

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

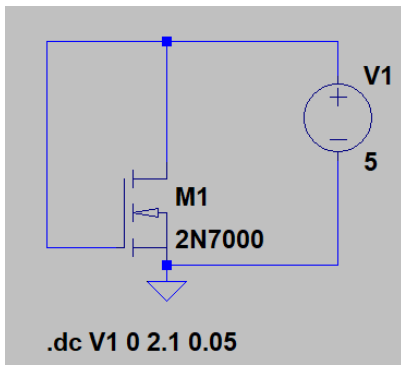
Звіт
З виконання лабораторної роботи №3
з дисципліни “Аналогова електроніка”

Виконав:
студент групи ДК-61
Сільчук В.І.

Перевірив:
доц. Короткий Є. В.

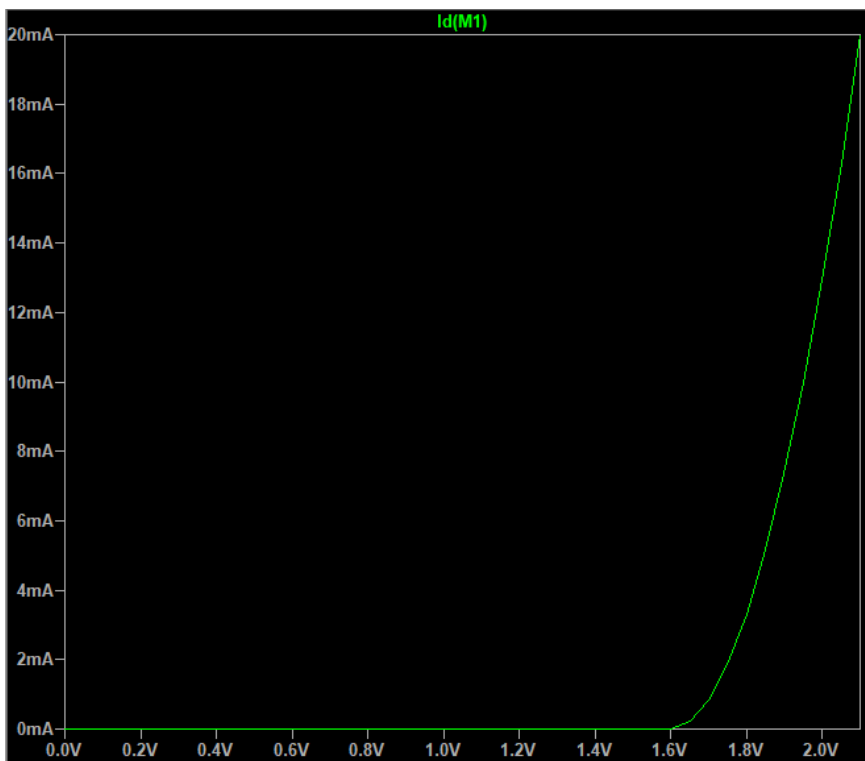
1. Дослідження залежності $I_c(U_{в})$ для n-канального польового МДН транзистора 2N7000.

В симуляторі LTSpice була побудована наступна схема:



Для одержання залежності $I_c(U_{в})$, потрібно збільшувати напругу $U_{в}$ від 0В до 2.1В з кроком 0.1В, яка задається джерелом V1, і вимірювати для кожного з цих значень $U_{в}$ відповідні значення струму стоку I_c .

В симуляції використали для цього режим DC Sweep, де задали ім'я джерела, параметри якого будуть змінюватися, початкове значення напруги, кінцеве значення напруги і крок зміни напруги. Після цього запустили симуляцію, вибрали струм стоку, і отримали наступний графік залежності $I_c(U_{в})$:



Як видно, отриманий графік відповідає очікуванням

Наступним кроком є визначення величини порогової напруги та константи b з формули $I_c = b \cdot (U_{в} - U_{п})^2$.

Були вибрані струми 4,004mA та 16,007mA.

I_{c1} , A	0,004004
$U_{зв1}$, В	1,819

I_{c2} , A	0,016007
$U_{зв2}$, В	2,046

Справедливими є формули:

$$I_{c2} = 4 \cdot I_{c1} = \frac{b}{2} (U_{зв2} - U_{п})^2$$

$$U_{п} = 2U_{зв1} - U_{зв2}$$

Визначимо значення $U_{п}$:

$$U_{п} = 2 \cdot 1.819 - 2.046 = 1.592 \text{ (В)}$$

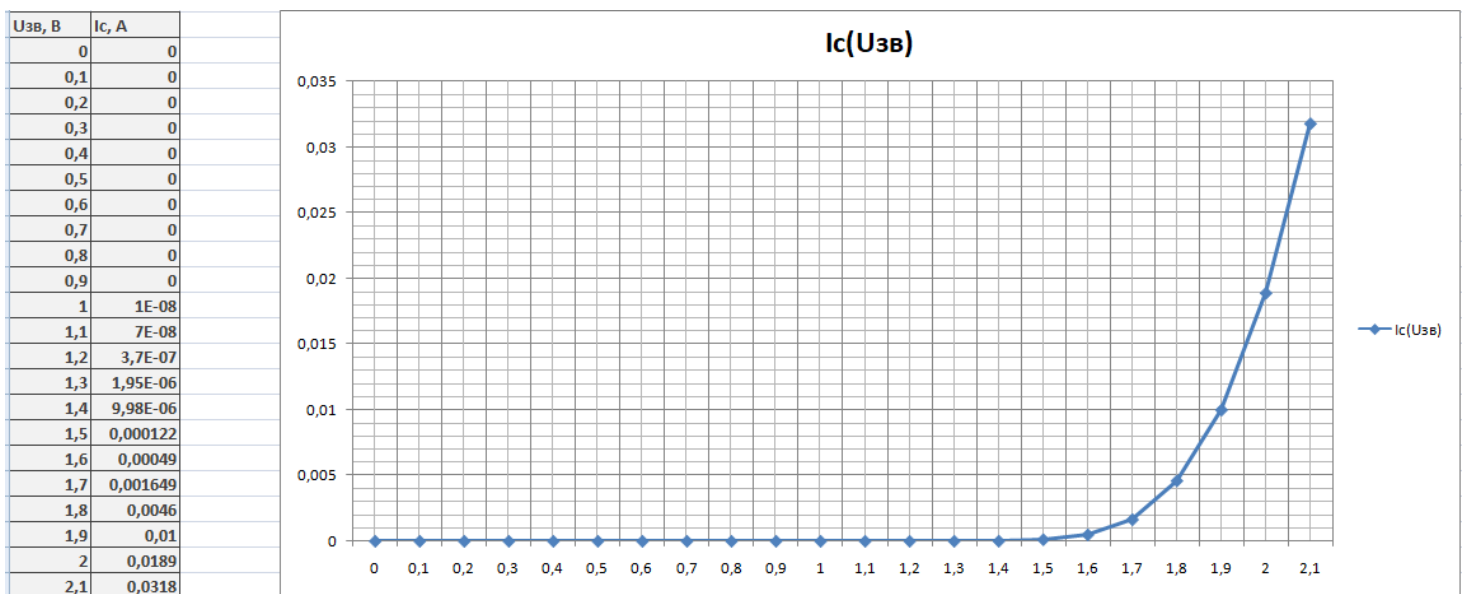
Тепер, знаючи порогову напругу, визначаємо значення коефіцієнту b :

$$b = 2 \cdot I_{c2} / (U_{зв2} - U_{п})^2$$

$$b = 2 \cdot 0.016007 / (2.046 - 1.592)^2 = 0.15532$$

Аналогічні вимірювання були проведені на практиці.

Отримали наступні результати:



Отриманий графік відповідає очікуванням.

Ic1, А	0,000122
Uзв1, В	1,5

Ic2, А	0,00049
Uзв2, В	1,6

Величина порогової напруги та коефіцієнт b :

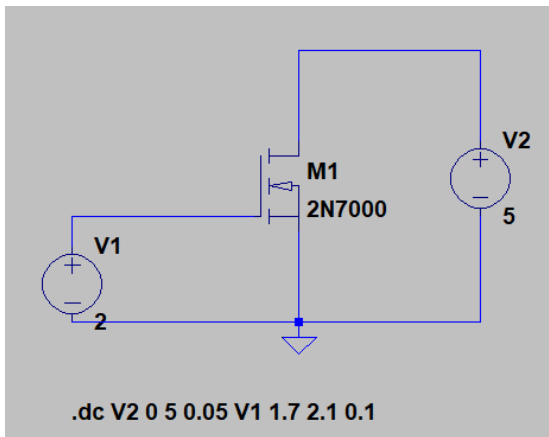
Uп, В	1,4
-------	-----

b	0,0245
---	--------

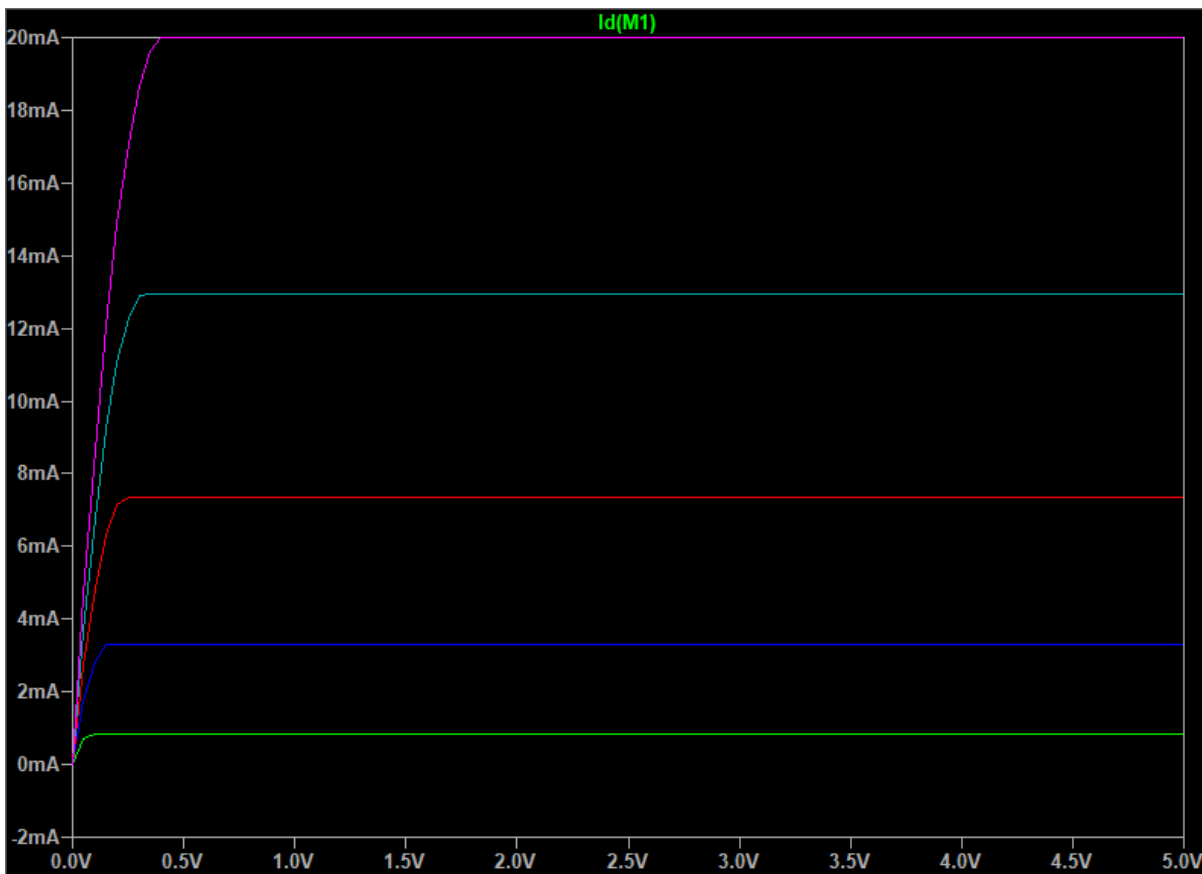
Як видно, отримано деякі розбіжності в значеннях для практики та симуляції, що пояснюється відмінностями ідеальної моделі транзистора в симуляції та реальної моделі, яку використовували на практиці, що з'явилися в процесі виготовленні транзистора.

2. Дослідження залежності $I_c(U_{вс})$ для n-канального польового МДН транзистора 2N7000.

В симуляторі LTSpice була складена наступна схема:



Варіюючи напругу $U_{зв}$ (джерело V1) в діапазоні від 1.7 до 2.1 В з кроком 0.1 В та варіюючи напругу $U_{вс}$ (джерело V2) в діапазоні від 0 до 5 В з кроком 0.05 В, були визначені залежності $I_c(U_{вс})$ для різних значень напруг на затворі, і одержано сімейство вихідних статичних характеристик транзистора:



Одержані графіки відповідають очікуванням.

Тепер необхідно перевірити, що для всіх кривих зупинка росту струму стоку (насичення) настає за умови $U_{вс} > U_{зв} - U_{п}$.

Uзв, В	Uзв – Uп, В	~ Uзв – Uп, В	Uвс нас, В
1,7	0,108	0,100	0,1
1,8	0,208	0,200	0,2046
1,9	0,308	0,300	0,294
2	0,408	0,400	0,385
2,1	0,508	0,500	0,45

В даній таблиці – Uвс нас – це значення напруги виток-сток, при якій досягаємо насичення, з графіку.

(Uзв – Uп) – очікувані значення, при яких має настати насичення.

~(Uзв – Uп) – це значення, які були отримані при використанні в розрахунках дещо іншого значення порогової напруги, отримане при розрахунках з меншою точністю – обмежившись одним знаком після коми для значень Uзв при визначенні порогової напруги:

Ic1, А	0,004004
Uзв1, В	1,8

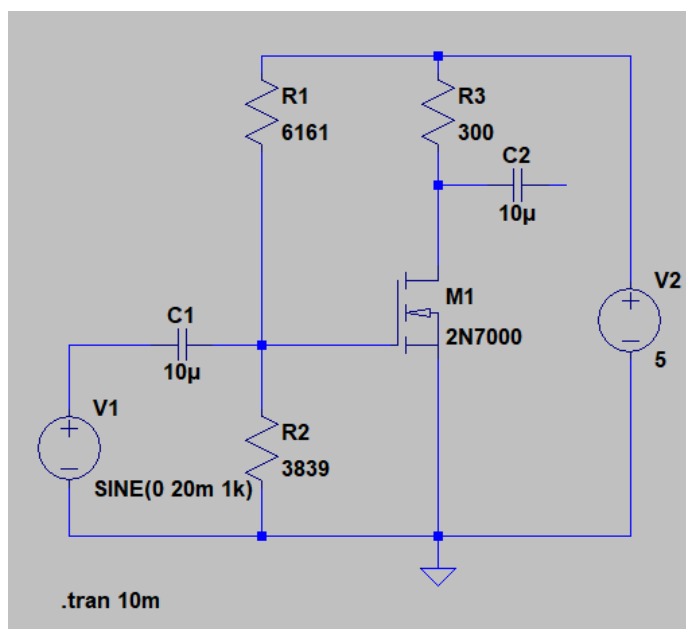
Ic2, А	0,016007
Uзв2, В	2

Uп, В	1,600
b	0,200088

Загалом, як видно з таблиці, маємо деякі відмінності між очікуваннями, та отриманими значеннями напруги Uвс, при якій настає насичення. При цьому дещо кращі результати маємо при використанні менш точного значення порогової напруги.

3. Дослідження підсилювача з загальним витоком на польовому МДН транзисторі 2N7000.

В симуляторі LTSpice була зібрана наступна схема:



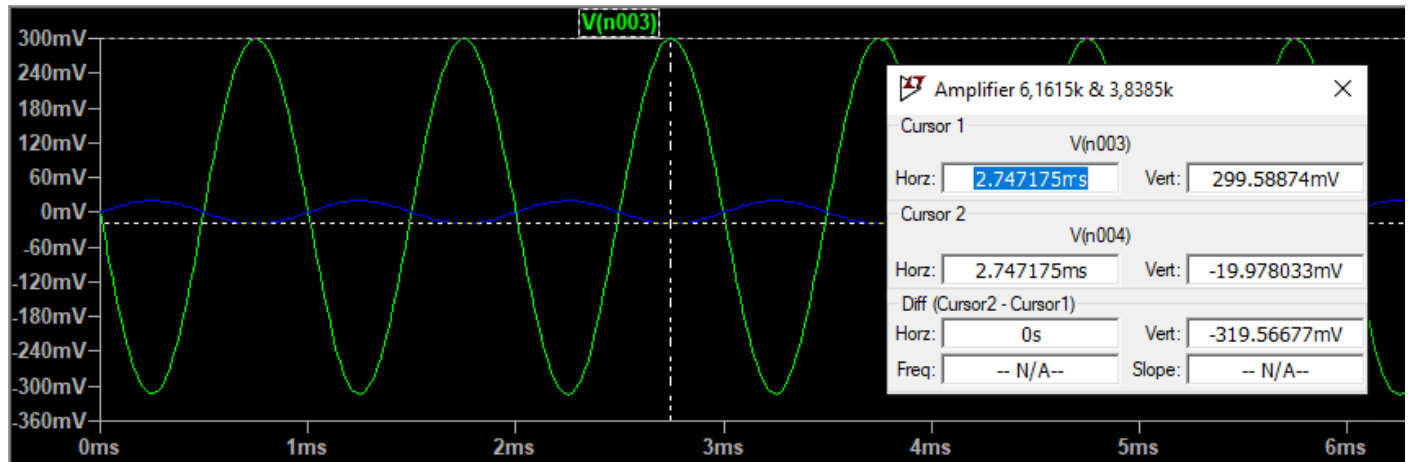
Номінали використаних компонентів:

R1, Ом	6161
R2, Ом	3839
Rc, Ом	300
C1, Ф	0,00001
C2, Ф	0,00001

Отримані значення робочої точки спокою – значення $U_{зв}$, $U_{вс}$ та I_c при відсутності вхідного сигналу:

$U_{зв0}$, В	1,9195
$U_{вс0}$, В	2,4978
I_{c0} , А	0,00834

Задаємо параметри джерела V1: синусоїдальна напруга амплітудою 20 мВ та частотою 1 КГц.
Вигляд вхідного (синій колір) та вихідного (зелений колір) сигналу:



Визначаємо коефіцієнт підсилення за напругою, як відношення амплітуди гармонічного сигналу на виході до амплітуди гармонічного сигналу на вході:

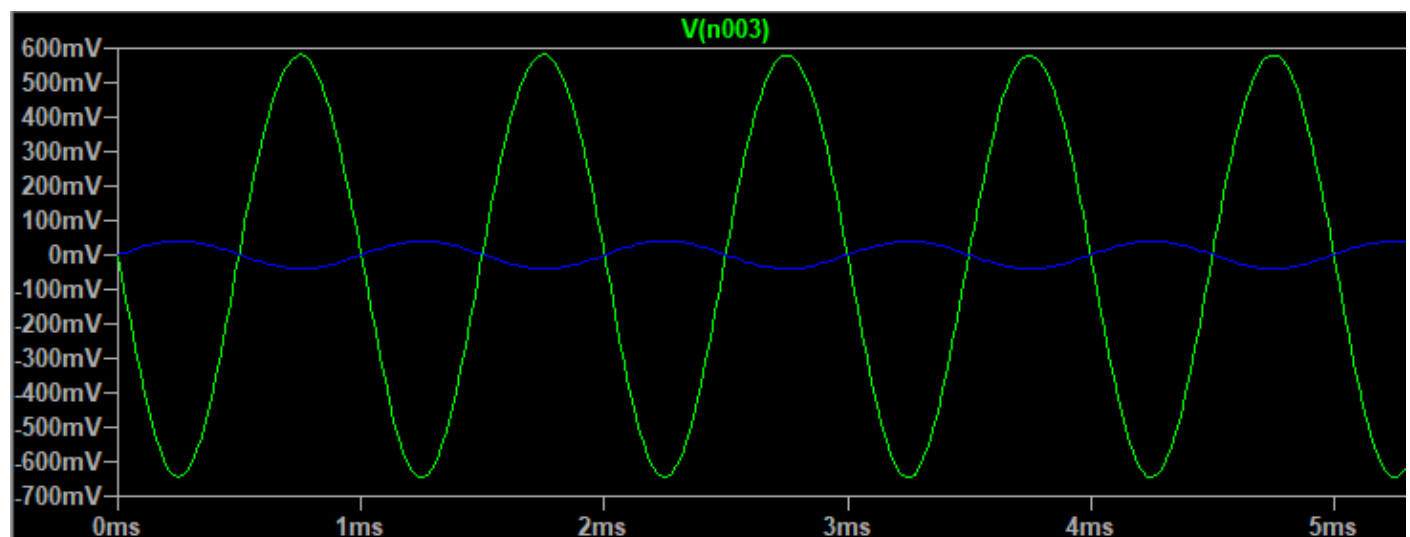
(в таблицю записані не ті значення, які на знімку вище)

$U_{вхт}$, мВ	-19,972
$U_{вихт}$, мВ	299,68
K_u	-15,005

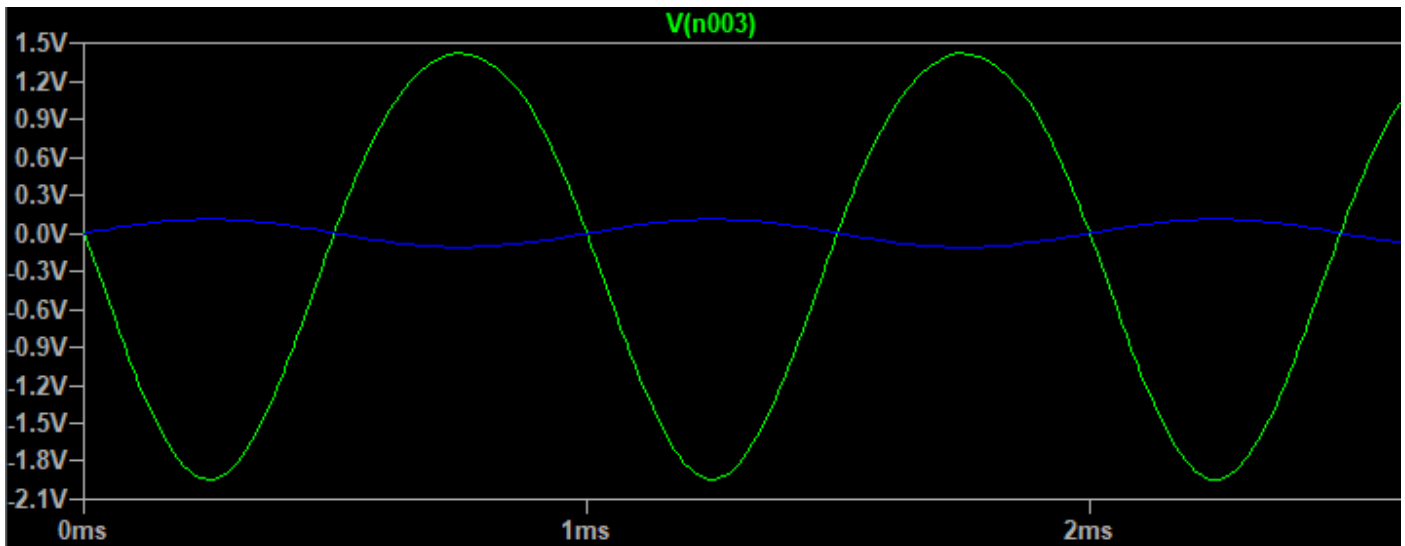
Як бачимо, схема дійсно зсуває фазу на 180° , що відповідає очікуванням.

Шукаємо значення амплітуди вхідного сигналу, при якій починається спотворення форми вихідного сигналу на виході (форма вихідного сигналу починає відрізнятися від синусоїдальної).

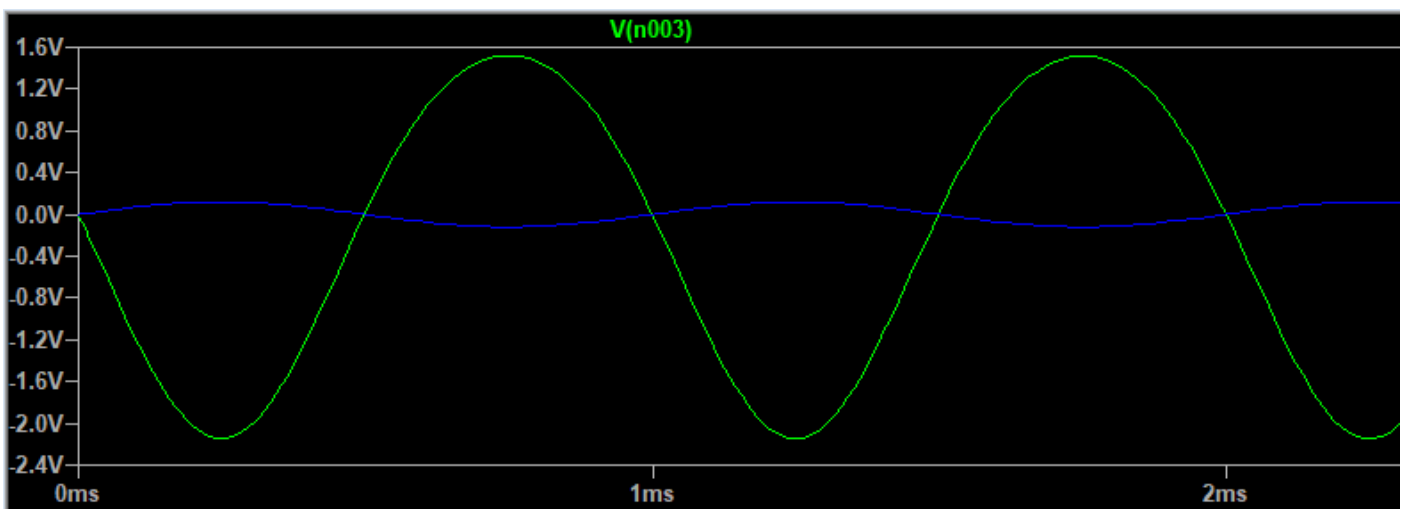
$U_{вх} = 40$ мВ



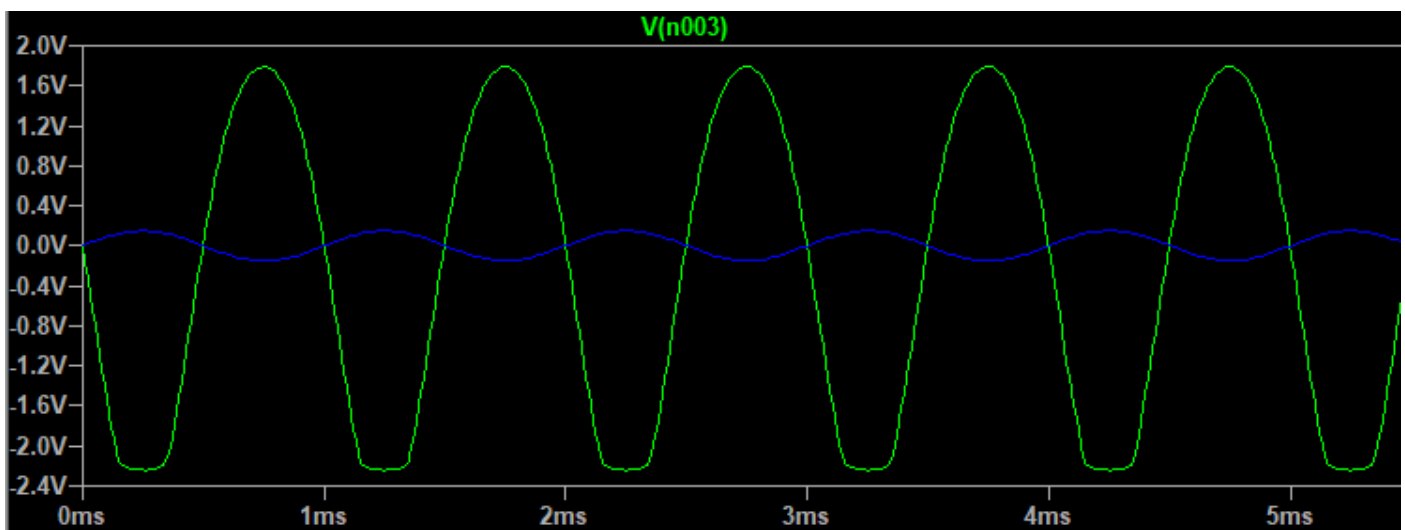
Спотворення стають помітними при напрузі 110 мВ на вході:



Більш виражені при 120 мВ на вході:



І зовсім добре видно при 150 мВ на вході:



Визначаємо передаточну провідність g_m транзистора для обраної робочої точки спокою:

Збільшуємо напругу між затвором і витоком на $\Delta U_{зв}$ шляхом збільшення опору резистору R_2 , знаходимо нове значення струму стоку $I_{c1}(U_{зв0} + \Delta U_{зв})$, розраховуємо $\Delta I_c = I_{c1} - I_{c0}$, знаходимо передаточну провідність за формулою $g_m = \Delta I_c / \Delta U_{зв}$.

Передаточну провідність також можна розрахувати за формулою $g_m = b \cdot (U_{зв0} - U_{п})$.

Маємо наступні результати:

було	U_{зв0}, В	1,9195
стало	U_{зв0}, В	1,935
	ΔU_{зв}, В	0,0155

було	I_{c0}, А	0,00834
стало	I_{c0}, А	0,00915
	ΔI_c, А	0,00081

g_m	0,052258
g_m	0,050867

$$g_m = \Delta I_c / \Delta U_{зв}$$

$$g_m = b \cdot (U_{зв0} - U_{п})$$

Розраховуємо теоретичний коефіцієнт підсилення за напругою даної схеми за формулою $K_U = u_{вих} / u_{вх} = -R_3 \cdot g_m$:

K_u	-15,6774
K_u	-15,2602
K_u	-15,005

$$K_u = -R_3 \cdot \Delta I_c / \Delta U_{зв}$$

$$K_u = -R_3 \cdot b \cdot (U_{зв0} - U_{п})$$

експериментально ($U_{вихт} / U_{вхт}$)

Як бачимо, отримали дуже близькі результати.

Збираємо аналогічну схему підсилювача на практиці. Використані номінали компонентів:

R1, Ом	6050
R2, Ом	3600
R_c, Ом	300
C1, Ф	0,00001
C2, Ф	0,00001

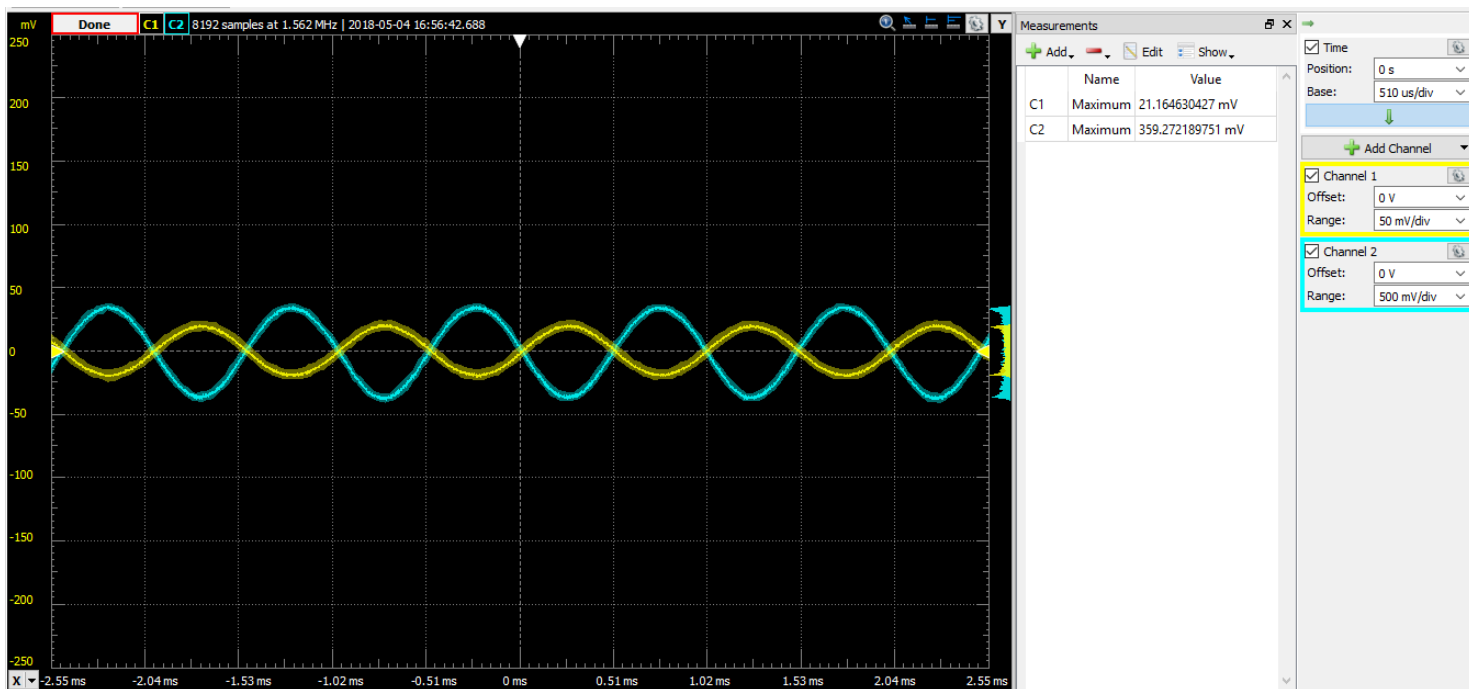
Отримуємо наступні параметри робочої точки спокою, при відсутності вхідного сигналу:

Практичні значення:	
U_{зв0}, В	1,87
U_{вс0}, В	2,5
U_{rc0}, В	2,5
I_{c0}, А	0,0083
	0,0083

теоретично
практично

Подаємо на вхід з генератора Analog Discovery 2 синусоїдальну напругу амплітудою 20 мВ та частотою 1 КГц.

Отримуємо наступний вигляд сигналів на вході (жовтий колір) та на виході (синій колір):



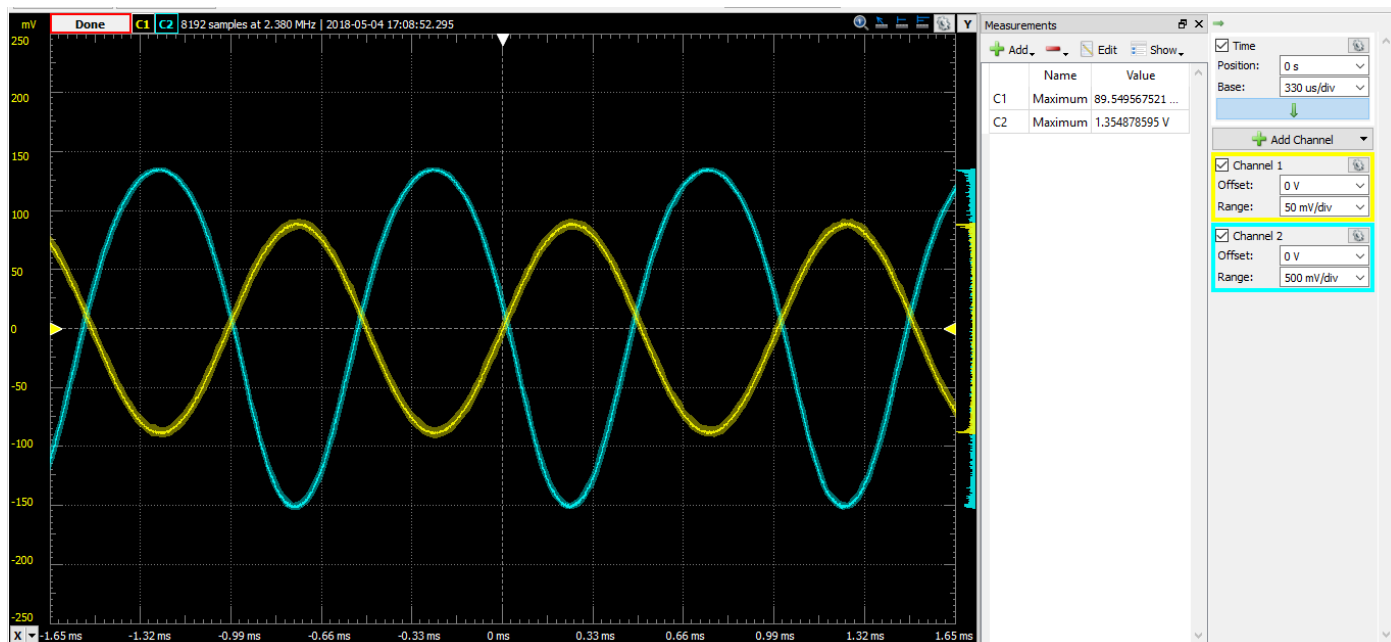
Визначаємо коефіцієнт підсилення за напругою, як відношення амплітуди гармонічного сигналу на виході до амплітуди гармонічного сигналу на вході:

(в таблицю занесено значення $U_{вихт}$ не те, яке на знімку вище)

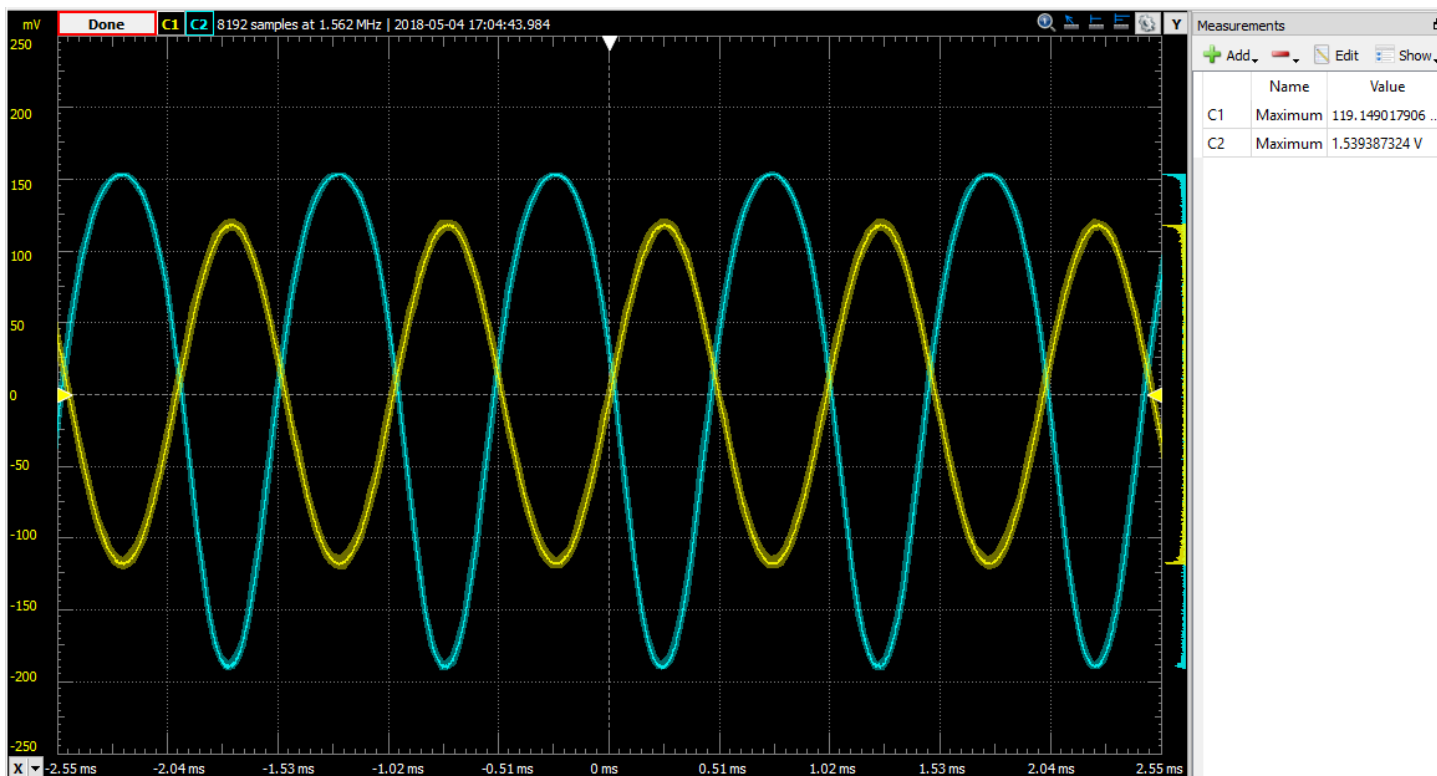
Увихт, мВ	364,7
Uвхт, мВ	-21,16

Ku	-17,24
----	--------

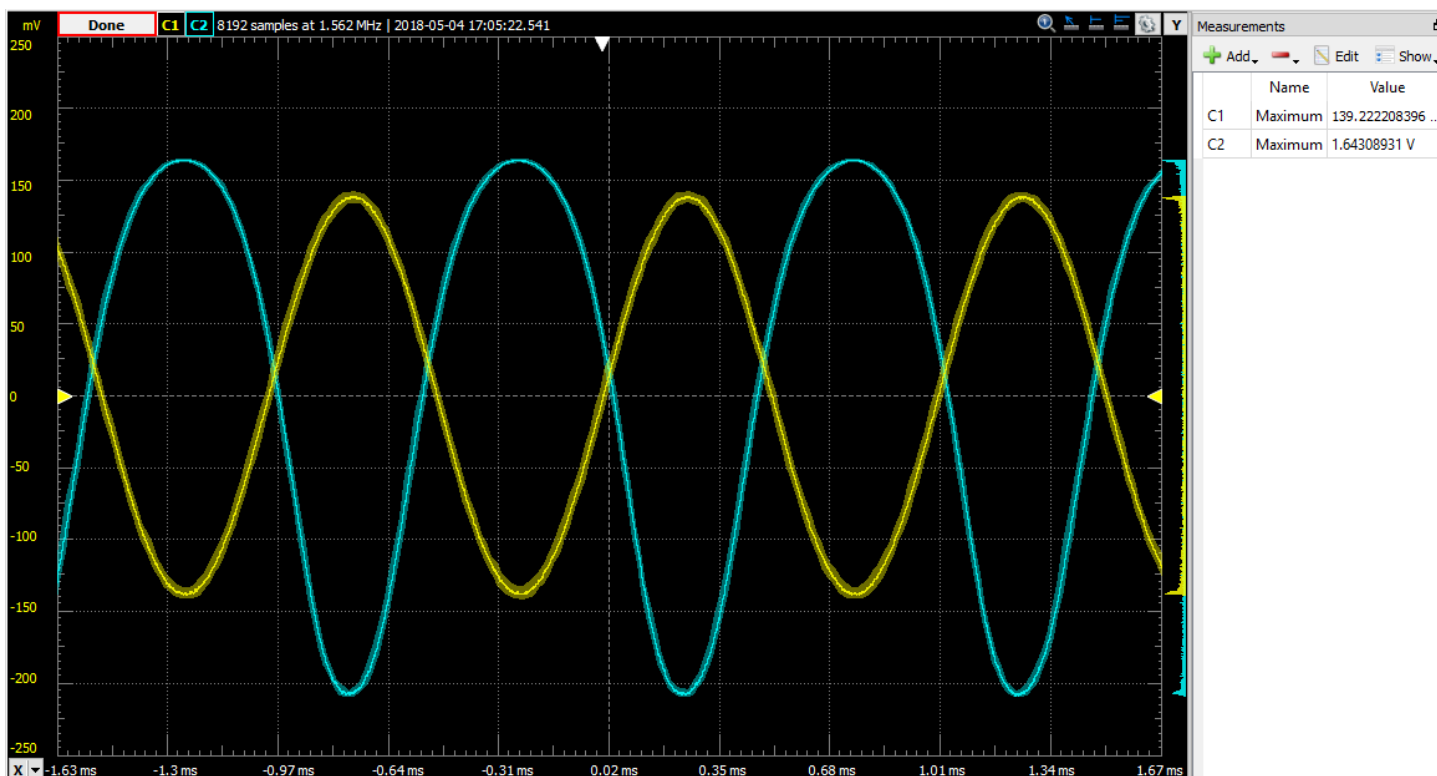
Спотворення стає видно при амплітуді вхідного сигналу 90 мВ:



При 120 мВ:



При 140 мВ, дуже добре видно спотворення:



Визначаємо g_m для обраної точки спокою, збільшуючи напругу між затвором і витком на $\Delta U_{зв}$ шляхом збільшення опору резистору R2. Знаходимо нове значення струму стоку $I_{c1}(U_{зв0} + \Delta U_{зв})$. Розраховуємо $\Delta I_c = I_{c1} - I_{c0}$. Знаходимо передаточну провідність за формулою $g_m = \Delta I_c / \Delta U_{зв}$.

було	$U_{зв0}, \text{В}$	1,87
стало	$U_{зв0}, \text{В}$	2

$\Delta U_{зв}, \text{В}$	0,13
---------------------------	------

було	$I_{c0}, \text{А}$	0,0083
стало	$I_{c0}, \text{А}$	0,0155

$\Delta I_c, \text{А}$	0,0072
------------------------	--------

gm	0,055
----	-------

$$gm = \Delta I_c / \Delta U_{зв}$$

Розраховуємо теоретичний коефіцієнт підсилення за напругою даної схеми за формулою $K_U = u_{вих} / u_{вх} = -R_3 \cdot g_m$.

Ku	-16,54
Ku	-17,24

$$K_u = -R_3 \cdot \Delta I_c / \Delta U_{зв}$$

експериментально

Отримуємо наступну похибку експериментально отриманого значення, відносно теоретичного:

δ, %	4,21
------	------

$$\text{відносно } K_u = -R_3 \cdot \Delta I_c / \Delta U_{зв}$$

Загалом, значення K_u отримані досить точні, похибка незначна.

Висновки:

Виконуючи дану лабораторну роботу, ми дослідили польові транзистори. В симуляції та на практиці була отримана залежність $I_c(U_{зв})$, розраховані значення порогової напруги та коефіцієнту b , в симуляторі отримали вихідну статичну характеристику польового транзистора, що характеризує залежність струму стоку від напруги між витоком та стоком та напруги між затвором та витоком. Також був досліджений підсилювач на польовому транзисторі, були визначені його передаточна провідність g_m та коефіцієнт передачі за напругою K_u , визначені значення амплітуди вхідного сигналу, при якій починаються спотворення.

Загалом, похибка між отриманими значеннями є незначною, окрім дослідження U_p в першому завданні, де похибка між симуляцією та реальними вимірюваннями пояснюється неідеальністю використаної на практиці моделі, та, відповідно, її відмінністю від моделі, яка наявна в симуляторі.