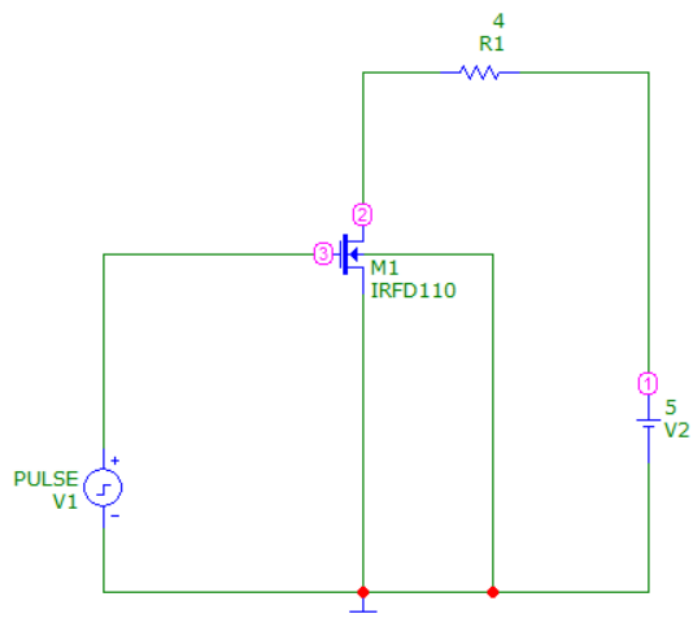
Ключ на транзисторе NMOS

Просмотрим выходные характеристики NMOS транзистора моего варианта и построим нагрузочную прямую



Ток стока будет равен 2.5А. Отсюда, $R_d = E_{пит}/I_d = 10/2.5 = 4 \text{ Ом}$

Построим следующую схему



Воспользуемся Transient Analysis Limits

Transient Analysis Limits

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

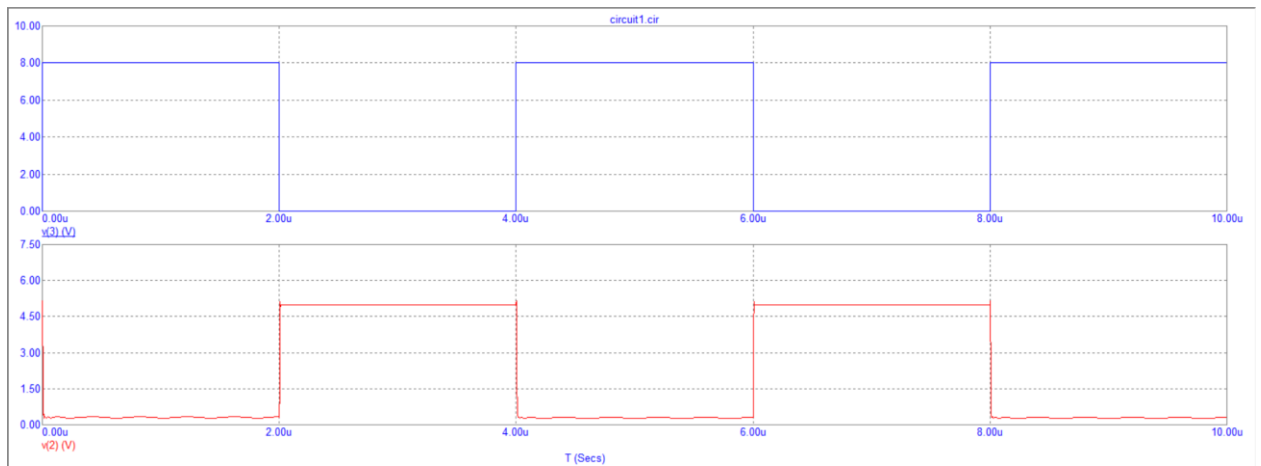
Maximum Run Time: 10u
Output Start Time (tstart): 0
Maximum Time Step: 0
Number of Points: 51
Temperature: Linear 27
Retrace Runs: 1

Run Options: Normal
State Variables: Zero
☒ 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
1	1	T	v(3)	1e-5, 0, 2e-6	10, 0, 2
2	2	T	v(2)	1e-5, 0, 2e-6	7.5, 0, 1.5

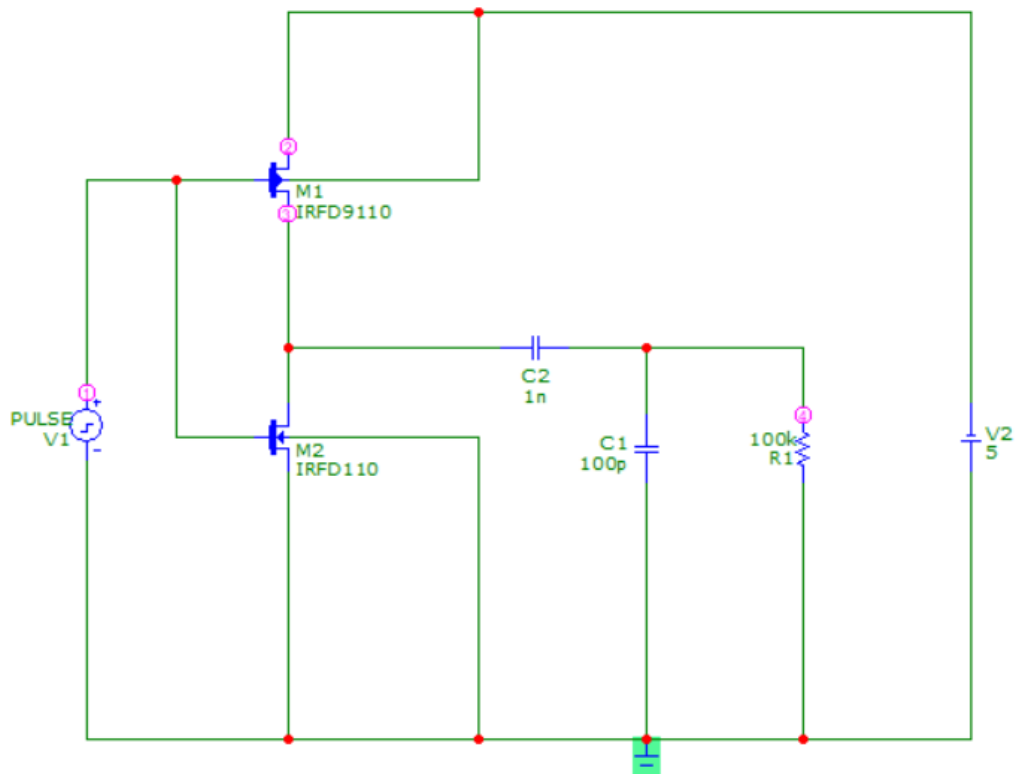
Получим следующий график



Эксперимент 8

Инвертор на основе КМОП ключа

Собираем следующую схему КМОП цифрового ключа



Воспользуемся Transient Analysis Limits

Transient Analysis Limits

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

Maximum Run Time: 30u
 Output Start Time (tstart): 0
 Maximum Time Step: 0
 Number of Points: 5100
 Temperature: Linear 27
 Retrace Runs: 1

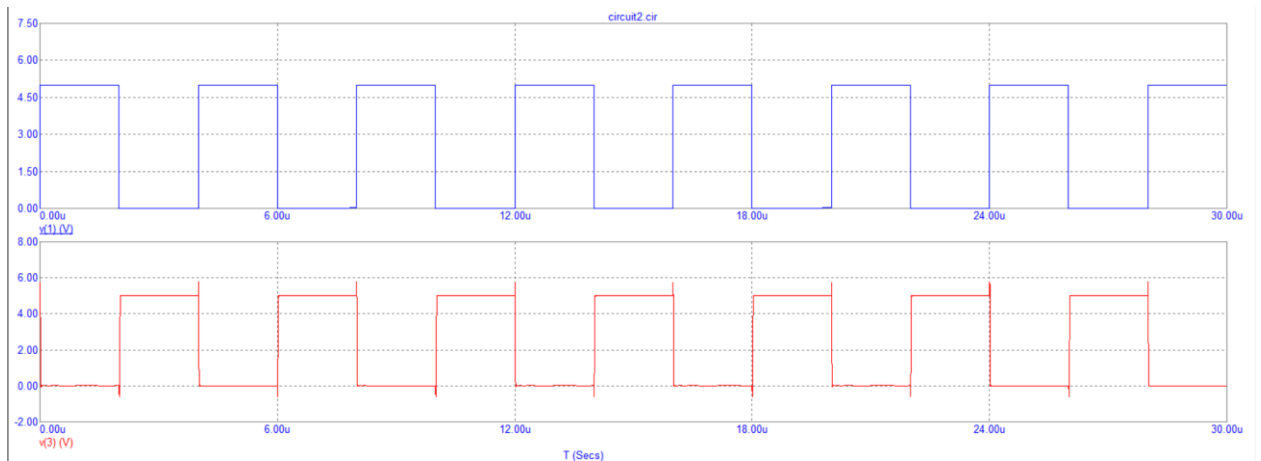
Run Options: Normal
 State Variables: Zero

☒ Operating Point
☐ Operating Point Only
☒ Auto Scale Ranges

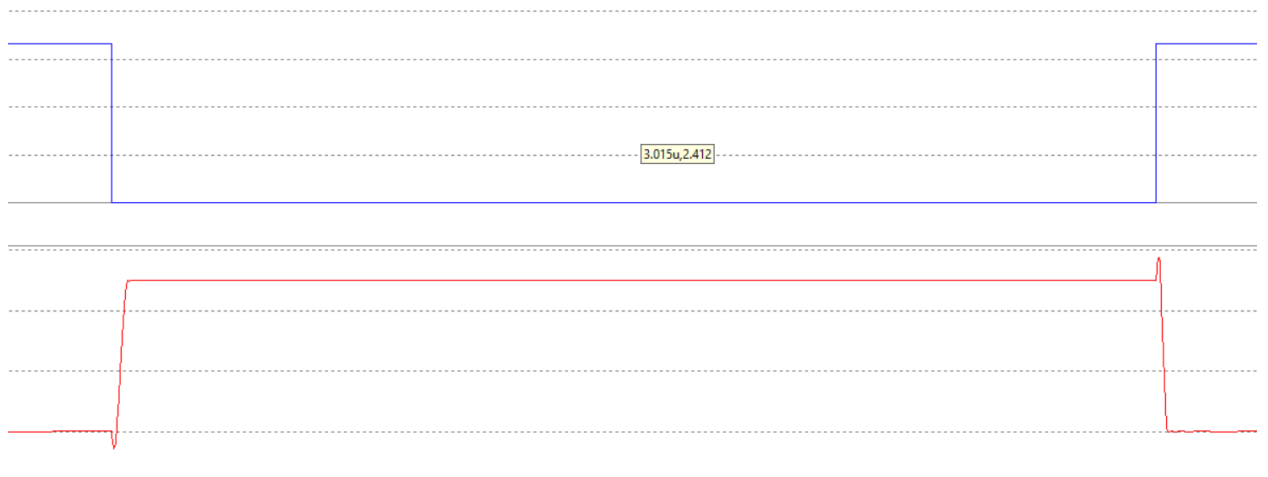
☐ Accumulate Plots
☐ Fixed Time Step
☐ Periodic Steady State

Page	P	X Expression	Y Expression	X Range	Y Range
1	T	v(1)		3e-5,0,6e-6	7.5,0,1.5
2	T	v(3)		3e-5,0,6e-6	0,-10,2

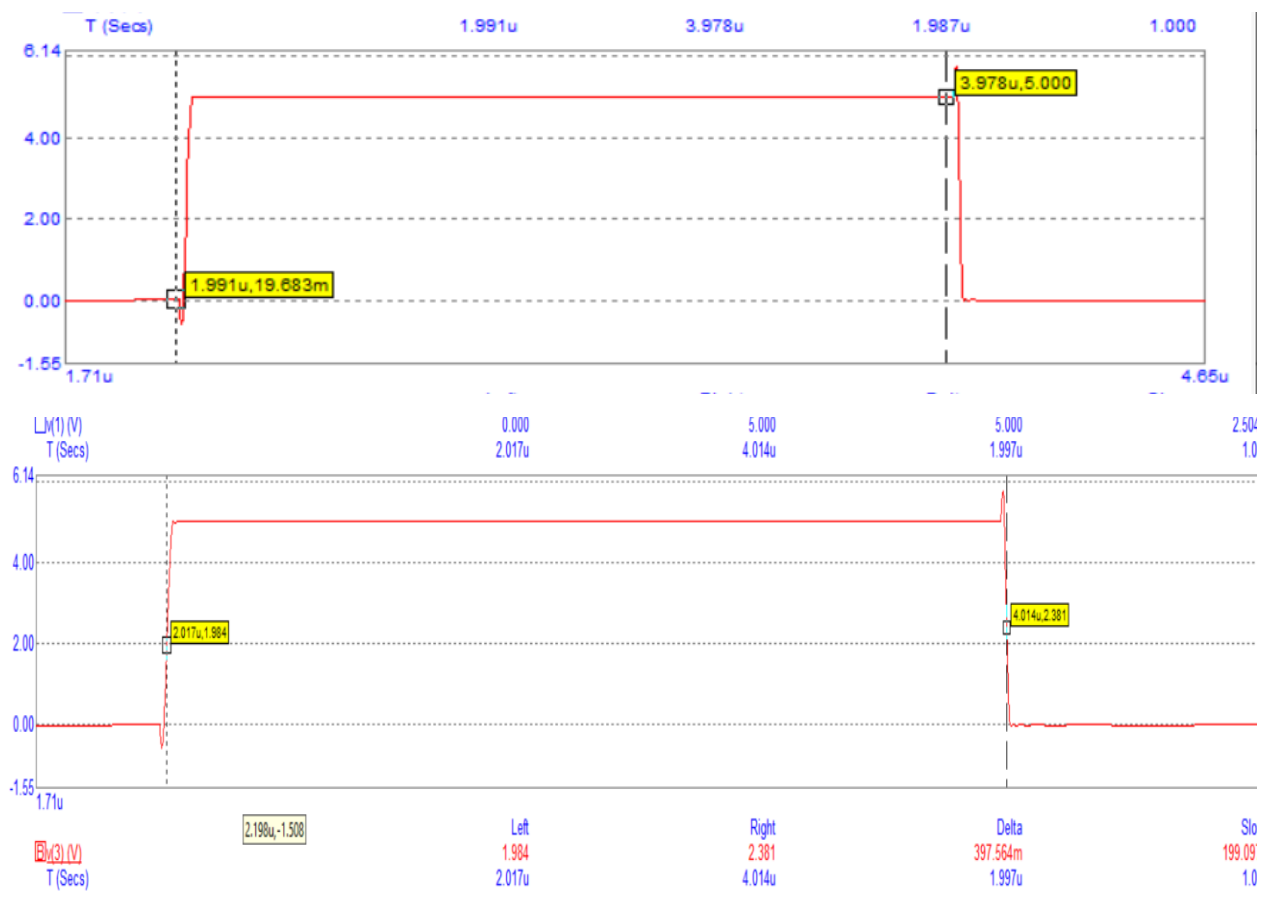
Получим следующий график



Приблизим график



Расчитаем задержку

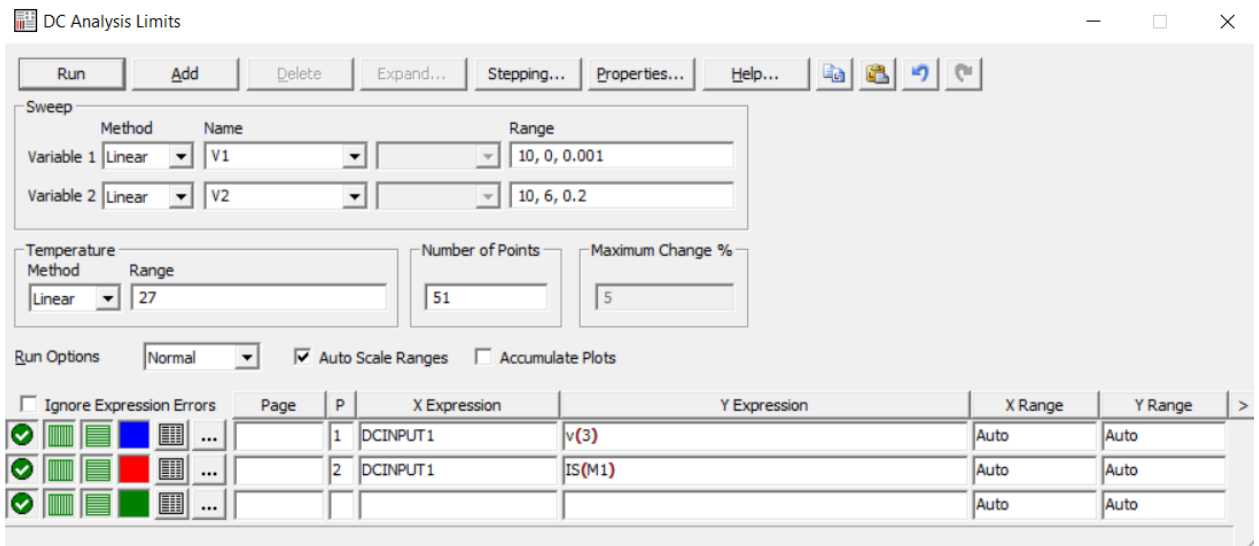


$$\text{Result} := \frac{(2.017 - 1.991) + (4.014 - 3.978)}{2}$$

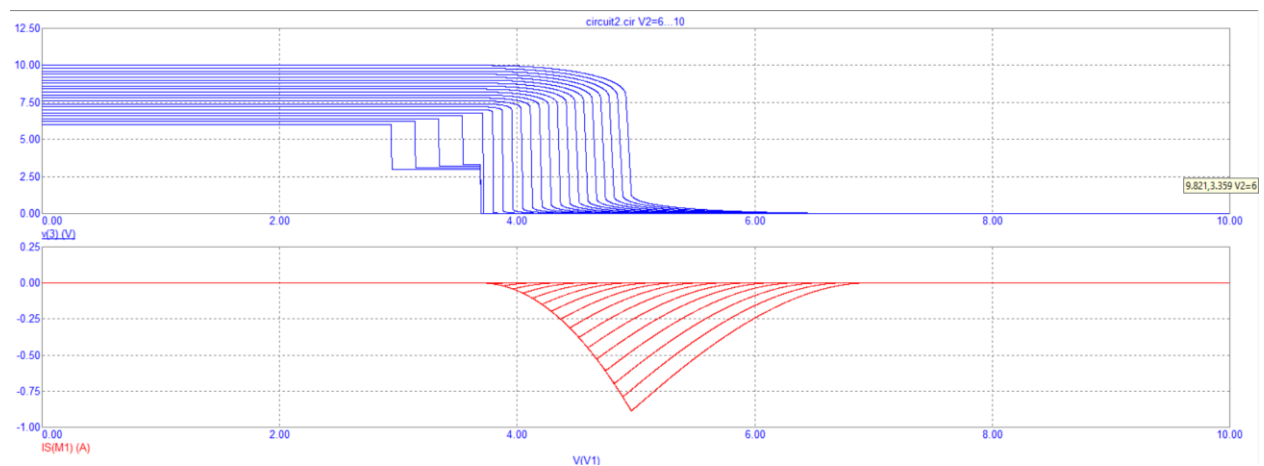
$$\text{Result} = 0.031$$

0.031 наносекунд

Воспользуемся DC Analysis



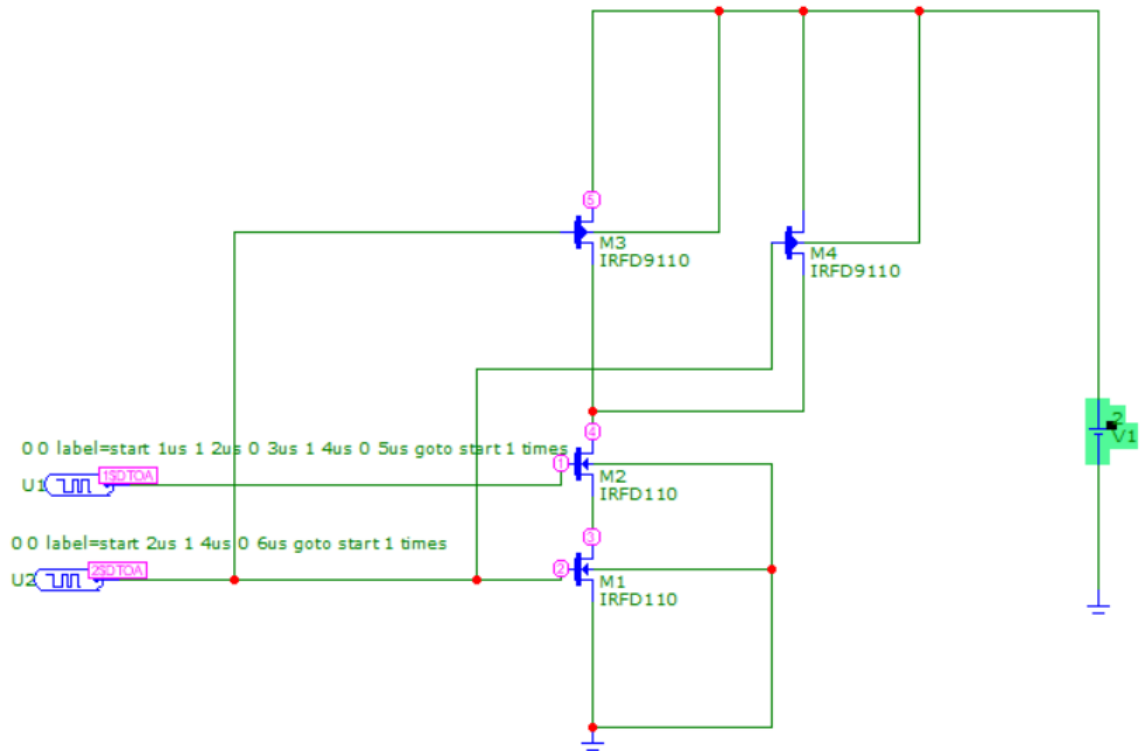
Получим следующий график



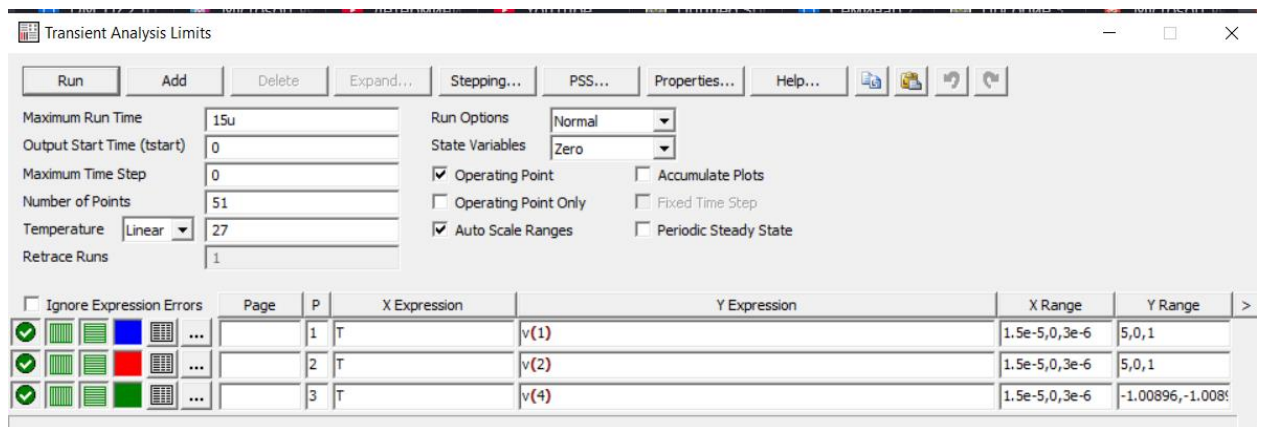
Таким образом, графики ключа и передаточной характеристики показывают, что комплементарная схема КМОП потребляет ток при переключении между единичным и нулевым состояниями. Так как переключение происходит в течение сотых долей наносекунд, потребляемый ток (и, следовательно, мощность) очень мал. Это делает их использование особенно выгодным в карманных устройствах, где экономия энергии является ключевым фактором при разработке.

Логический элемент 2И-НЕ

Построим следующую цепь



Воспользуемся Transient Analysis Limits и получим следующий график



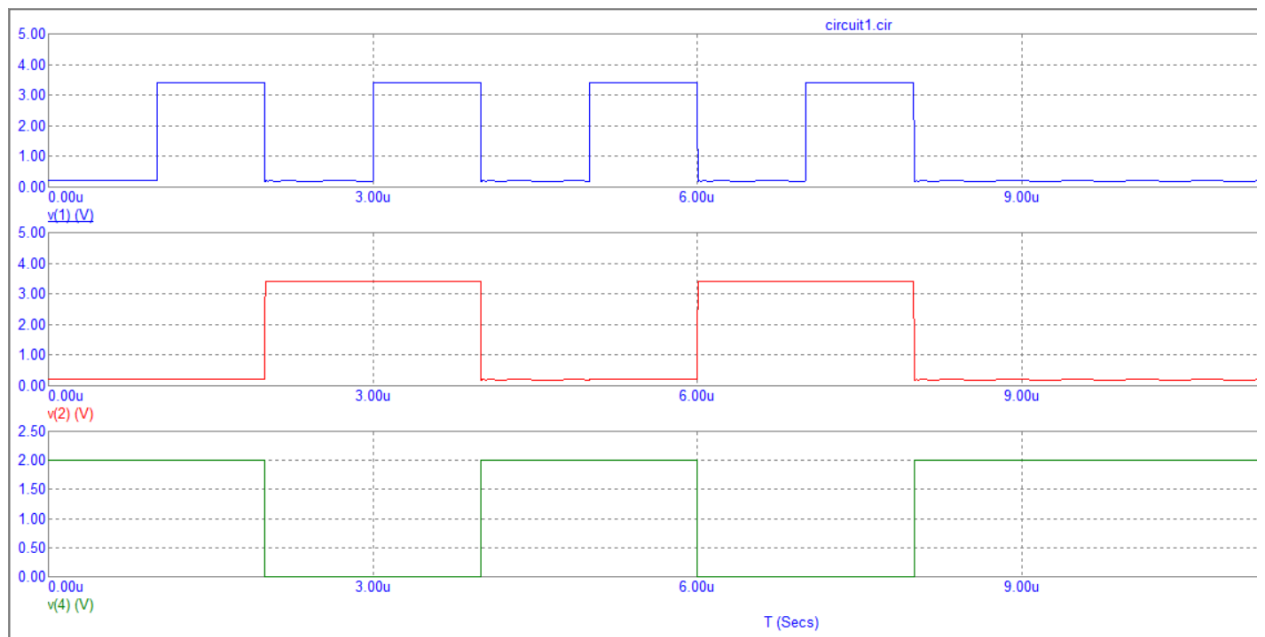
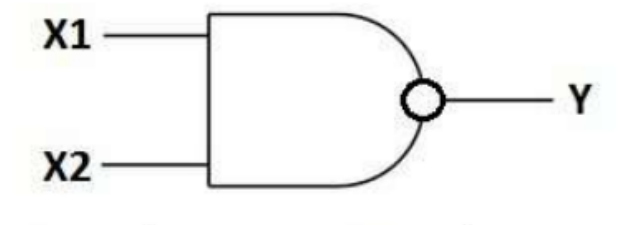


Таблица истинности

Вход 1	Вход 2	Результат
0	0	1
1	0	1
0	1	1
1	1	0

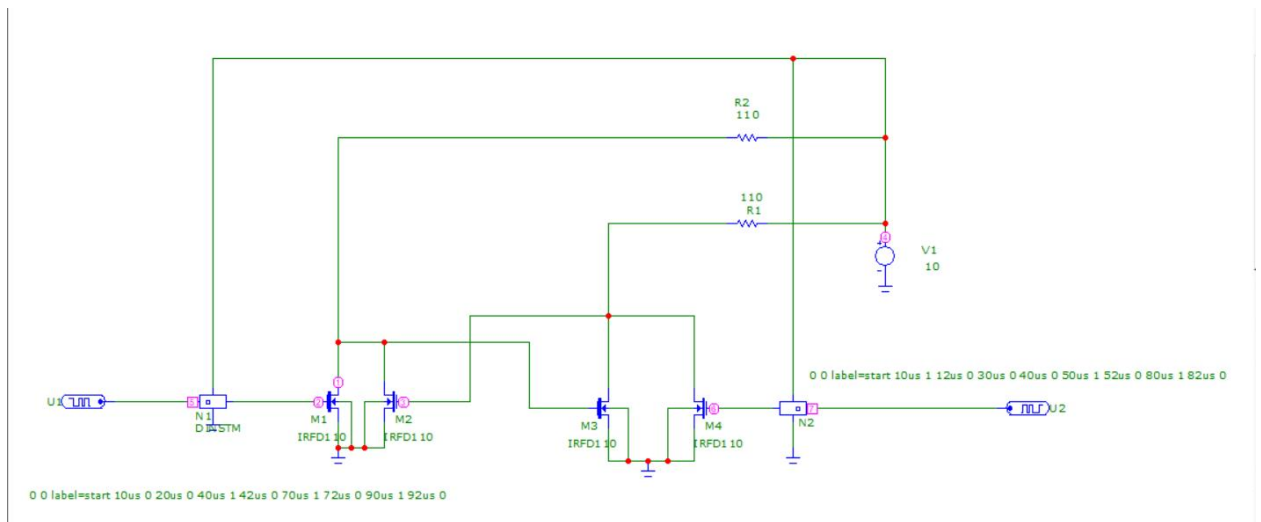
Обозначение 2И-НЕ



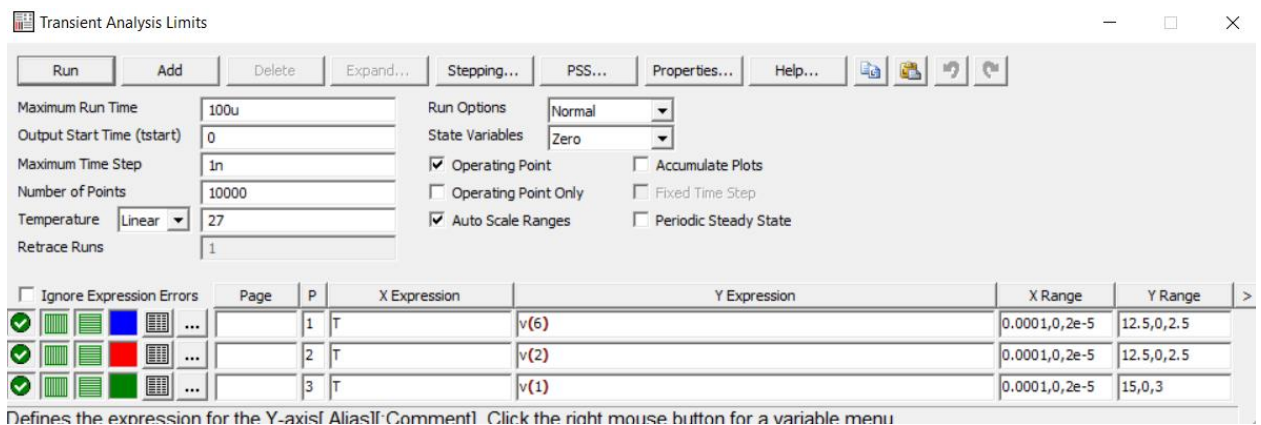
Эксперимент 9

Устройство ячейки триггера статической памяти.

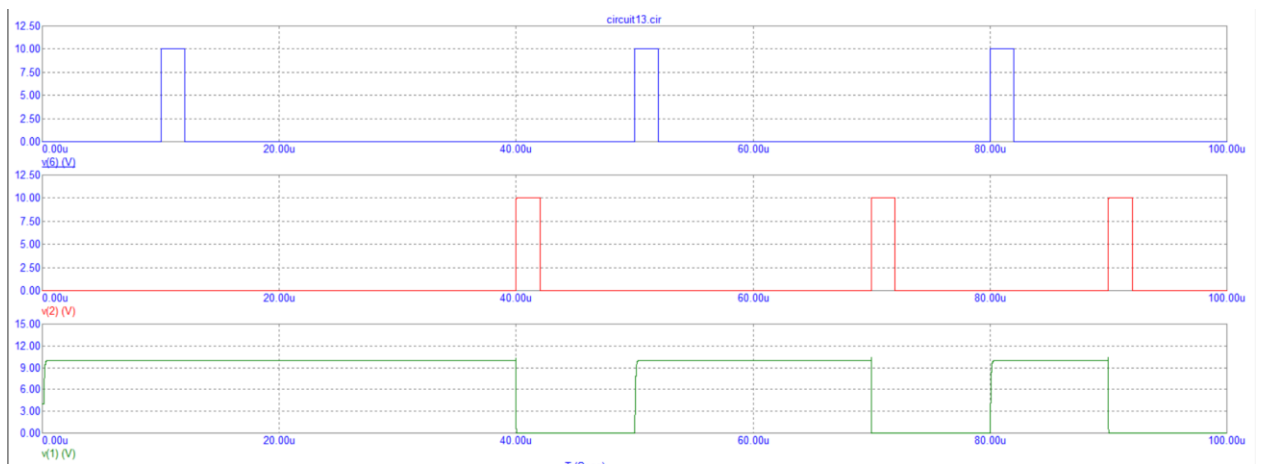
Построим следующую цепь



Воспользуемся Transient Analysis Limits



Получаем следующий график



Синий график – команда записи, красный график – команда считывания.