

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»  
Кафедра мікроелектроніки

## **Лабораторна робота № 2**

з дисципліни: «Схемотехніка-1. Аналогова схемотехніка»  
ЗВОРОТНІЙ ЗВ'ЯЗОК У ПІДСИЛЮВАЧАХ

Виконав:

студент 3-го курсу групи ДП-82

Мнацаканов Антон Станіславович

Перевірила: Порєва Ганна Сергіївна

Київ 2021

## 1. Мета роботи

Вивчення принципів роботи зворотного зв'язку, дослідження впливу негативного зворотного зв'язку на характеристики і параметри підсилювача.

## 2. Блок-схема установки для дослідження лабораторного модуля «Зворотній зв'язок у підсилювачах»

Блок-схема установки для дослідження лабораторного модуля «Зворотній зв'язок у підсилювачах» («ЗЗП») наведена на рис. 2.1.

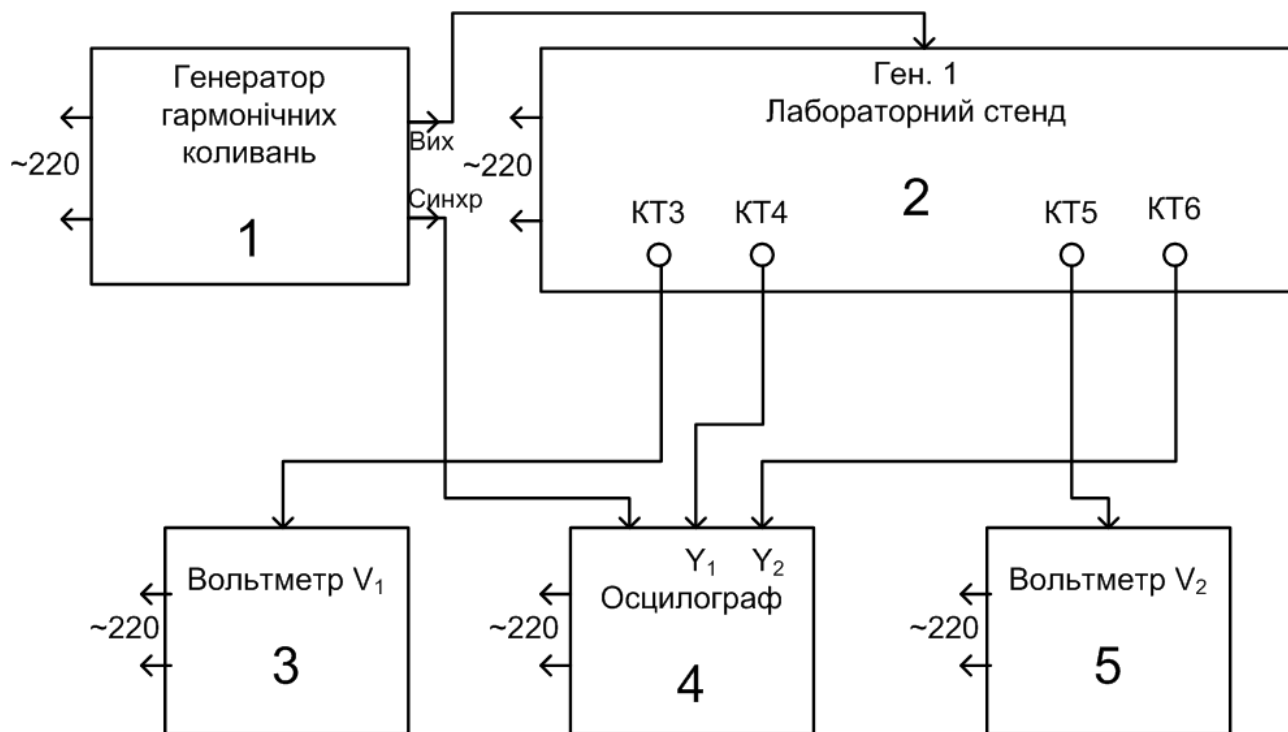


Рис. 1.1. Блок-схема установки для дослідження лабораторного модуля «Зворотній зв'язок у підсилювачах».

### 3. Схема електрична принципова лабораторного модуля «Зворотній зв'язок у підсилювачах»

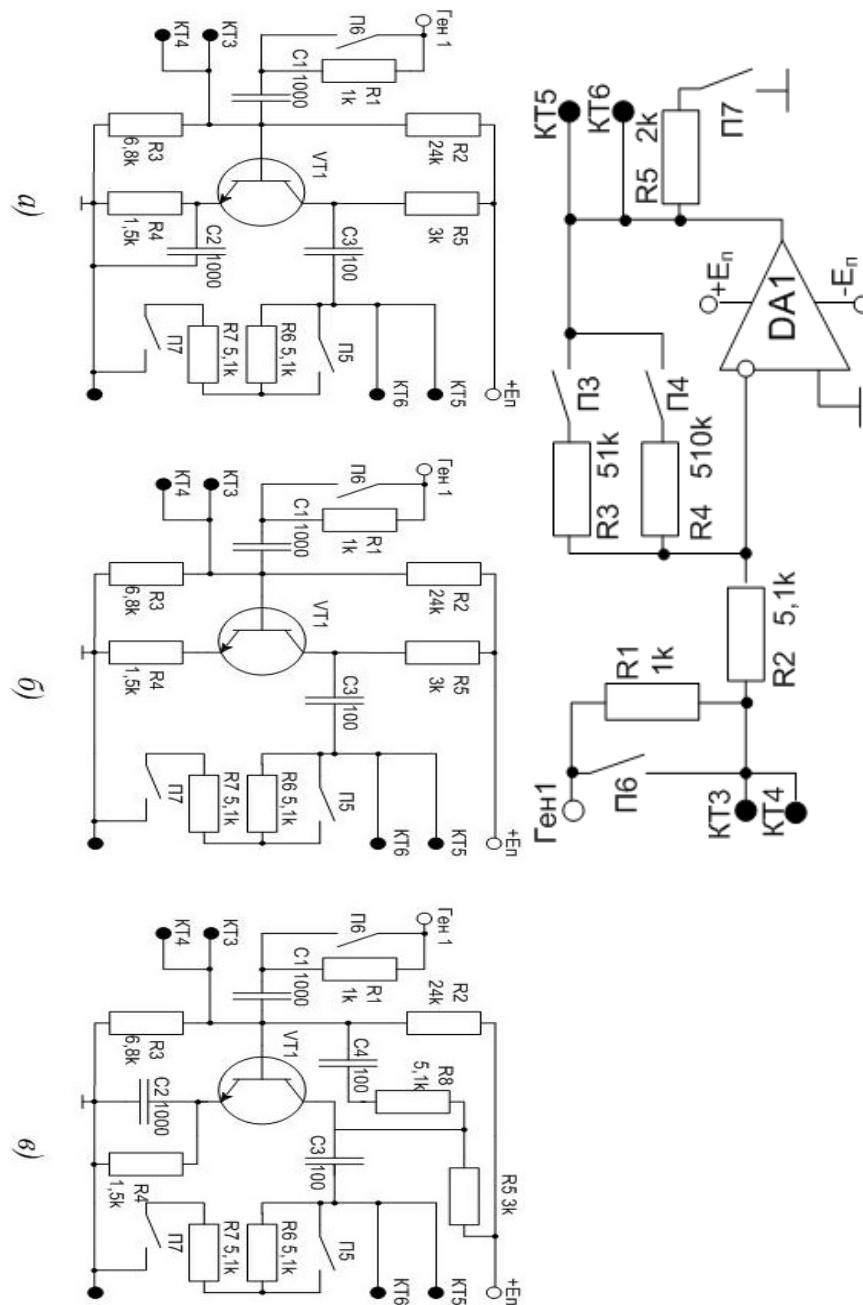


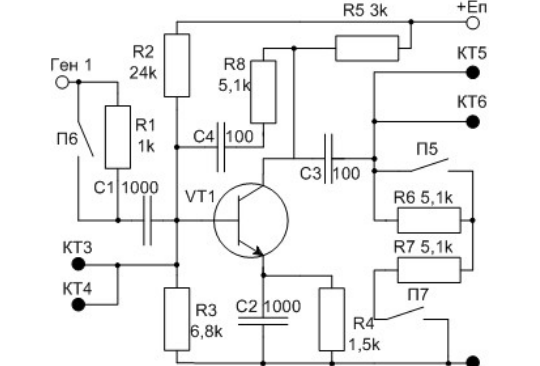
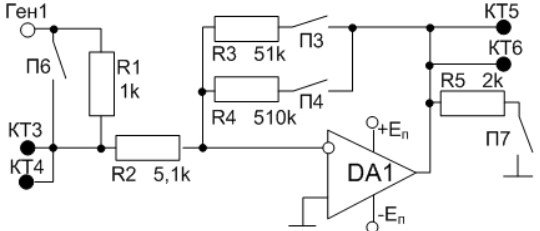
Рис. 1.2 Схема електрична принципова лабораторного модуля «ЗЗП»: а) схема без ЗЗ (П1-вкл), б) схема НЗЗ по току (П2-вкл), в) схема НЗЗ по напрузі (П3-вкл), г) схема ЗЗ на операційному підсилювачі (П4-вкл).

Таблиця 1.1. Призначення перемикачів.

| №  | Призначення перемикачів   |
|----|---|
| П1 | Вмикає підсилювач на БТ з НЗЗ по току   |
| П2 | Вмикає підсилювач на БТ з НЗЗ по напрузі  |
| П3 | Вмикає підсилювач на ОП при $K_U=10$  |
| П4 | Вмикає підсилювач на ОП при $K_U=100$   |
| П5 | Закорочує резистор $R_6$ – навантаження підсилювача на БТ                         |
| П6 | Закорочує резистор $R_1$ у підсилювачах на БТ та ОП                               |
| П7 | Підключає резистори навантаження $R_6$ - $R_7$ у підсилювач на БТ, або $R_5$ у ОП |

Таблиця 2.2. Реалізовані в лабораторному модулі схеми.

| Тип ЗЗ                          | Перемикач замкнутий | Схема електрична принципова |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Підсилювач на БТ без ЗЗ         | -                   |                             |
| Підсилювач на БТ із НЗЗ по току | П1                  |                             |

|   |   |  |
|---|---|--|
| <p>Підсилювач на БТ із<br/>НЗЗ по напрузі</p> | <p>П2</p>   |  |
| <p>ОП із НЗЗ по напрузі</p>                   | <p>ПЗ (при <math>K_U=10</math>)<br/>П4 (при <math>K_U=100</math>)</p> |  |

Таблиця 1.3. До вимірам амплітудних характеристик підсилювача  $U_z=U_z(U_i)$  при  $f_z=10$  кГц.

| №         | $U_i$ , мВ                                |     |    | $U_z$ , В                 |                              |                                |
|-----------|---|-----|----|---------------------------|------------------------------|--------------------------------|
|           |   |     |    | Без НЗЗ<br>(П1- П7 викл.) | НЗЗ по<br>току<br>(П1- вкл.) | НЗЗ по<br>напрузі<br>(П2–вкл.) |
| 1         | 25  | 750 | 50 | 1,7                       | 1,25                         | 1,25                           |
| 2         | 20  | 650 | 40 | 1,45                      | 1,1                          | 1,2                            |
| 3         | 15  | 550 | 30 | 1,1                       | 0,97                         | 1,05                           |
| 4         | 10  | 450 | 20 | 0,8                       | 0,8                          | 0,93                           |
| 5         | 5   | 350 | 10 | 0,4                       | 0,62                         | 0,53                           |
| 6         | 1   | 250 | 1  | 0,08                      | 0,44                         | 0,052                          |
| 7         |   | 150 |    |                           | 0,26                         |                                |
| 8         |   | 50  |    |                           | 0,092                        |                                |
| 9         |   | 1   |    |                           | 0,018                        |                                |
| 10        |   |     |    |                           |                              |                                |
| Визначити | $D_z^+ = \frac{U_{ex\max}^+}{U_{ex\min}}$ |     |    |                           |                              |                                |
|           | $D_z^- = \frac{U_{ex\max}^-}{U_{ex\min}}$ |     |    |                           |                              |                                |

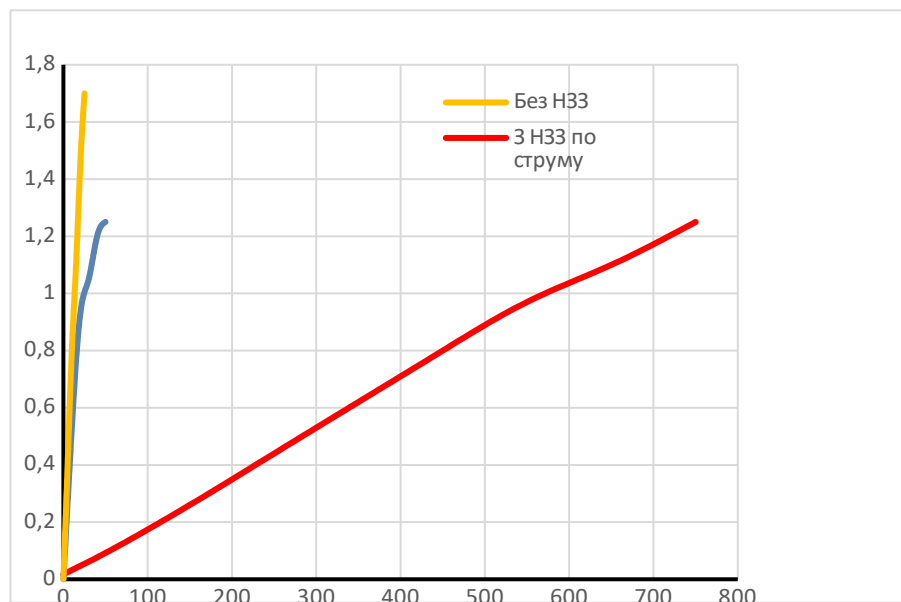


Рис.1.3 Амплітудна характеристика підсилювача

Таблиця 1.4. До вимірювання функцій підсилювачів.

| №  | Показники роботи підсилювача   | Підсилювач в схемі    |                        |                       | Примітки   |
|----|--|-----------------------|------------------------|-----------------------|--|
|    |  | Без 33                | НЗЗ <sub>I</sub> (П1)  | НЗЗ <sub>U</sub> (П2) |  |
| 1  | При $R_I=0$ $U_I=U_2$ , мВ   | 10                    | 50                     | 10                    | Натиснути П6 і встановити ручкою вихід генератора $U_I$ . Перемикач П7 розімкнений.              |
| 2  | При $R_I=1$ кОм (П6–розімкнений) $U_I'$ , мВ   | 4,7                   | 34                     | 0,8                   | Розімкнути П6 і виміряти вольтметром $V_I$ напругу $U_I'$ . Перемикач П7 розімкнений.            |
| 3  | $R_{\text{вх}} = R_1 \frac{U_1'}{U_2 - U_1'}$ , Ом   | 886                   | -1416                  | 87                    | Обчислити вхідний опір ( $R_I=1$ кОм)  |
| 4  | При відключенні $R_H=R_6+R_7$ $U_{2\text{хх}}$ , мВ ( $U_I=U_2$ )                          | 840                   | 94                     | 550                   | Розімкнути П7 і вольтметром $V_2$ виміряти $U_{2\text{хх}}$ . Перемикач П6 замкнений.            |
| 5  | При відключенні $R_H=R_6+R_7$ $U_2$ , мВ   | 650                   | 74                     | 470                   | Замкнути П7 і вольтметром $V_2$ виміряти напругу $U_2$ . Перемикач П6 замкнений.                 |
| 6  | $R_{\text{вих}} = (R_6 + R_7) \frac{U_{2\text{хх}} - U_2}{U_2}$<br>де $R_H=R_6+R_7=12$ кОм | 3,5                   | 3,24                   | 2,04                  | Обчислити вихідний опір $R_{\text{вих}}$   |
| 7  | $K_U = \frac{U_2}{U_1}$  | 0,065                 | 0,0074                 | 0,047                 | Обчислити відношення раніше виміряних $U_I$ та $U_2$   |
| 8  | $K_I = \frac{I_H}{I_1} = \frac{R_{\text{вх}}}{R_H} K_U$                                    | 0,0047                | -0,8*10 <sup>-3</sup>  | 0,34*10 <sup>-3</sup> | Обчислити коефіцієнт передачі струму як відношення $R_{\text{вх}}$ та $R_H$ , помножене на $K_U$ |
| 9  | $K_P = \frac{P_H}{P_1} = K_U \cdot K_I$  | 3,05*10 <sup>-4</sup> | -5,92*10 <sup>-3</sup> | 1,6*10 <sup>-5</sup>  | Обчислити добуток $K_U$ и $K_I$  |
| 10 | $f_H=f_{\text{min}}$ , при $U_2=0,707 \cdot U_2$ ( $f=10$ кГц)                             | <10 Гц                | <10Гц                  | <10Гц                 | Перемикач П6 замкнений. Перемикач П7 замкнений.  |
| 11 | $f_6=f_{\text{max}}$ , при $U_2=0,707 \cdot U_2$ ( $f=10$ кГц)                             | 122 КГц               | 220КГц                 | 160КГц                | Перемикач П6 замкнений. Перемикач П7 замкнений.  |
| 12 | $\Delta f=f_6-f_H$   | 1,21*10 <sup>5</sup>  | 2,19*10 <sup>5</sup>   | 1,6*10 <sup>5</sup>   |  |

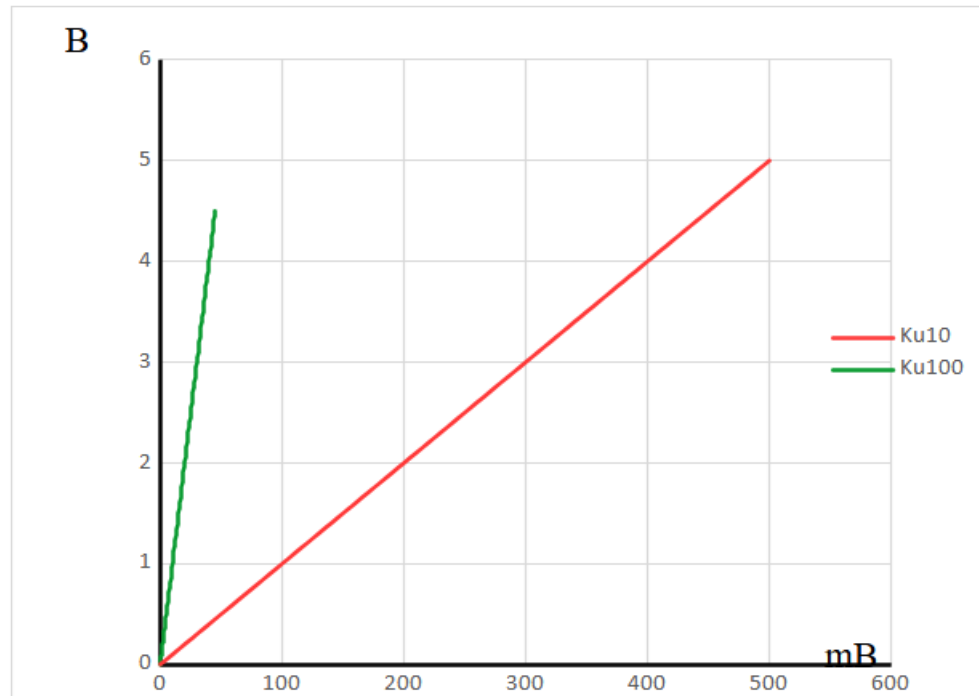


Рис. 1.4 Амплітудна характеристика підсилювача

Таблиця 1.5. До вимірювань амплітудних характеристик підсилювача  $U_2=U_2(U_1)$ , при  $f_z=10$  кГц

| №         | $U_1$ , мВ                                  |           | $U_2$ , В          |                     |
|-----------|---|-----------|--------------------|---------------------|
|           | $K_v=10$                                    | $K_v=100$ | $K_v=10$ (ПЗ-вкл.) | $K_v=100$ (П4-вкл.) |
| 1         | 500   | 45        | 5                  | 4,5                 |
| 2         | 400   | 35        | 4                  | 3,5                 |
| 3         | 300   | 25        | 3                  | 2,5                 |
| 4         | 200   | 15        | 2                  | 1,5                 |
| 5         | 100   | 5         | 1                  | 0,5                 |
| 6         | 10  |           | 0,1                |                     |
| Визначити | $D_z^+ = \frac{U_{ex\ max}^+}{U_{ex\ min}}$ |           |                    |                     |
|           | $D_z^- = \frac{U_{ex\ max}^-}{U_{ex\ min}}$ |           |                    |                     |



Таблиця 1.6. До вимірювань відносної нестабільності коефіцієнта передачі напруги підсилювача при  $U_I=10$  мВ,  $f_e=10$  кГц (П6 – замкнутий).

| Підсилювач без ЗЗ  |                         |                              |                           | Підсилювач із НЗЗ по току  |                         |                              |                           | Підсилювач із НЗЗ по напрузі   |                         |                              |                           |
|--|-------------------------|------------------------------|---------------------------|--|-------------------------|------------------------------|---------------------------|--|-------------------------|------------------------------|---------------------------|
| П7 – включити  |                         |                              |                           | П1, П7 – включити  |                         |                              |                           | П2, П7 – включити  |                         |                              |                           |
| $R_H=R_6+R_7=$<br>$=10,2$ кОм  |                         | $R_H=R_6+R_7=$<br>$=5,1$ кОм |                           | $R_H=R_6+R_7=$<br>$=10,2$ кОм  |                         | $R_H=R_6+R_7=$<br>$=5,1$ кОм |                           | $R_H=R_6+R_7=$<br>$=10,2$ кОм  |                         | $R_H=R_6+R_7=$<br>$=5,1$ кОм |                           |
| П5- вимк.  |                         | П5-вкл.                      |                           | П5- вимк.  |                         | П5-вкл.                      |                           | П5- вимк.  |                         | П5-вкл.                      |                           |
| $U_{2,B}$  | $K_U = \frac{U_2}{U_1}$ | $U'_{2,B}$                   | $K'_U = \frac{U'_2}{U_1}$ | $U_{2,B}$  | $K_U = \frac{U_2}{U_1}$ | $U'_{2,B}$                   | $K'_U = \frac{U'_2}{U_1}$ | $U_{2,B}$  | $K_U = \frac{U_2}{U_1}$ | $U'_{2,B}$                   | $K'_U = \frac{U'_2}{U_1}$ |
| 0,65   | 65                      | 0,54                         | 54                        | 14,5 мВ  | 1,45                    | 12мВ                         | 1,2                       | 0,45   | 45                      | 0,4                          | 40                        |
| $\delta = \frac{K'_U - K_U}{K_U} 100\% = \frac{U'_2 - U_2}{U_2} 100\%$ |                         |                              |                           | $\delta = \frac{K'_{U\beta} - K_{U\beta}}{K_{U\beta}} 100\% = \frac{U'_{2\beta} - U_{2\beta}}{U_{2\beta}} 100\%$ |                         |                              |                           | $\delta = \frac{K'_{U\beta} - K_{U\beta}}{K_{U\beta}} 100\% = \frac{U'_{2\beta} - U_{2\beta}}{U_{2\beta}} 100\%$ |                         |                              |                           |
| -16,9  |                         |                              |                           | -17,2  |                         |                              |                           | -11,1  |                         |                              |                           |

Таблиця 1.7. До вимірюванню АЧХ підсилювача на ІОП.

|   | При $U_I=10$ мВ         |                          |
|---|-------------------------|--------------------------|
|   | $K_{Uo}=10$ (П3 – вкл.) | $K_{Uo}=100$ (П4 – вкл.) |
| При $f_0=10$ кГц виміряти $U_{2o}$ , мВ | 100                     | 1000                     |
| $0,707 \cdot U_{2o}$ , мВ               | 70,7                    | 707                      |
| $f_0$ , Гц                              | 460 КГц                 | 38 КГц                   |

Мусаханов Атон  
ДП-82

1)  $F = 1 - KX$ , де  $F \rightarrow$  амплітуда ЗЗ.  
 $\approx 1.$

2)

4) Цей вид ЗЗ обумовлює високе значення вхідного опору і низьке вих. опору для даних каскадів і таким чином ми можемо викор. їх як узгоджувальні каскади.

3) НЗЗ за струмом збільшує вхідний опір підсилювача а за напругою зменшує його.