

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ І СПОРТУ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

КАФЕДРА КОНСТРУЮВАННЯ КЕОА

ЗВІТ

з лабораторної роботи №3

по курсу «Аналогова електроніка»

на тему

«Дослідження польового МДН транзистора з індукованим n-каналом»

Виконав:

студент гр. ДК-61

Шваюк М.В.

Перевірив:

доцент

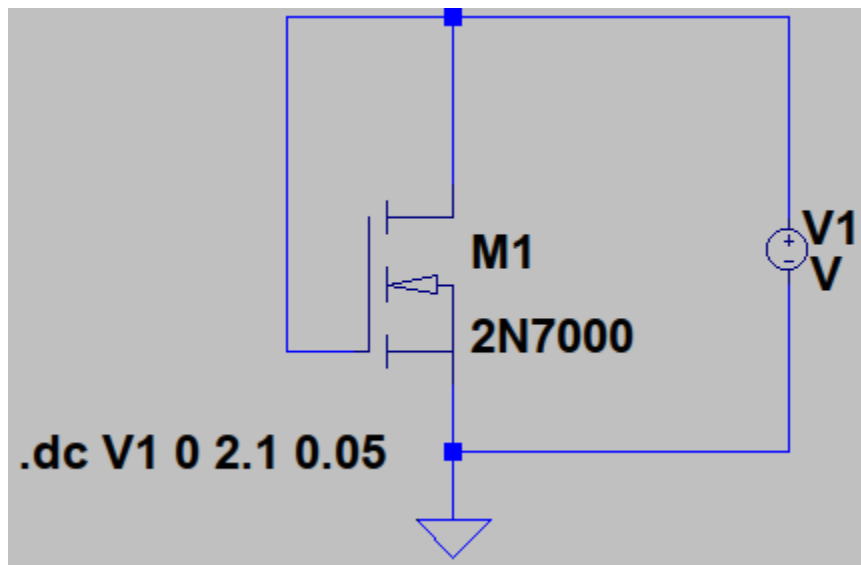
Короткий Є. В.

Завдання 1

Дослідження залежності I_c (U зв) для n-канального польового МДН транзистора 2N7000

Моделювання в LTSpice:

Схема:



Отриманий внаслідок симуляції графік залежності I_c (U зв):



Таблиця залежності $I_c(U_{зв})$:

$U_{зв}, V$	$I_{вс}, mA$
0,20	0
1,00	0
1,60	0
1,70	0,84
1,80	3,30
1,84	5,08
1,90	7,37
1,95	9,97
2,00	12,94
2,05	16,30
2,10	20,00

Horz:	200mV	Vert:	239.88748fA
Horz:	1V	Vert:	1.0396446pA
Horz:	1.6V	Vert:	1.641544pA
Horz:	1.7V	Vert:	839.33229μA
Horz:	1.8V	Vert:	3.3159687mA
Horz:	1.8483333V	Vert:	5.088502mA
Horz:	1.9V	Vert:	7.3706699mA
Horz:	1.95V	Vert:	9.9722436mA
Horz:	2V	Vert:	12.947684mA
Horz:	2.05V	Vert:	16.290519mA
Horz:	2.1V	Vert:	19.994467mA

Тепер визначимо U_n та коефіцієнт b :

① $I_{c_1} = 5,08 \mu A$
 $U_{зв_1} = 1,84 B$

② $I_{c_2} = 4 \cdot I_{c_1} = 20 \mu A$
 $U_{c_2} = 2,1 B$

③ Визначимо U_n з формули:

$$U_n = 2 \cdot U_{зв_1} - U_{зв_2}$$

$$U_n = 2 \cdot 1,84 - 2,1 = 1,58 B$$

④ Визначимо коефіцієнт b :

$$I_c = \frac{b}{2} (U_{зв} - U_n)^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow b = 2 \cdot \left(\frac{I_c}{(U_{зв} - U_n)^2} \right)$$

для $I_c = 5,08 \text{ мА}$; $U_{зв} = 1,84 \text{ В}$, маємо:

$$b = 2 \cdot \left(\frac{5,08 \cdot 10^{-3}}{(1,84 - 1,58)^2} \right) = 150 \cdot 10^{-3} = 0,15$$

Отож, маємо такі результати:

Коеф. $b = 0,150$

$U_n = 1,58 \text{ В}$

Отож, апроксимуюча формула матиме вигляд:

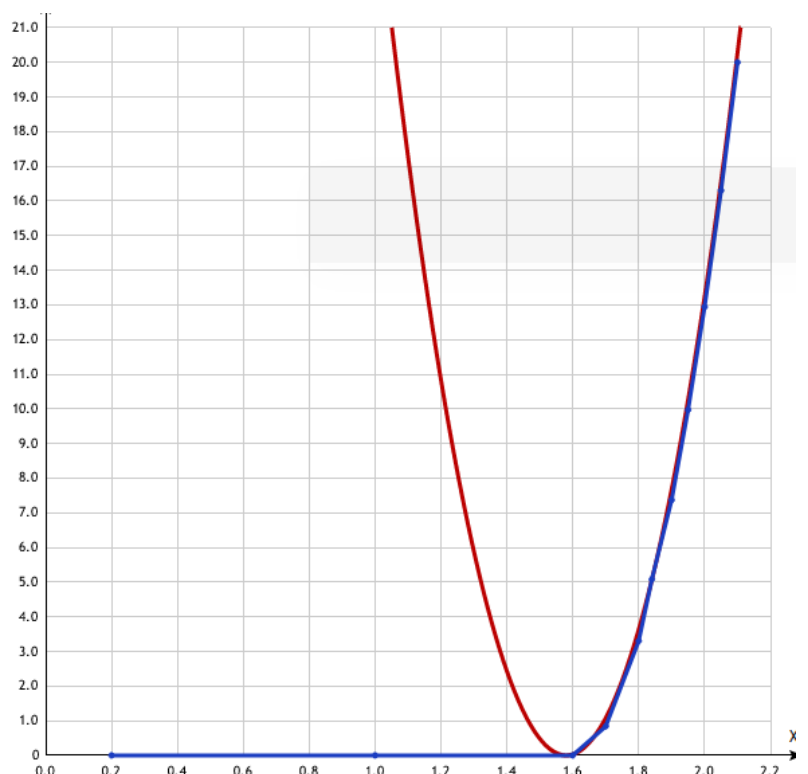
$I_c = 0,075 \cdot (U_{зв} - 1,58)^2$

Як ми бачимо з графіку,

Формула ідеально

Апроксимує поведінку

Транзистора при $U_{зв} > U_n$



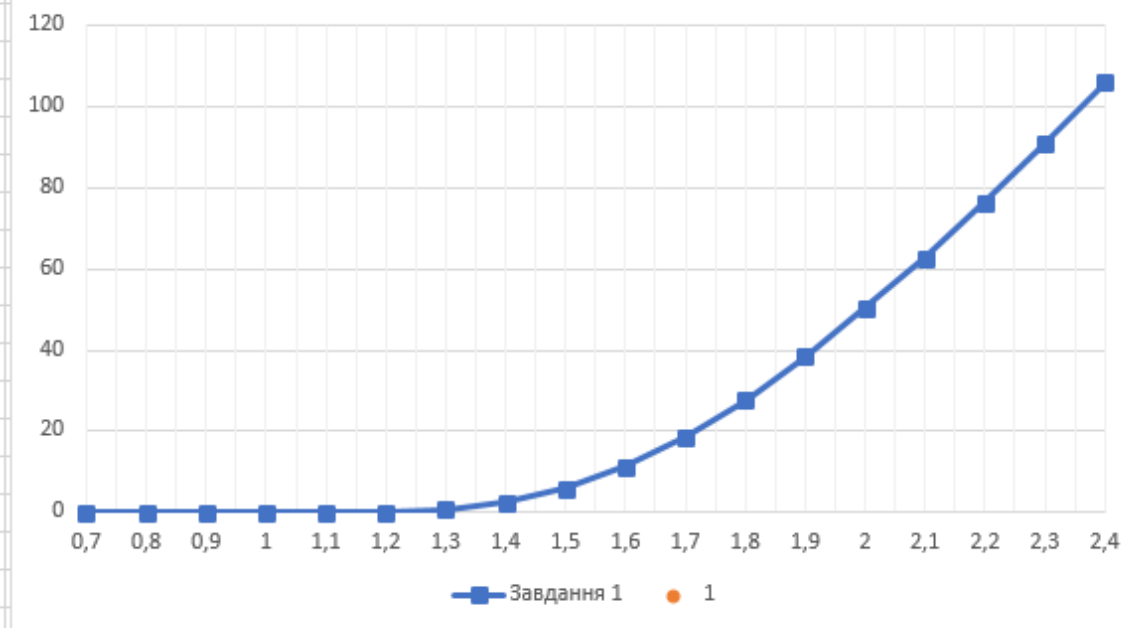
А ось таблиця, де я порівняв значення, отримані у результаті моделювання та за апроксимуючою формулою:

<u>Uзв, V</u>	<u>Iвс, mA, модель</u>	<u>Iвс, mA за формулою</u>
0,20	0,00	142,8
1,00	0,00	25,2
1,60	0,00	0,0
1,70	0,84	1,1
1,80	3,30	3,6
1,90	7,37	7,7
1,95	9,97	10,3
2,00	12,94	13,2
2,05	16,30	16,6
2,10	20,00	20,3

Як можете бачити, дані вийшли доволі точні, як для такої примітивної моделі (до напруги **Uп** формула не працює).

Дослідження реальної схеми:

Завдання 1	
Напруга	Струм
В	mA
0,5	0
0,6	0
0,7	0,00002
0,8	0,00015
0,9	0,00079
1	0,00312
1,1	0,00789
1,2	0,01450
1,3	0,70000
1,4	2,30000
1,5	5,80000
1,6	11,10000
1,7	18,50000
1,8	27,60000
1,9	38,50000
2	50,40000
2,1	62,70000
2,2	76,40000
2,3	91,10000
2,4	106,10000



	mA	U
Розрахунок Uпорогового	3	1,424
	12	1,61
	1,238	
b	0,1734305	

Вийшли такі результати:

$b = 0.1734$ (похибка у порівнянні із симуляцією: **15.6%**)

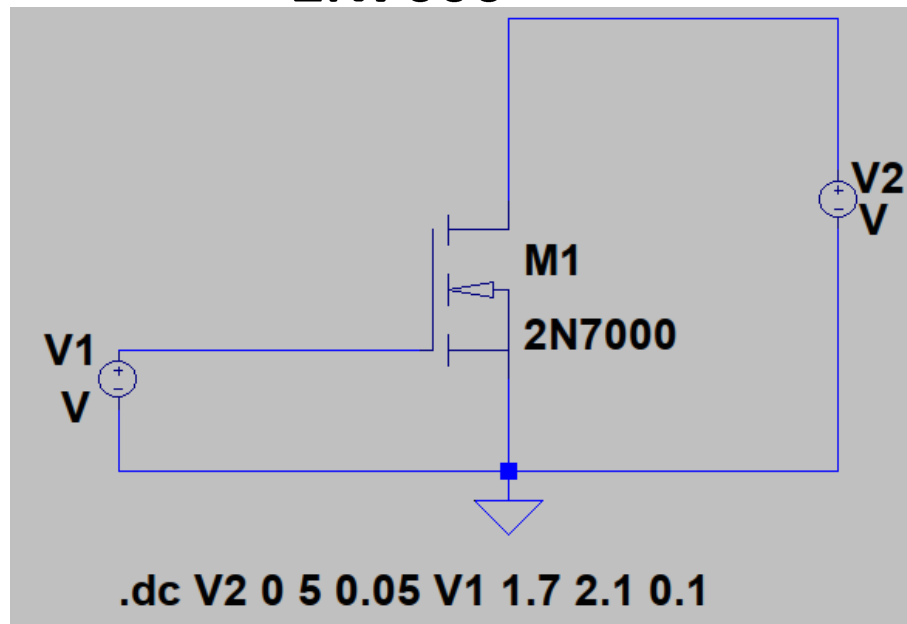
$U_{\text{порог}} = 1.238 \text{ В}$ (похибка у порівнянні із симуляцією: **21%**)

Похибки задовільні, бо модель у LTSpice не ідеально точна і ці транзистори мають дуже великий допуск.

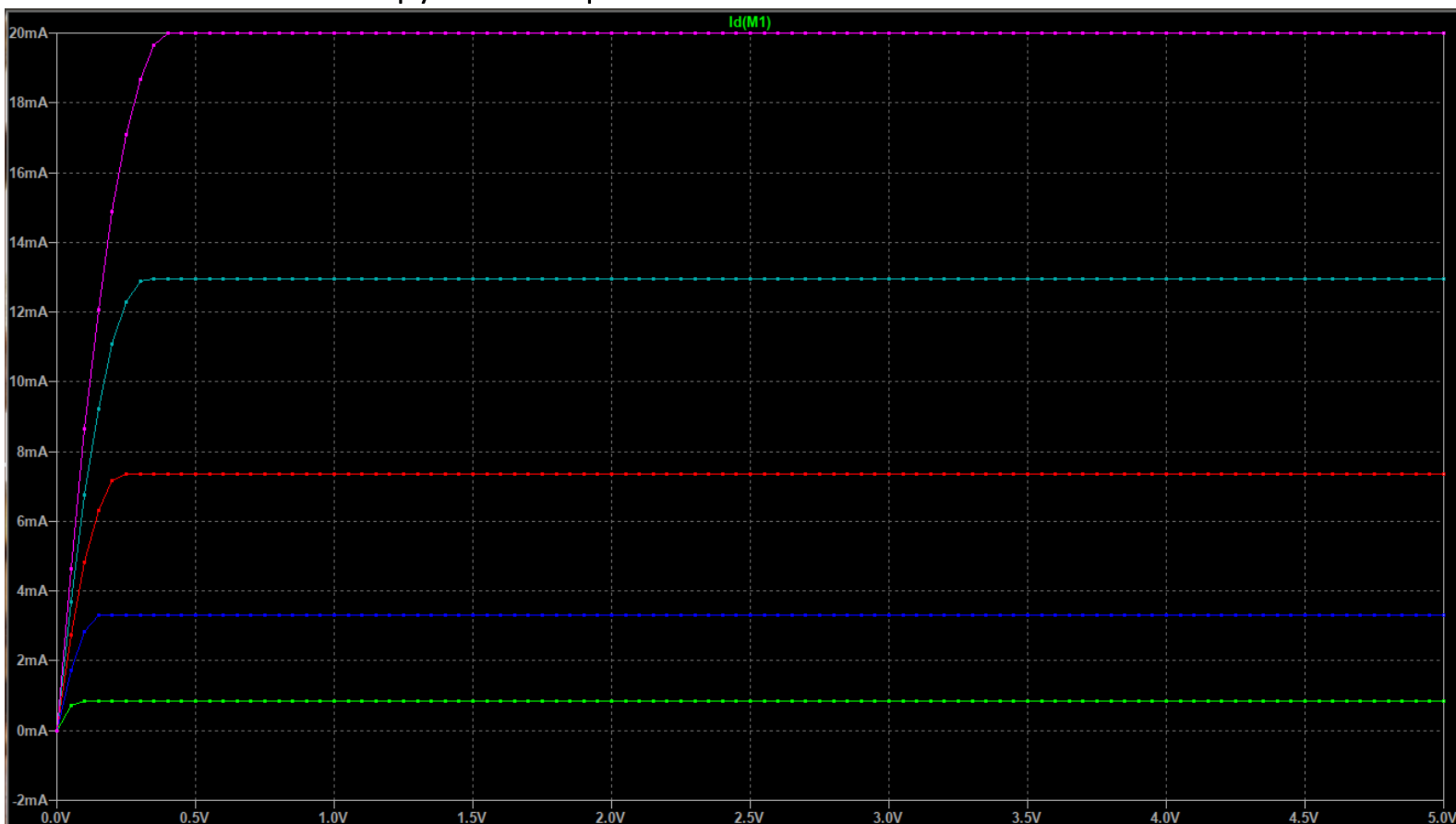
Завдання 2

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

Схема:



Отриманий внаслідок симуляції графік залежності $I_c(U_{gs})$ для різних значень напруг на затворі :



Дослідження факту зупинки росту I_c (досягнення струму насичення) коли $U_{вс} > U_{зв} - U_{п}$:

$$U_{п} = 1.58 \text{ V}$$

1. $U_{зв} = 1,7 \text{ В.}$

Насичення досягнуто при $U_{вс} = 0,1 \text{ В} < 1,7 \text{ В} - 1,58 \text{ В} = 0,12 \text{ В}$

2. $U_{зв} = 1,8 \text{ В.}$

Насичення досягнуто при $U_{вс} = 0,20 \text{ В} < 1,8 \text{ В} - 1,58 \text{ В} = 0,22 \text{ В}$

3. $U_{зв} = 1,9 \text{ В.}$

Насичення досягнуто при $U_{вс} = 0,30 \text{ В} < 1,9 \text{ В} - 1,58 \text{ В} = 0,32 \text{ В}$

4. $U_{зв} = 2,0 \text{ В.}$

Насичення досягнуто при $U_{вс} = 0,40 \text{ В} < 2,0 \text{ В} - 1,58 \text{ В} = 0,42 \text{ В}$

5. $U_{зв} = 2,1 \text{ В.}$

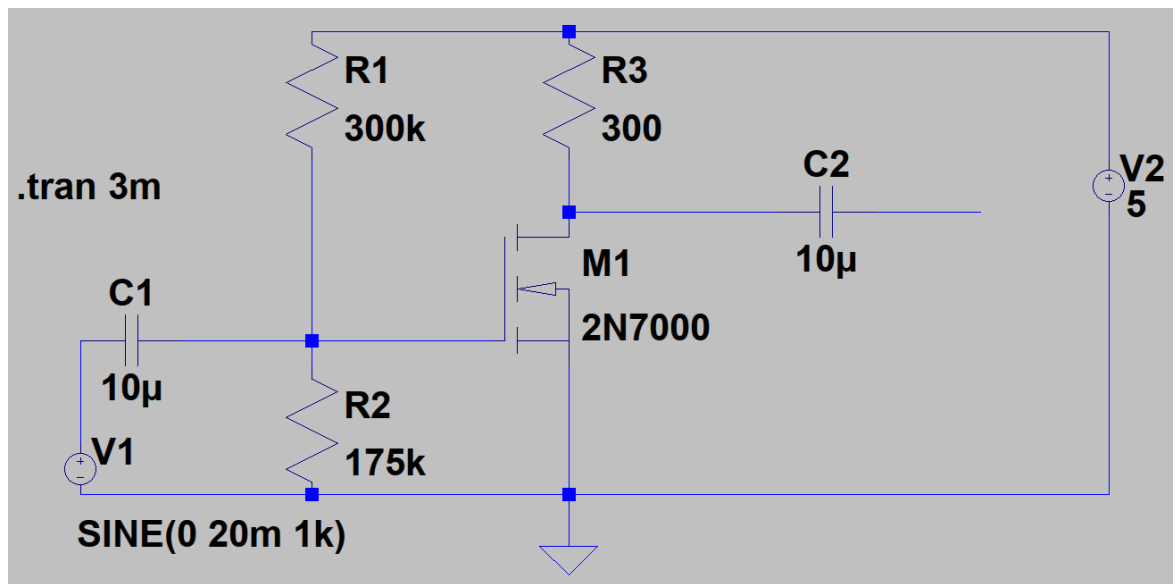
Насичення досягнуто при $U_{вс} = 0,50 \text{ В} < 2,1 \text{ В} - 1,58 \text{ В} = 0,52 \text{ В}$

Висновок: Отримані результати підтверджують факт досягнення струму насичення при умові $U_{вс} > U_{зв} - U_{п}$. Отрималася невелика похибка через можливі похибки у моделі LTSpice та не абсолютно точне значення $U_{п}$, отримане під час минулого етапу лабораторної.

Завдання 3

Дослідження підсилювача з загальним витоком на польовому МДН транзисторі 2N7000

Схема:



$R1 = 300 \text{ k}\Omega$ $R2 = 175 \text{ k}\Omega$ $R3 = 0.3 \text{ k}\Omega$

$C1 = C2 = 10 \text{ }\mu\text{F}$

$V2 = \text{DC } 5 \text{ V}$ $V1 = \sin \text{ амплітуда } = 20 \text{ mV}$ частота = 1 kHz

Моделювання:

1. З відключеним генератором V1

$$U_{зв0} = 1.84 \text{ V}$$

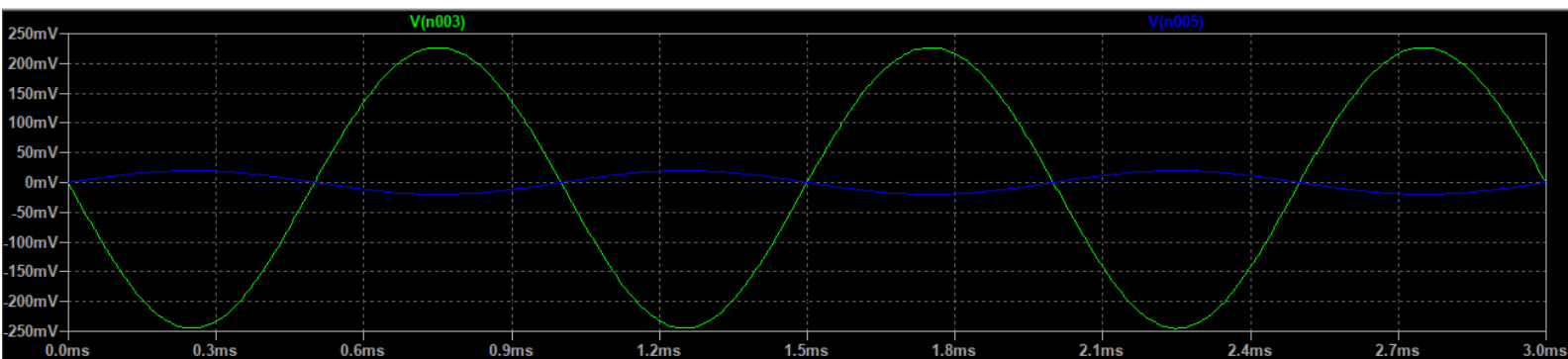
$$U_{вс0} = 3.55 \text{ V}$$

$$I_{с0} = 4.83 \text{ mA}$$

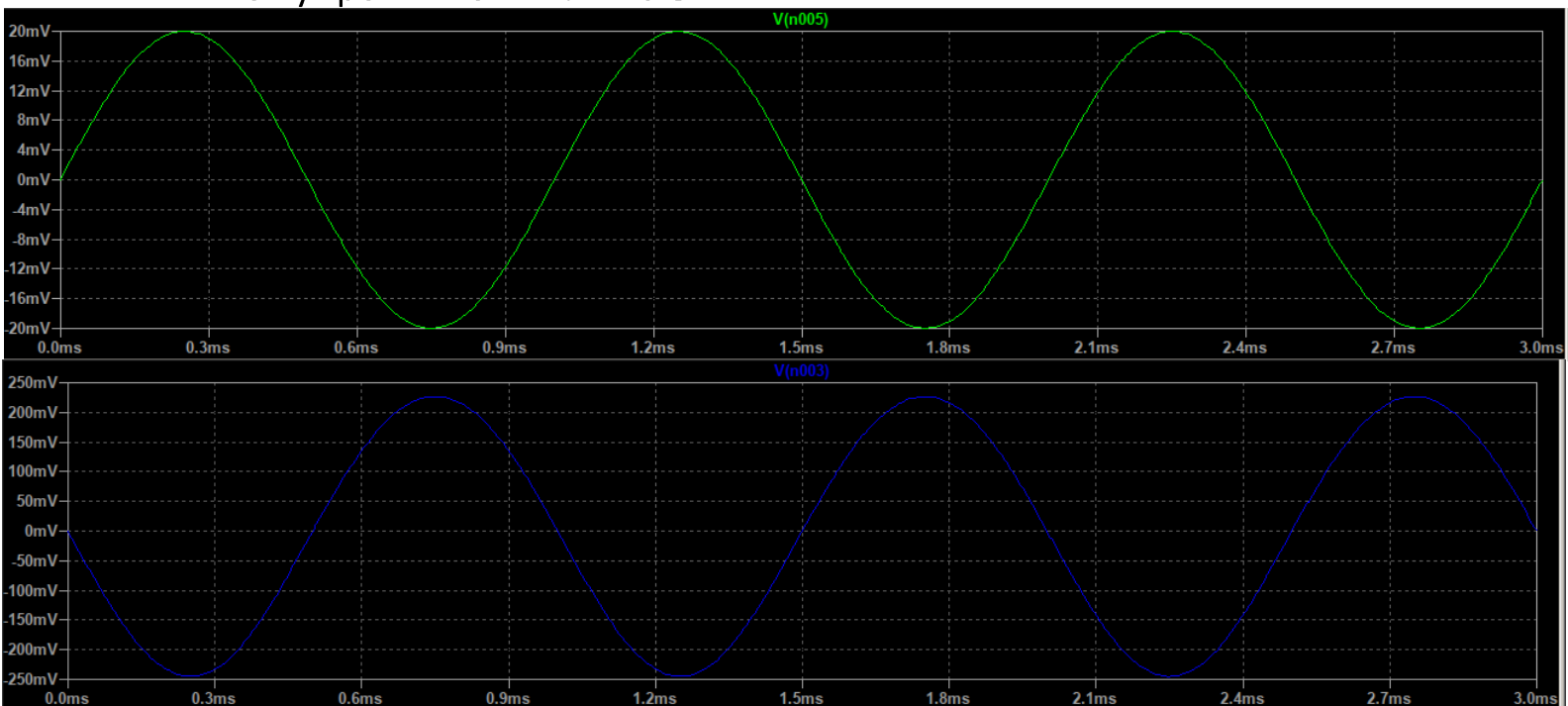
Це параметри робочої точки спокою підсилювача, які визначають його коефіцієнт підсилення.

2. Підключили $V1 = \sin$ амплітуда = 20 mV частота = 1 kHz

Через велику різницю між амплітудами сигналів, у реальному масштабі нічого не видно:



Тому проявимо кмітливість:



Зверху – сигнал на **вході** підсилювача (зелений)

Знизу – сигнал на **виході** підсилювача (синій)

Як бачите, сигнали знаходяться в протифазі, а отже зсув за фазою = 180°

Тепер визначимо K_u :

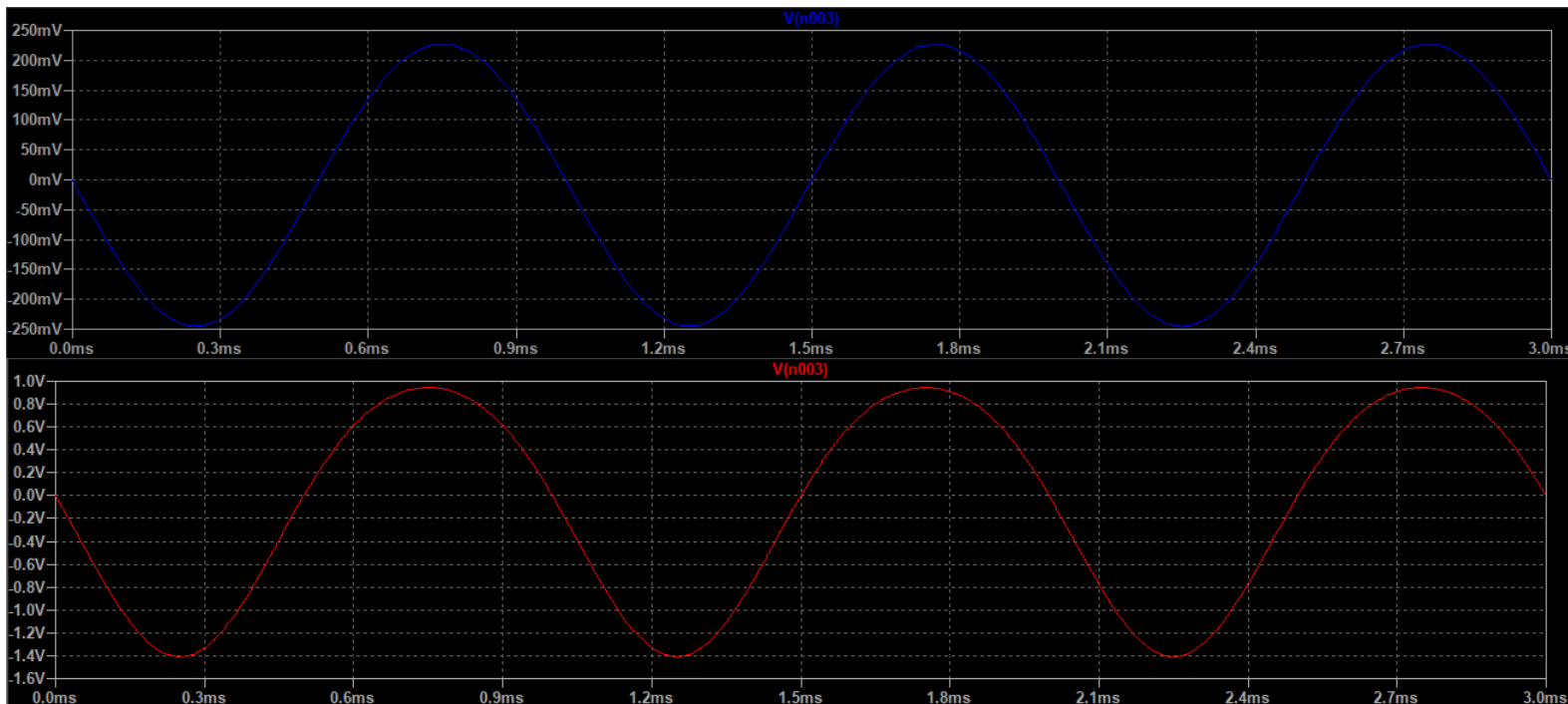
$$K_u = U_{out} / U_{in} = 0.226 / 0.02 = 11.3$$

3. Пошук спотворень:

Вже за напруги генератора $V_1 = 100 \text{ mV}$ починають з'являтися помітні нелінійні спотворення вихідного сигналу (вони виражаються у вигляді «зрізання» та заокруглення верхівки синусоїди:

Синій, верхній – вихід при $V_1 = 20 \text{ mV}$, без спотворень

Червоний, нижній – вихід при $V_1 = 100 \text{ mV}$, де помітні спотворення



4. Визначення передаточної провідності транзистора

Збільшимо опір R_2 з 175 до 185 кОм, на 10 кОм

Зміна $U_{зв}$:

$$U_{зв_0} \text{ при } (R_2 = 175 \text{ кОм}) = 1,86 \text{ В}$$
$$U_{зв_1} \text{ при } (R_2 = 185 \text{ кОм}) = 1,92 \text{ В}$$

Зміна I_c :

$$I_{c_0} \text{ при } (R_2 = 175 \text{ кОм}) = 5,65 \text{ мА}$$
$$I_{c_1} \text{ при } (R_2 = 185 \text{ кОм}) = 8,74 \text{ мА}$$

Обчислення дельт $\Delta U_{зв}$ та ΔI_c :

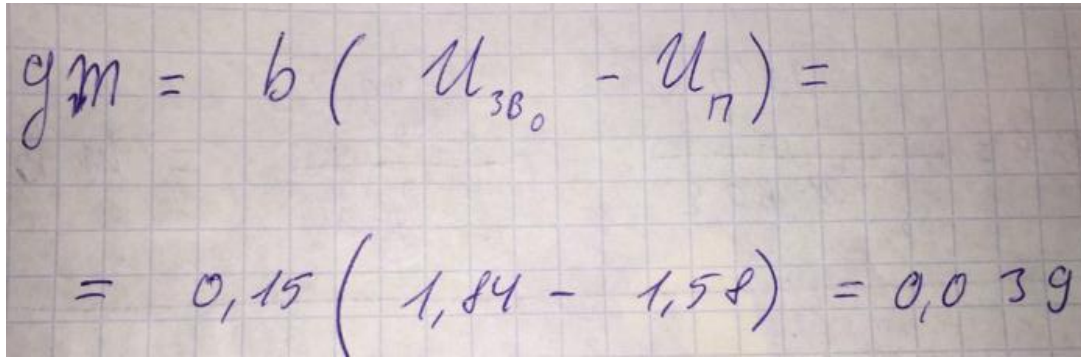
$$\Delta U_{зв} = 1,92 - 1,86 = 0,06 \text{ В}$$
$$\Delta I_c = 8,74 - 5,65 = 3,09 \text{ мА}$$

Тепер розрахуємо передаточну провідність двома різними формулами:

- Спочатку на основі даних отриманих шляхом **моделювання**:

$$g_m = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зв}} = \frac{3,09 \cdot 10^{-3}}{0,06} = 51,5 \cdot 10^{-3} = 0,052$$

- Потім на основі **теоретичних даних**:



Handwritten calculation of g_m on grid paper:

$$g_m = b (U_{зв_0} - U_n) =$$
$$= 0,15 (1,84 - 1,58) = 0,039$$

Отримані значення відрізняються на **25 %**. Похибка знаходиться у допустимих межах. Причина такої похибки – неточність моделі на похибки, при обчисленні **U_n** та коефіцієнта **b** .

5. Розрахунок теоретичного K_u

$$K_U = \frac{U_{ВНХ}}{U_{ВХ}} = -R_3 \cdot g_m$$

$$R_3 = 0.3 \text{ k}\Omega = 300 \text{ }\Omega$$

Порахуємо його з двома отриманими значеннями **g_m** :

- **g_m моделювання** ($g_m = 0.052$) :

$$\underline{K_u = -R_3 * g_m = -300 * 0.052 = -15.6}$$

- **g_m теоретичний** ($g_m = 0.039$) :

$$\underline{K_u = -R_3 * g_m = -300 * 0.039 = -11.7}$$

Отримані значення відрізняються на **25%**, так само, як **g_m** .

При чому при застосуванні **g_m теоретичного** точність вийшла дуже висока (похибка в порівнянні із розрахованим раніше **$K_u = 3.5 \%$**).

Дослідження реальної схеми:

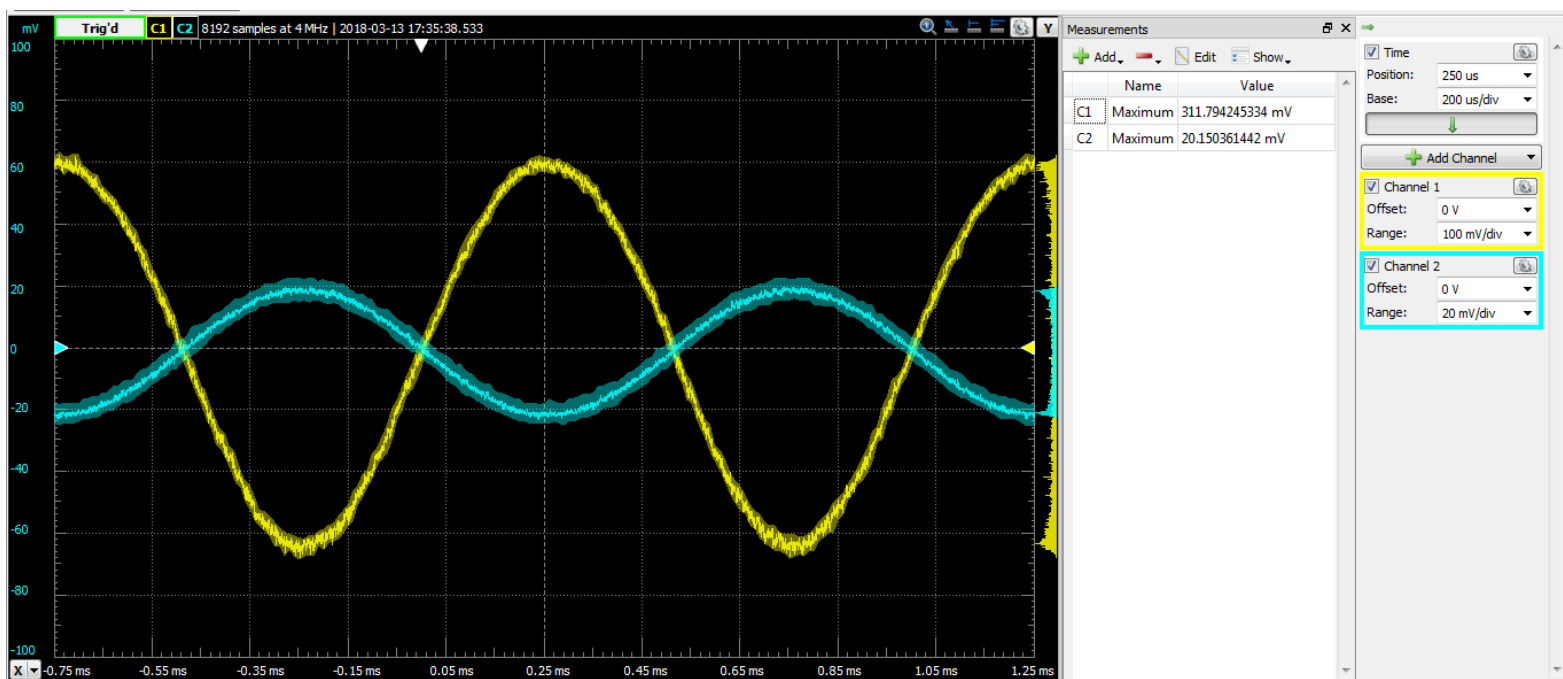
3.2 Спочатку знайшли значення робочої точки:

раб точка		
Істока	3,2	mA
U _{вс}	3,2	V
U _{зв}	1,3	V

3.3 Потім порахували $Ku_{\text{експериментальне}} = 311/20 = 15.55$

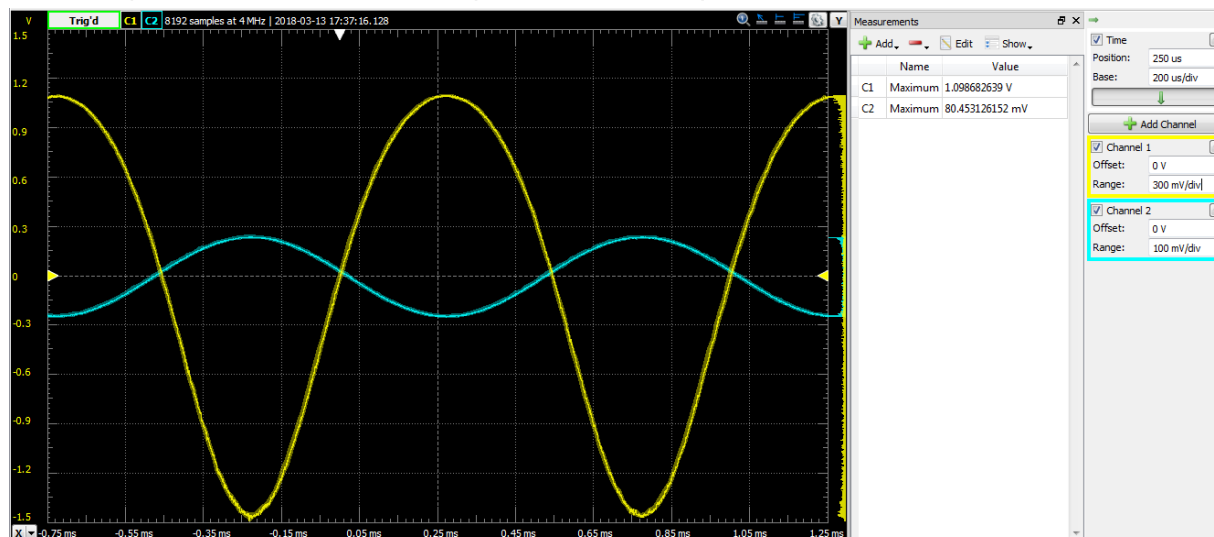
Реальний результат майже не відрізняється від теоретичного,
похибка = 0.3%

Блакитне – вхід, жовте - вихід

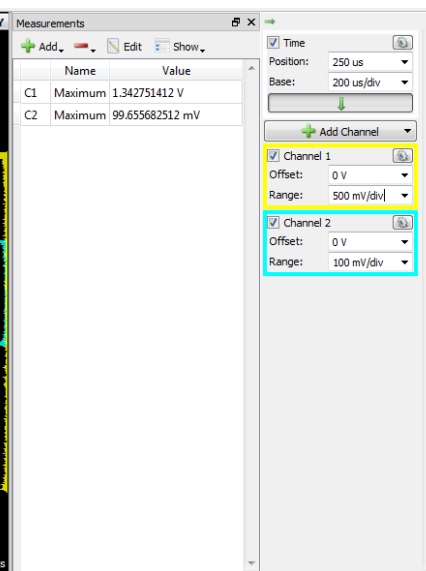
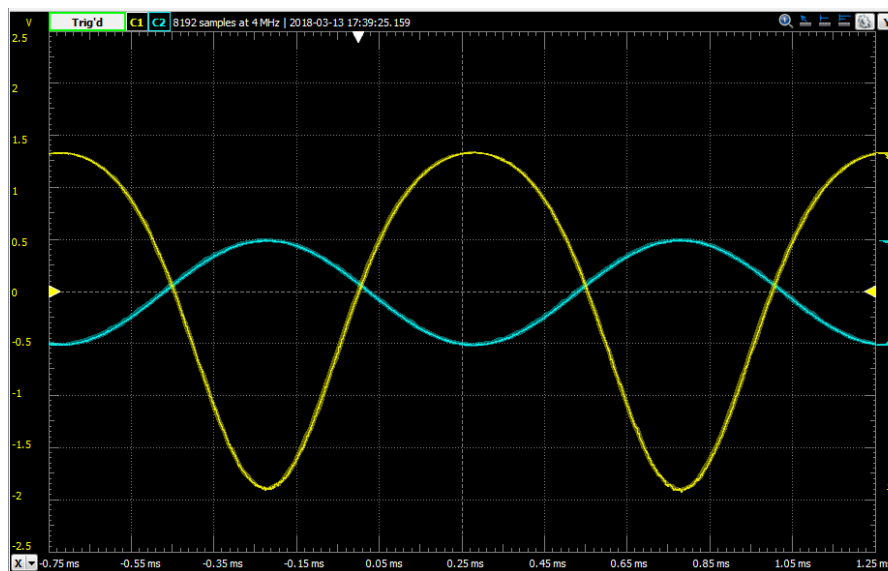


3.4 Потім були знайдені спотворення сигналу:

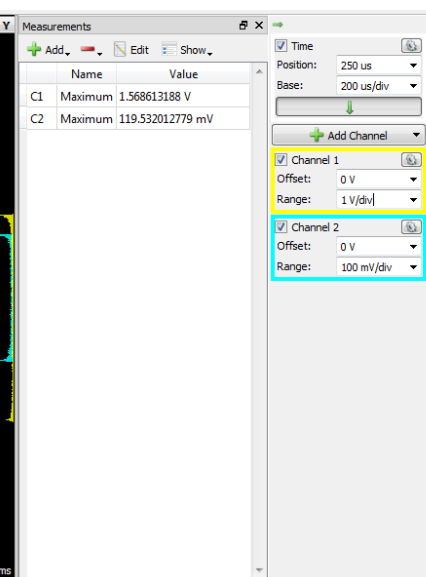
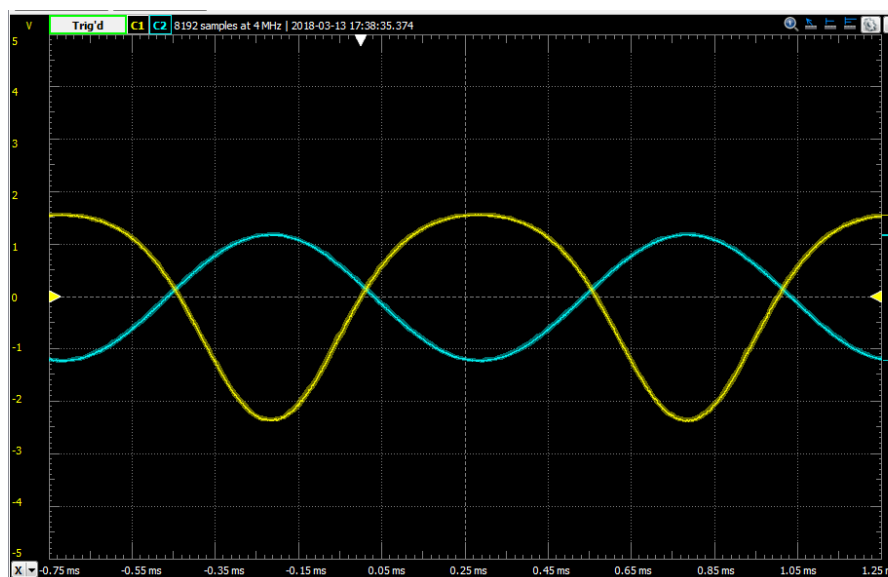
Початок спотворень
при 80мВ



спотворення
при 100мВ



Дуже сильні
спотворення
при 120мВ



3.5 Розрахували ***Ku*** та ***gm*** за формулою:

задание 3.5			
Істоку	0,0009 A	0,0021 A	
Uзв	1,32 V	1,39 V	
gm	0,017143		
kU	8,571429		

Отримані значення:

Ku = 8.57 (похибка з реальним = 45%, що свідчить про неточність формули)

gm = 0.017 (похибка з теоретичним = 56%)