

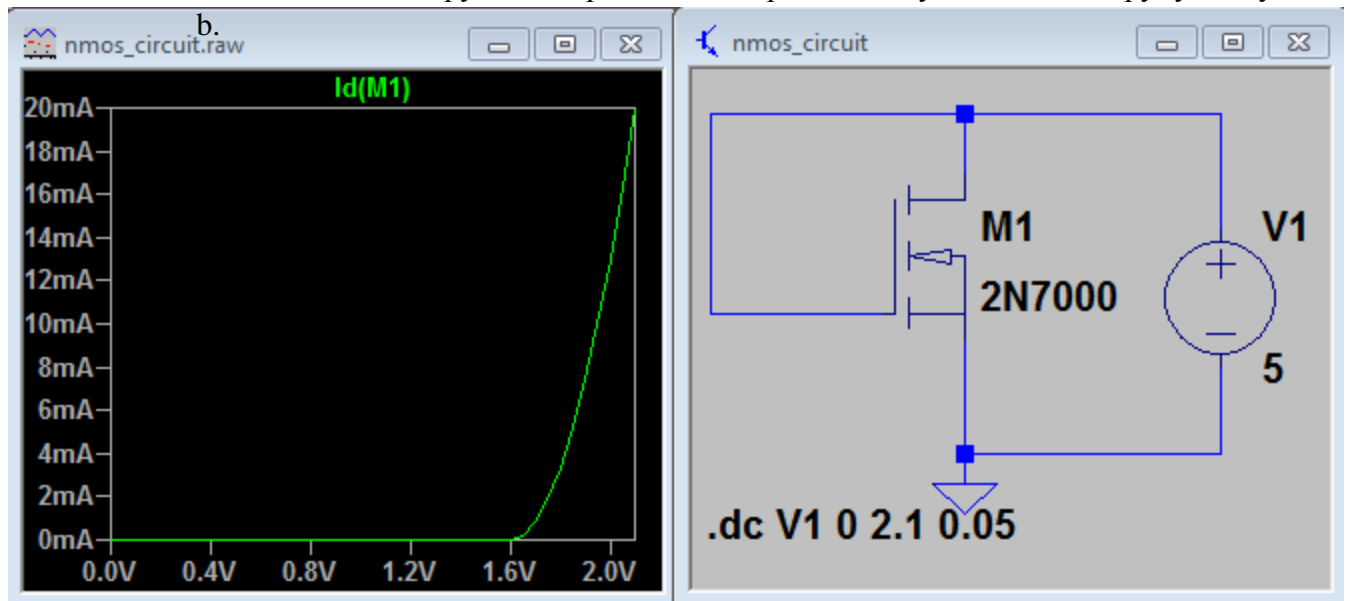
Міністерство освіти і науки України  
Національний технічний університет України  
«Київський Політехнічний Інститут імені Ігоря Сікорського»  
Кафедра конструювання електронно-обчислювальної апаратури

Звіт  
З виконання лабораторної роботи №3  
з дисципліни “Аналогова електроніка - 1”

Виконав:  
студент групи ДК-61  
Гловацький Д.Ю.

Перевірив:  
доц. Короткий Є В.

1. Дослідження залежності  $I_c(U_{зв})$  для n-канального польового МДН транзистора 2N7000
  - а. Було проведено симуляцію роботи моделі польового МДН транзистора 2N7000 в режимі лінійного підвищення напруги затвор-виток та отримано таку залежність струму стоку:



Для розрахунку порогової напруги оберемо струм стоку 6 мА, який протікає при напрузі на затворі 1.869В.

Струм, що в 4 рази більший за нього, тобто, 24 мА, протікає при напрузі стоку 2.149В.

Тоді порогова напруга буде дорівнювати:

$$U_{\pi} = 2U_{зв1} - U_{зв2}$$

$$U_{\pi} = 2 * 1.869 - 2.149 = 1.589\text{В},$$

що цілком відповідає графіку залежності.

Якщо підставити отриману порогову напругу в формулу  $I_c = \frac{b}{2}(U_{зв} - U_{\pi})^2$ , то можна отримати:

$$b = \frac{2 * I_c}{(U_{зв} - U_{\pi})^2}$$

$$b = \frac{2 * 24 * 10^{-3}}{(2.149 - 1.589)^2} = 153,06 * 10^{-3}$$

Uзв, V	Ic, A	Uп, V	b
1,869	0,006	1,589	0,15306
2,149	0,024		

Таблиця 1. Розраховані параметри транзистора в LTSpice.

Таку ж залежність було знято на реальному транзисторі за допомогою Analog Discovery 2

У стовбці «перевірка» розраховано значення струму, що відповідає  $I_c = \frac{b}{2}(U_{зв} - U_{п})^2$  при умові  $U_{зв} \geq U_{п}$ , адже до цього значення транзистор закритий Отримали такі результати:

		Spice				Waveform		
		Виміри	Перевірка	Похибка, %		Виміри	Перевірка	Похибка, %
№	U <sub>зв</sub> , V	I, A				I, A		
1	0,20	0,000000	0,000000	—		0,000000	0,000000	—
2	0,40	0,000000	0,000000	—		0,000000	0,000000	—
3	0,60	0,000000	0,000000	—		0,000000	0,000000	—
4	0,80	0,000000	0,000000	—		0,000000	0,000000	—
5	1,00	0,000000	0,000000	—		0,000004	0,000000	—
6	1,20	0,000000	0,000000	—		0,000016	0,000000	—
7	1,40	0,000000	0,000000	—		0,000955	0,002297	140,48
8	1,60	0,000005	0,000009	78,32		0,012900	0,013519	4,80
9	1,80	0,003309	0,003407	2,97		0,031800	0,034085	7,18
10	2,00	0,013050	0,012928	0,94		0,059500	0,063993	7,55
11	2,20	0,028461	0,028570	0,38				

Таблиця 2. Порівняння отриманих значень з теоретичними.

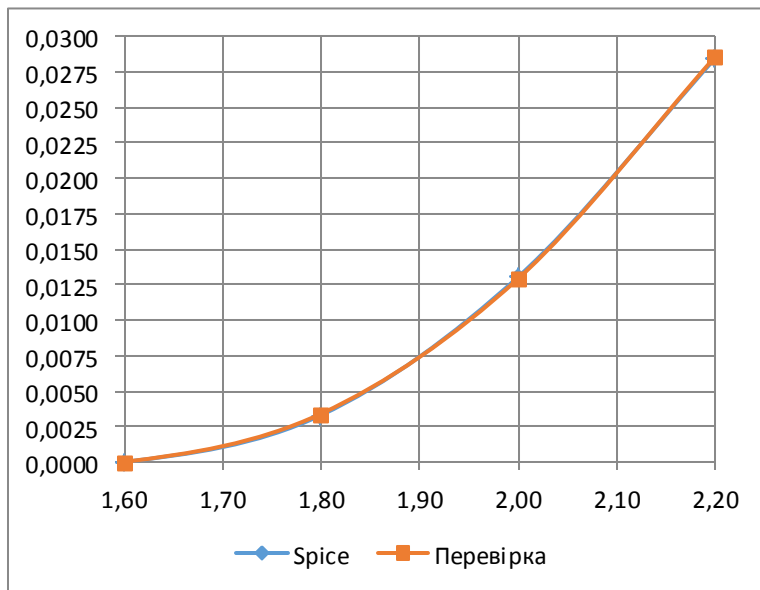


Рис 1. Залежності I(U<sub>г</sub>) для симуляції транзистора.

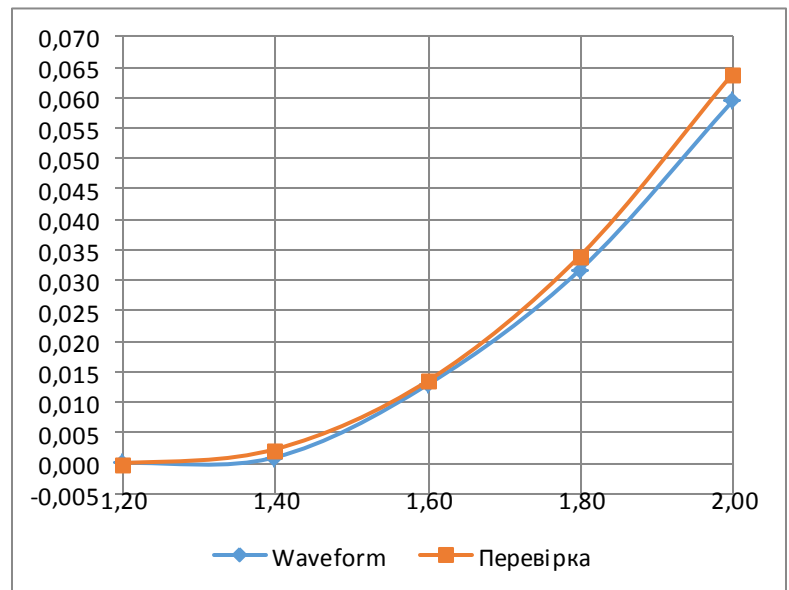


Рис 2. Залежності I(U<sub>г</sub>) для реального транзистора.

З залежності видно, що істотний струм стоку починає протікати при напрузі 1,2÷1,6В, а характеристика є квадратичною функцією, що відповідає очікуванням. Похибку в визначенні порогової напруги може бути викликана технологічними особливостями виготовлення польових транзисторів.

$U_{зв}, V$	$I_c, A$	$U_{п}, V$	$b$
1,48643	0,006	1,260	0,23358
1,71309	0,024		

Таблиця 3. Розраховані параметри реального транзистора.

Отримали величину одного порядку, тому модель можна вважати вірною. Відхилення можна пояснити так само: технологічні процеси у деяких транзисторів дають відхилення передавальної провідності до 5 разів.

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

- Було проведено симуляцію схеми підсилювача з загальним витоком з наступними параметрами компонентів:

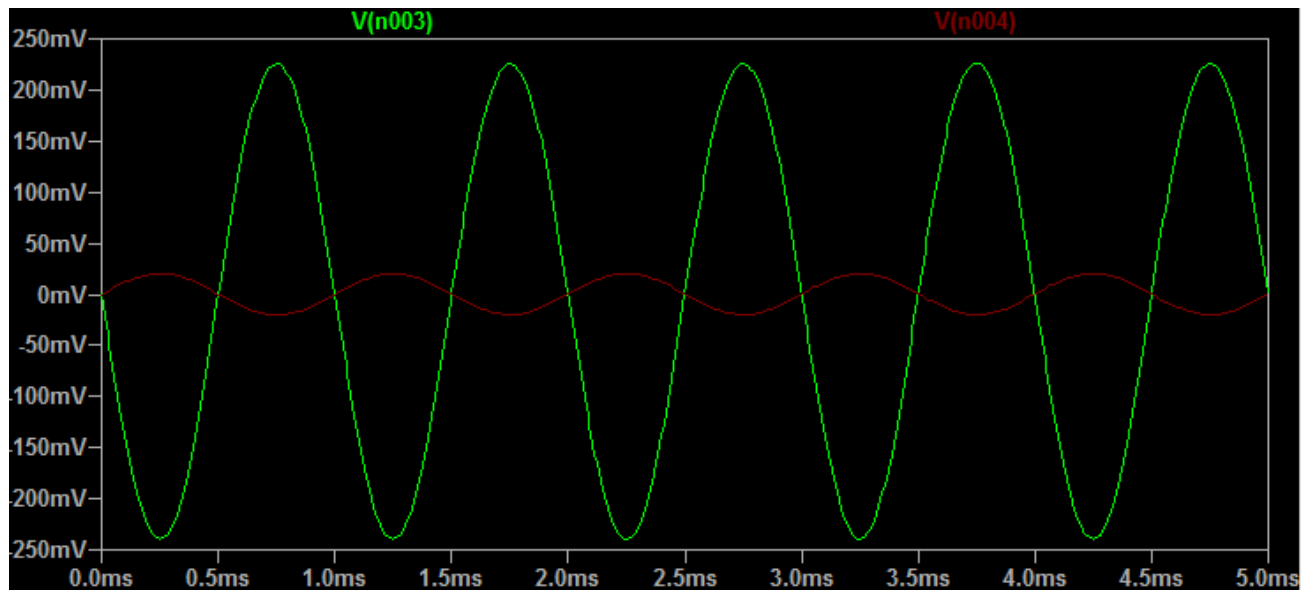
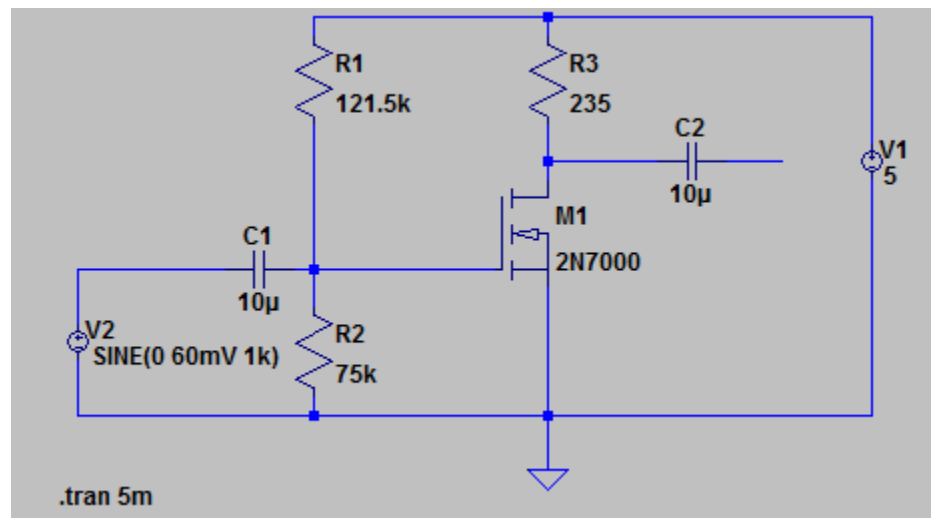
$R1 = 121.5 \text{ кОм}$

$R2 = 75 \text{ кОм}$

$R3 = 235 \text{ Ом}$

$C1 = C2 = 10 \text{ мкФ}$

На виході підсилювача при синусоїдальному вхідному сигналі амплітудою 20 мВ нелінійних спотворень не відбувається, що свідчить про коректний підбір робочої точки.



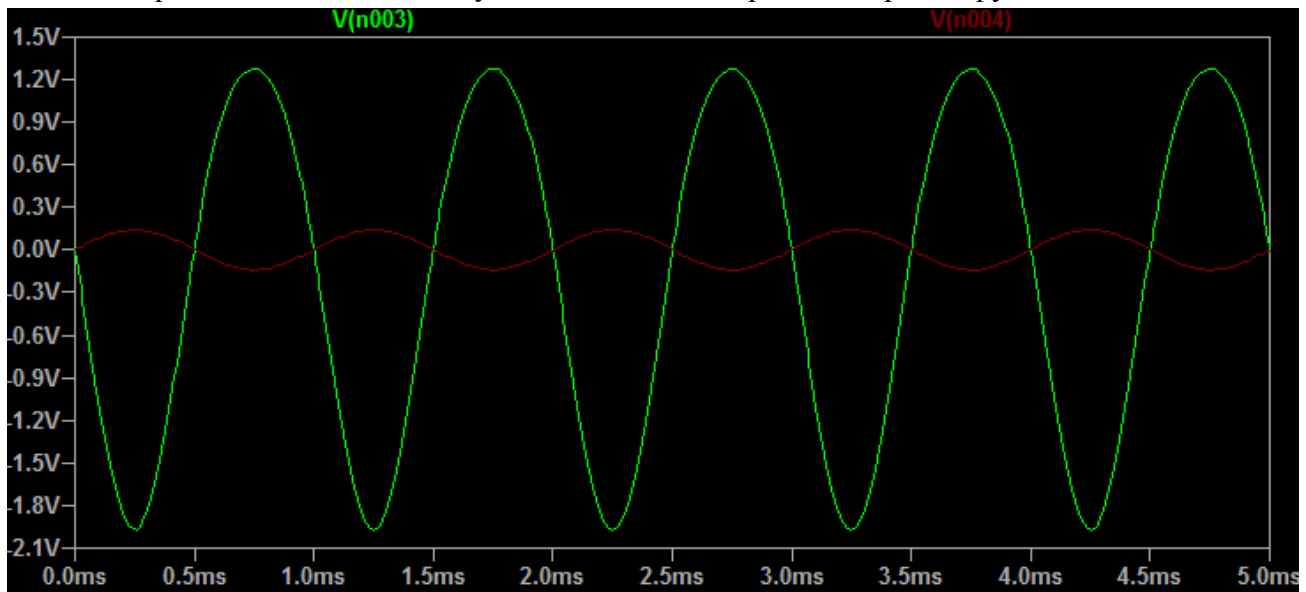
Параметри робочої точки спокою:

$U_{зв0} = 1,91V$

$U_{вс0} = 3,17V$

$I_{c0} = 7,78mA$

Спостворення вихідного сигналу починають спостерігатись при напрузі  $U_{зв} = 140\text{mV}$ :



Після збільшення  $R_2 = 81\text{k}\Omega$ .

$$U_{зв1} = 2\text{V}$$

$$I_{c1} = 12,95\text{mA}$$

Можемо порахувати передаточну провідність:

$$g_m = \frac{\Delta I_c}{\Delta U_{зв}} \quad (1 \text{ варіант}) \quad g = \frac{(12,95 - 7,78)\text{mA}}{(2 - 1,91)\text{V}} = 56,2\text{mS}$$

$$g_m = b \cdot (U_{зв0} - U_{П}) \quad (2 \text{ варіант}) \quad g = 0,15306 \cdot (1,91 - 1,589) = 48,83\text{mS}$$

Коефіцієнт підсилення:

За амплітудами:

$$K_u = \frac{0,225}{0,2} = 11,25$$

Через провідність:

$$K_u = 235 \cdot 56,2\text{mS} = 14,81$$

$$K_u = 235 \cdot 48,83\text{mS} = 11,47$$

Підсилювач зміщує вихідний сигнал за фазою на  $180^\circ$  градусів, що можна побачити з аналітичного виразу та на скріншотах симуляцій.

Таку ж схему було складено в лабораторії та досліджено при таких же вхідних сигналах. Оскільки порогова напруга дещо відрізняється, вибрали  $R_2 = 50,6\text{кОм}$ . Отримали наступні результати:

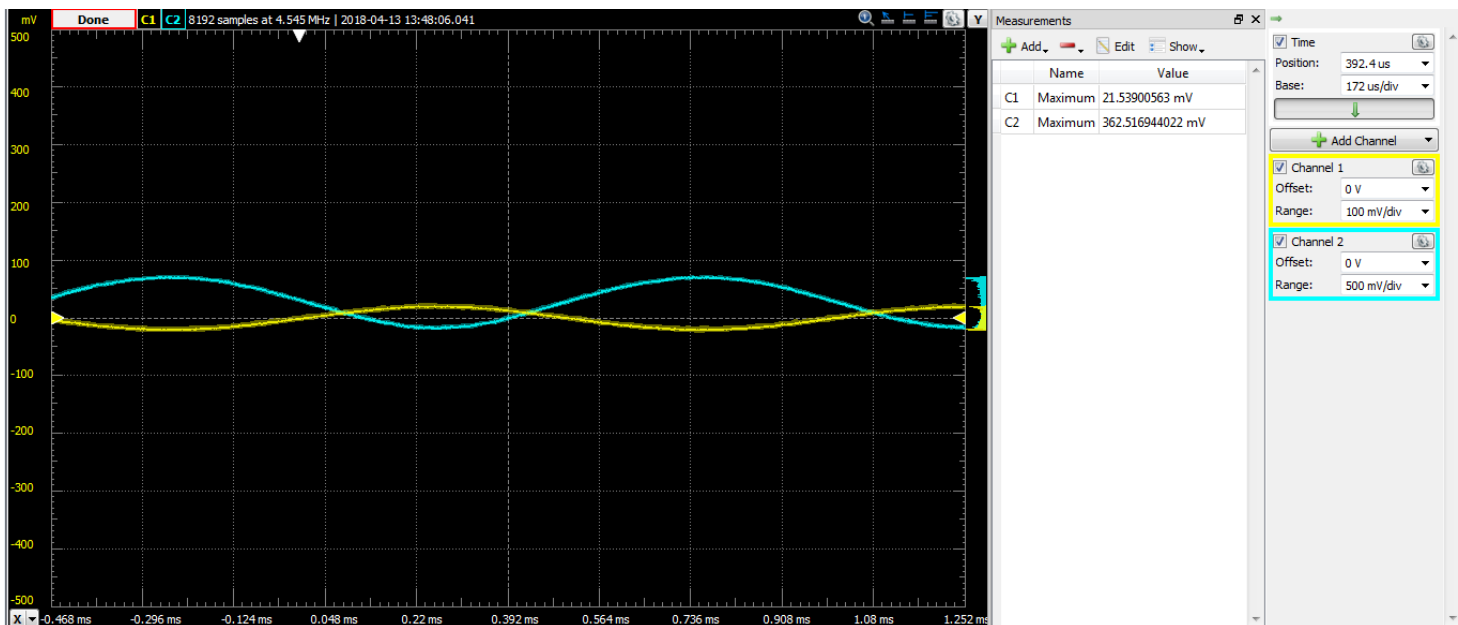
- b. Для перевірки робочої точки напругу генератора виставили рівною нулю. Отримали такі параметри робочої точки спокою:

$$U_{зв0} = 1,46\text{В}$$

$$U_{вс0} = 3,67\text{В}$$

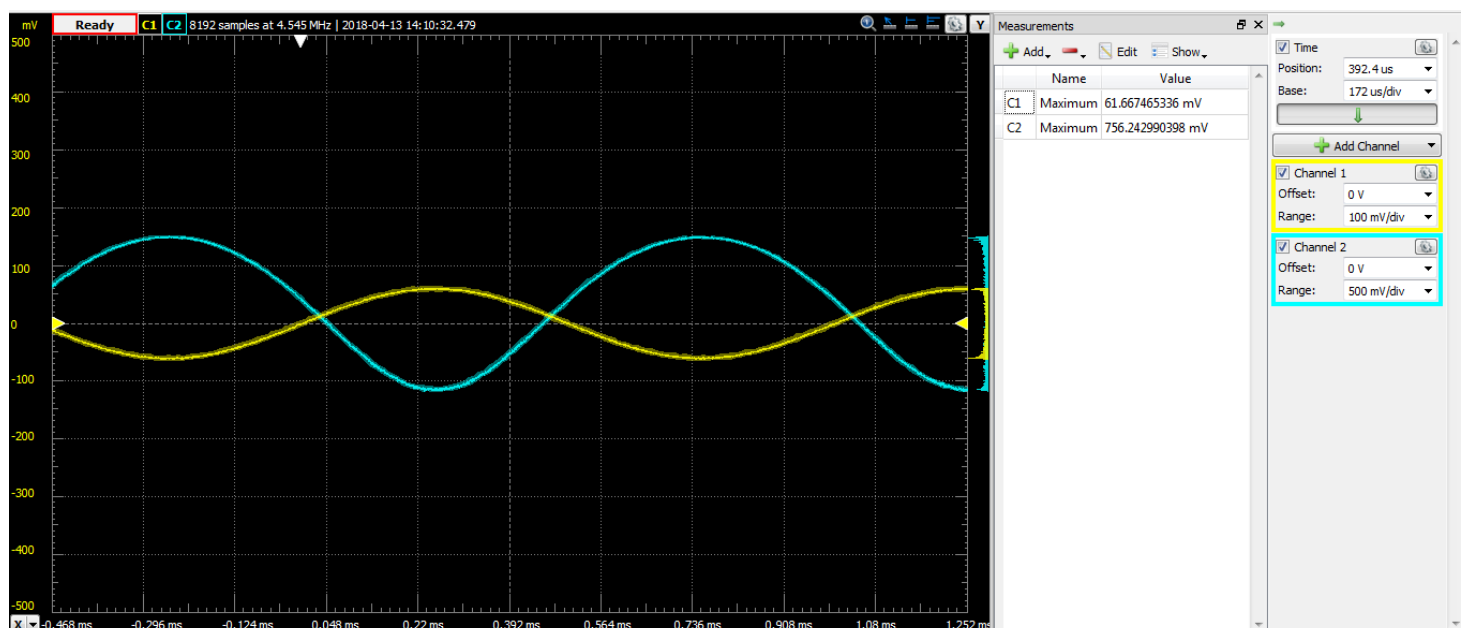
$$I_{с0} = 5,67\text{мА}$$

- c. На вхід підсилювача подали сигнал, аналогічний вхідному в симуляції. На виході отримали синусоїдальний сигнал без нелінійних спотворень, обернений по фазі на 180 градусів:



$$K_u = \frac{0,225}{0,2} = 11,25$$

Спотворення вихідного сигналу починають спостерігатись при напрузі  $U_{зв} = 60\text{мВ}$ :



Для збільшення  $U_{зв}$  послідовно включили з  $R_2$  опір 4.65кОм.

Изменение параметра		1 вариант	2 вариант
$\Delta U_{зв}$	$\Delta I_c$	$g_m$	$g_m$
0,092	0,0052	0,05620	0,04883

Изменение параметра		1 вариант	2 вариант
$\Delta U_{зв}$	$\Delta I_c$	$g_m$	$g_m$
0,093	0,0058	0,06280	0,04747

Ku_теоретичне	13,21	11,47
Похибка, %	14,81	1,95

Ku_теоретичне	14,76	11,16
Похибка, %	13,94	50,72

Таблиця 4. Порівняння результатів симуляції(зліва) та практичних вимірів(праворуч) з розрахунками.

Для обчислення похибок порівнювали  $K_u$  (через амплітуди) з  $K_{u\_теоретичне}$  (через провідність).

Як можна бачити значення провідностей мають близькі значення та співпадають за порядком з моделлю. Коефіцієнт підсилення відповідає розрахункам з урахуванням похибки.

### Висновки

В даній лабораторній роботі провели експериментальне дослідження поведінки польового транзистору в різних режимах роботи: зняли статичну вихідну та передавальну характеристики, розрахували коефіцієнт  $b$  та напругу відкриття транзистора, порівняли їх з даними симуляцій. Також було складено схему підсилювача з загальним витоком і досліджено його роботу при різних вхідних параметрах. Експериментально та теоретично визначили коефіцієнт підсилення та передавальну провідність.

Отримані результати свідчать про коректність роботи моделі транзистора та наявність деяких невідповідностей відносно реальних транзисторів, що зумовлено технологічними особливостями виготовлення.