

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ З ДИСЦИПЛІНИ
«ЕЛЕКТРОННІ ПРИСТРОЇ АВТОМАТИКИ» (ЧАСТИНА 1)
ЗА ОСВІТНІМ РІВНЕМ «БАКАЛАВР»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ
151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ
ТЕХНОЛОГІЇ»

Затверджено на засіданні кафедри
Комп'ютерно-інтегрованих технологій
та автоматизації.
Протокол № 2 від 22.11.18

Дніпро ДВНЗ УДХТУ 2019

Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Електронні пристрої автоматики» (Частина 1) за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укл.: О.П. Мисов, Л.Д. Чумаков – Дніпро: ДВНЗ УДХТУ, 2019. – 20 с.

Укладачі: О.П. Мисов, канд. техн. наук
Л.Д. Чумаков, доктор технічних наук

Відповідальний за випуск О.П. Мисов, канд. техн. наук

Навчальне видання

Методичні вказівки до лабораторних занять з дисципліни «Електронні пристрої автоматики» (ЧАСТИНА 1) за освітнім рівнем «Бакалавр» для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Укладачі: МИСОВ Олег Петрович
ЧУМАКОВ Лев Дмитрович

Комп'ютерна верстка Т.М. Кіжло

Підписано до друку 27.03.19. Формат 60×84 1/16. Папір ксерокс. Друк різнограф. Умов. друк. арк. 0,91. Облік.-вид. арк. 0,97. Тираж 100 прим. Зам. № 196. Свідоцтво ДК № 5026 від 16.12.2015.

ДВНЗ УДХТУ, 49005, м. Дніпро – 5, просп. Гагаріна, 8.

Редакційно-видавничий відділ

Лабораторна робота №1.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОКАСКАДНИХ ТРАНЗИСТОРНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ

Мета роботи – дослідити режими роботи та спокою підсилюючих каскадів на біполярних і польових транзисторах, їх амплітудні і частотні характеристики, вплив параметрів схеми на властивості підсилювачів.

Опис лабораторного стенда

Конструктивно стенд виконаний у вигляд І настільного приладу. Досліджувані схеми зображені на змінних платах, які встановлюються на лицьовій панелі стенда за допомогою двох гвинтів.

На лицьовій панелі стенда розташовані такі органи управління, вимірювальні прилади і гнізда:

- 1) тумблер «СЕТЬ» – для включення стенда;
- 2) лампочка «ВКЛ» – для контролю включення;
- 3) перемикач «ЧАСТОТА, кГц» – для перемикання діапазонів частот генератора від 0,02 до 20 кГц;
- 4) ручка «ЧАСТОТА, кГц» – для повільної зміни частоти генератора в межах кожного діапазону;
- 5) ручка «ВЫХОД» – для повільної зміни значення вихідної напруги генератора;
- 6) гнізда «1:1», «1:10», «1:100» – для ступеневого ділення значення вихідної напруги генератора;
- 7) ручка «Rг» – для зміни значення вихідного опору генератора від 1 до 10 кОм;
- 8) ручки «Rд1», «Rд2», «Rэ», «Rк», «Rс», «Rи» – для зміни відповідних параметрів досліджуваних підсилювачів;
- 9) тумблер «S1» з положеннями «C1», «C2» – для подання сигналу на вхід досліджуваної схеми крізь відповідну ємність;
- 10) тумблер «S2» з положеннями «C3», «C4» – для підключення навантаження крізь відповідну ємність;
- 11) тумблер «S3» – для зміни схеми базового дільника в досліджуваних підсилювачах;
- 12) тумблер «Ек, Ес» – для переключення джерел живлення;
- 13) ручка «Ек, Ес» і прилад «Ек, Ес» – для зміни і вимірювання живлення підсилюючих каскадів;
- 14) прилад «I_Б» – для вимірювання постійного струму бази;
- 15) прилад «I_Э» і кнопка «X5/X1» – для вимірювання струмів в колі емітера і переключення границь приладу;
- 16) прилад «I_И» і кнопка «X5/X1» – для вимірювання струму витoku і переключення границь приладу;
- 17) гніздо «1» – для підключення на вхід підсилювача сигналу від генератора;
- 18) гнізда «2», «3» і «4» – для перегляду осцилограм і вимірювання

- напруги на вході підсилювача;
- 19) гнізда «11» і «12» – для перегляду осцилограм і вимірювання напруги на навантаженні підсилювача;
 - 20) гнізда «5», «6», «7», «8», «9», «10» – для перегляду осцилограм і вимірювання напруг в характерних точках схем підсилювачів.

Підготовка стенда до роботи

1. Уважно ознайомитись з описом конструкції лабораторного стенда і призначенням кожного органу управління, перемикачі вимкнути.
2. Всі ручки управління встановити в граничне ліве положення.
3. Всі тумблери встановити в положення «Вниз».
4. Підготувати до роботи зовнішні вимірювальні прилади (цифровий вольтметр і осцилограф).

Робоче завдання

1) Дослідження одиночного підсилюючого каскаду зі спільним емітером

1. Підготувати стенд до роботи.
2. Закріпити на лицьовій панелі змінну плату 1 з зображенням досліджуваної схеми.
3. Встановити тумблер S3 в положення «Вгору», а тумблери S1, S2, S4, «Ек, Ес» в положення «Вниз».
4. Включити тумблер «СЕТЬ» і за допомогою ручки «Ек, Ес» встановити напругу живлення $E_k = 12 \text{ В}$.
5. Встановити за допомогою ручок Rд1, Rд2, Rэ, Rк, режим спокою підсилювача так, щоб $I_B = 1,5 \text{ mA}$, $I_C = 30 \text{ mA}$ (режим спокою може бути змінений за вказівкою викладача).
6. Встановити частоту генератора 1 кГц.
7. Подати за допомогою з'єднувального дроту сигнал з гнізда «1:1» виходу генератора на гніздо «1» входу підсилювача.
8. Встановити опір генератора $R_g = 1 \text{ кОм}$ і навантаження $R_n = 1 \text{ кОм}$.
9. Зняти амплітудні характеристики підсилювача, для чого, змінюючи за допомогою ручки «ВЫХОД» вихідну напругу генератора для кожної оцифрованої відмітки, заміряти значення $U_{вх}$ і $U_{вих}$ підсилювача. Значення $U_{вх}$ знімаються з гнізд «2» і «4», а значення $U_{вих}$ - з гнізд «11» і «12» за допомогою зовнішнього цифрового вольтметра. Дані досліду занести до табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Амплітудні характеристики підсилювача

$R_{Г} = 1\text{кОм}, R_{Н} = 1\text{кОм}$		$R_{Г}, R_{Н}$	$R_{Г}, R_{Н}$
$U_{вх}$	$U_{вих}$	$U_{вих}$	$U_{вих}$

10. Змінити значення $R_{Н}$ за вказівкою викладача і повторити п.9.
11. Змінити значення $R_{Г}$ за вказівкою викладача і повторити п.9.
12. Зняти частотну характеристику підсилювача. Для цього, змінюючи перемикачем діапазонів і ручкою «ЧАСТОТА» частоту генератора від f_{\min} до f_{\max} , заміряти значення $U_{вх}$ і $U_{вих}$. Початкове значення $U_{вх}$ задає викладач. Дані досліду занести до табл.1.2.

Таблиця 1.2 – Частотна характеристика підсилювача

f	$U_{вх}$	$U_{вих}$	$K_{и}$

13. Змінюючи ручкою «ВЫХОД» вихідну напругу генератора від «0» до максимального значення, спостерігати зміну $U_{вх}$ (гнізда «2», «4») і $U_{вих}$ (гнізда «11», «12») за допомогою двоканального осцилографа. Під час появ переключень сигналу на виході підсилювача заміряти і зафіксувати напруги $U_{вх}$, $U_{вих}$ за допомогою зовнішнього вольтметра. Дослід провести для значень $R_{Г}$ і $R_{Н}$ наведених у табл.1.1. Накреслити осцилограми $U_{вх}$ і $U_{вих}$.

14. Дослідити вплив $C_{э}$ на коефіцієнт підсилення підсилювача, для чого встановити ручкою «ВЫХОД» генератора фіксоване значення вихідного сигналу підсилювача. Підключаючи і відключаючи за допомогою тумблера S_4 конденсатори $C_{э1}$, $C_{э2}$ в колі емітера, спостерігати зміну сигналу на виході підсилювача (гнізда «11»; «12») за допомогою осцилографа. Накреслити осцилограми.

2) Дослідження одиночного підсилюючого каскаду зі спільним колектором

1. Підготувати стенд до роботи.
2. Закріпити на лицьовій панелі змінну плату 2 з зображенням досліджуваної схеми.
3. Подальше дослідження каскада зі спільним колектором проводиться у відповідності з пп. 3 – 14.

3) Дослідження одиночного підсилюючого каскаду зі спільним виток

1. Підготувати стенд до роботи.
2. Закріпити на лицьовій панелі змінну плату 6 з зображенням досліджуваної схеми.
3. Встановити тумблери S_1 , S_2 , «Ек, Ес» в положення «Вгору», а

тумблер S4 в положення «Вниз».

4. Включити тумблер «СЕТЬ» і за допомогою ручки «Ек, Ес» встановити напругу живлення $E_c = 10 \text{ В}$.

5. Встановити ручку Rк, Rс в крайнє ліве положення і за допомогою ручки Rи встановити режим спокою підсилювача так, щоб $I_n = 1,65 \text{ мА}$ (режим спокою може бути змінений за вказівкою викладача).

6. Подальше дослідження каскаду зі спільним витоком проводиться у відповідності з пп.6 – 13.

7. Виконати дослідження впливу Cи на коефіцієнт підсилення підсилювача, для чого ручкою «ВЫХОД» генератора встановити фіксоване значення вхідного сигналу підсилювача. Підключаючи і відключаючи за допомогою тумблера S4 конденсатори C1, C2 в колі витоку, спостережати зміну сигналу на виході підсилювача (Гн 11, 12) за допомогою осцилографа. Накреслити осцилограми.

4) Дослідження одиночного підсилюючого каскаду зі спільним стоком

1. Підготувати стенд до роботи.
2. Закріпити на лицьовій панелі змінну плату 7 з зображенням досліджуваної схеми.
3. Подальше дослідження каскада зі спільним стоком проводиться у відповідності з пп.3 – 13.

Обробка експериментальних даних

1) Дослідження одиночного підсилюючого каскаду зі спільним емітером

1. За даними пп. 9 – 11 в підрозд. 1.3.1 побудувати амплітудні характеристики $U_{вих} = f(U_{вх})$.
2. Для лінійних ділянок амплітудних характеристик розрахувати коефіцієнти підсилення за напругою K_U .
3. За даними п. 12 в підрозд. 1.3.1 розрахувати K_U для кожної експериментальної точки і занести до табл. 1.2.
4. За даними табл. 1. 2. побудувати частотну характеристику $K_U = F(f)$ і визначити коефіцієнти частотних перекирів для $f = 20 \text{ Гц}$ і $f = 20 \text{ кГц}$.

2) Дослідження одиночних підсилюючих каскадів зі спільним колектором, спільним витоком і спільним стоком

Обробку експериментальних даних для вказаних типів підсилюючих каскадів провести аналогічно п. 1.4.1.

Методичні вказівки з дослідження підсилюючих каскадів

В даній лабораторній роботі досліджуються підсилюючі каскади, призначені для підсилення синусоїдальних електричних сигналів. Робота підсилювача змінних сигналів оцінюється кількісними і якісними показниками.

До кількісних показників відносяться коефіцієнти підсилення за струмом, напругою і потужністю, вхідний і вихідний опори.

Основним якісним показником роботи підсилювача змінних сигналів є точність відтворювання на виході підсилювача форми сигналу, який підсилюється.

Перекачування форми вихідного сигналу в підсилювачах відбувається за рахунок нелінійності характеристик транзистора (нелінійні перекачування), а також за рахунок присутності реактивних елементів (частотні перекачування).

Нелінійність характеристик транзистора призводить до того, що при синусоїдальному вхідному сигналі в змінній складовій вихідного сигналу з'являються вищі гармоніки, перекачуючи його форму. Кількісну оцінку нелінійних перекачувань виконують за допомогою коефіцієнта нелінійних перекачувань

$$K_n = \sqrt{\frac{P_2 + P_3 + \dots + P_n}{P_1}}$$

де P_1, P_2, \dots, P_n – потужності, які віддаються до навантаження відповідними гармоніками вихідного сигналу.

Для приближеної оцінки нелінійних перекачувань використовують амплітудну характеристику, яка показує залежність амплітудного значення вихідної напруги $U_{вихн}$ від амплітудного значення вхідної напруги $U_{вхн}$, зняту при постійній частоті вхідного сигналу f_0 і постійному навантаженні R_n .

Найбільш повне уявлення про частотні якості підсилювача дає його частотна (амплітудно-частотна) характеристика, яка зображує, як змінюється коефіцієнт підсилення від частоти вхідного сигналу.

Кількісну оцінку частотних перекачувань виконують за допомогою коефіцієнта частотних перекачувань

$$M = \frac{K_{U_0}}{K_U},$$

де K_{U_0} – коефіцієнт підсилення на середній частоті f_0 ;

K_U – коефіцієнт підсилення на частоті, для якої розраховуються частотні перекачування.

Звичайно допустиме за технічним и вимогами зменшення коефіцієнту підсилення не повинно перевищувати 2...3 дБ ($M \leq 2$).

Схеми підсилюючих каскадів можуть бути виконані як на біполярних, так і на польових транзисторах.

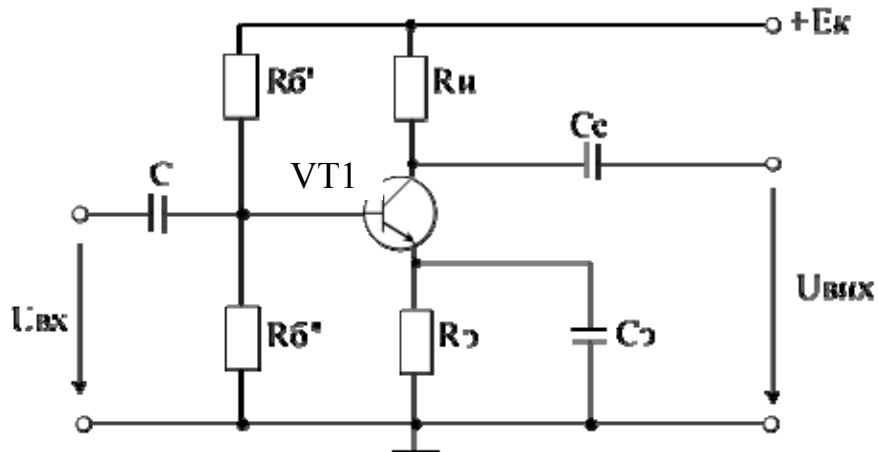


Рис. 1.1 – Схема підсилюючого каскаду з спільним емітером

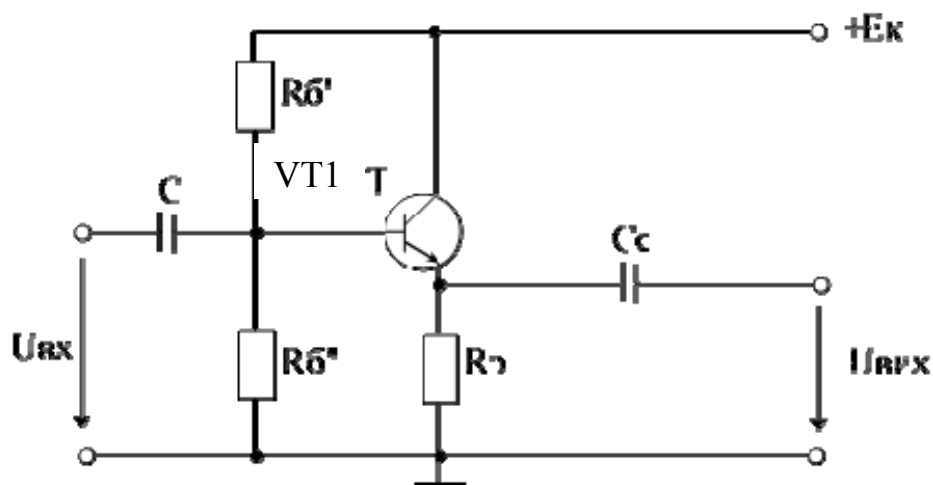


Рис. 1.2 – Схема підсилюючого каскаду зі спільним колектором

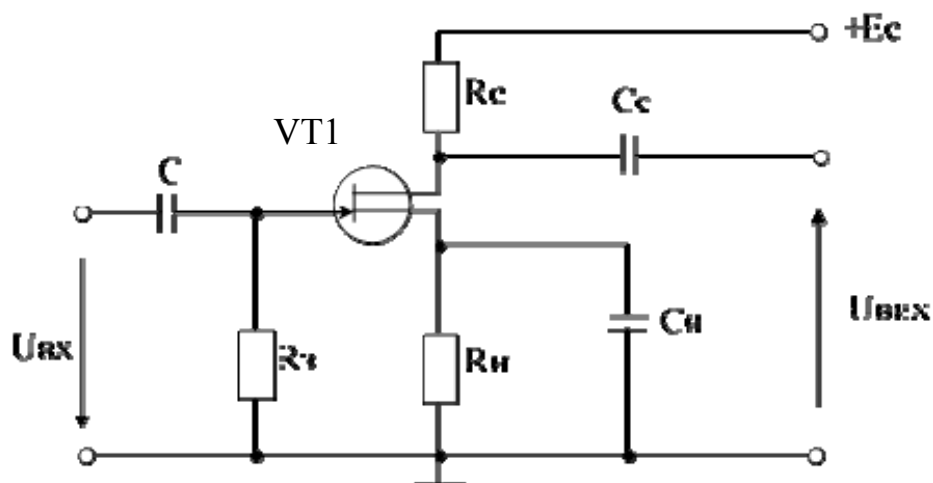


Рис. 1.3 – Схема підсилюючого каскаду зі спільним витоком

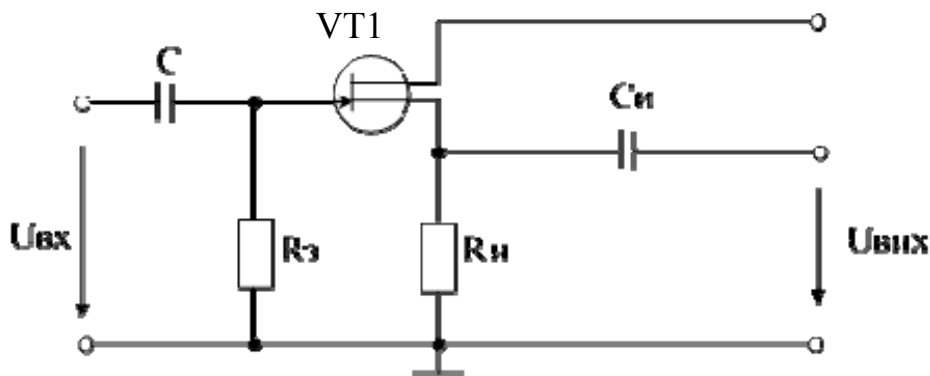


Рис. 1.4 – Схема підсилюючого каскаду зі спільним струмом

На рис. 1.1 зображений підсилюючий каскад на біполярному транзисторі, підключеному за схемою зі спільним емітером (СЕ). За допомогою джерела постійної напруги E_k здійснюється живлення постійним струмом колекторного кола, а крізь ділянку $R_{б'}$, $R_{б''}$ – базового кола. Шляхом вибору співвідношення плечей цього ділячника та опору R_k забезпечується потрібний режим спокою. Для зменшення температурного дрейфу положення робочої точки запроваджується негативний зворотній зв'язок по постійному струму за рахунок падіння напруги від струму емітера I_e на резисторі $R_э$. Для усунення зворотного зв'язку за змінним струмом (для підвищення коефіцієнта підсилення K_U) резистор $R_э$ шунтується конденсатором $C_э$.

Змінна напруга $U_{вх}$ подається на підсилювач через роздільний конденсатор C , який не пропускає в коло джерела вхідного сигналу постійну складову від джерела E_k , а також не пропускає постійну складову струму джерела сигналу на вхід транзистора. Конденсатор $C_э$ не пропускає постійну складову струму колектора до кола навантаження.

В даній схемі підсилювача вхідний та вихідний сигнали знаходяться в протифазі.

На рис.1.2 показаний підсилюючий каскад, зібраний на біполярному транзисторі, підключеному за схемою зі спільним колектором (СК).

Навантаження у підсилювачі включене до емітерного кола транзистора.

Така схема має в порівнянні зі схемою з СК підвищений вхідний і знижений вихідний опори і знаходить застосування для узгодження або розподілу високоомного джерела вхідного сигналу і низькоомного навантаження.

При цьому вхідна і вихідна напруги збігаються за фазою, а коефіцієнт підсилення за напругою близький до одиниці. Така схема має назву емітерного повторювача.

Недоліки підсилюючих каскадів на біполярних транзисторах: невеликий вхідний опір, що обмежує їх використання в схемах з високоомними джерелами сигналу; велика залежність характеристик транзистора від температури навколишнього середовища.

В значній мірі цих недоліків позбавлені схеми, виконані на польових транзисторах.

На рис.1.3 наданий підсилюючий каскад на польовому транзисторі, підключеному за схемою зі спільним витокком (СВ). Вхідний сигнал подається між затвором і загальною шиною. Вихідним сигналом є змінна напруга між стоком і загальною шиною. Призначення конденсаторів C і C_s таке, як і в схемах на біполярних транзисторах.

Вхідною керуючою величиною в польовому транзисторі є напруга між затвором і витокком. При зміні цієї напруги змінюються струм в колі стока і напруга на резисторі R_c , а отже, і на транзисторі.

Резистори R_c і R_z забезпечують режим спокою каскада. Крім того, резистор R_z стабілізує режим спокою аналогічно резистору R_e в каскаді з СЕ. За допомогою резистора R_z на затвор надається необхідна напруга спокою U_z .

На рис.1.4 зображений підсилюючий каскад на польовому транзисторі, включеному за схемою зі спільним стоком (СС). В цьому каскаді навантажувачий резистор R_n включений до кола витокку, а сток за змінною складовою струму і напруги з'єднаний з загальною точкою підсилювача. Вихідна напруга дорівнює змінній складовій падіння напруги на резисторі R_n : знімається крізь розподільчий конденсатор C_n .

Підсилюючий каскад зі спільним стоком аналогічний за своїми якостями емітерному повторювачу. Він має великий вхідний опір; його коефіцієнт передавання за напругою близький до одиниці, а вхідна і вихідна напруги співпадають за фазою.

Підсилюючий каскад зі спільним стоком має назву витоккового повторювача.

Зміст звіту

Звіт повинен включати: номер, назву і мету роботи; принципові схеми і короткий опис досліджуваних пристроїв; таблиці з даними вимірювань і результатами розрахунку; графіки амплітудних і частотних характеристик підсилювачів; осцилограми напруг; висновки за результатами досліджень.

Лабораторна робота № 2 ДОСЛІДЖЕННЯ ПІДСИЛЮВАЧІВ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ НА ТРАНЗИСТОРАХ І ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМАХ

Мета роботи – дослідження підсилюючих якостей і дрейфу нуля двох схем підсилювачів постійного струму (ППС), виконаних на транзисторах і інтегральних мікросхемах (ІМС).

Опис лабораторного стенда

Лабораторний стенд включає до свого складу такі функціональні вузли: підсилювач постійного струму на транзисторах ППС1, підсилювач постійного струму на інтегральних мікросхемах ППС2, блок живлення, кола регулювання вхідної напруги, напруги живлення і кола навантаження підсилювачів.

Принципова електрична схема стану зображена на рис.2.1. Схема ППС1 зібрана на п'яти транзисторах і становить трикаскадний підсилювач з безпосереднім зв'язком. В якості перших двох каскадів використовуються паралельно-балансні каскади на транзисторах VT1-VT2, VT3-VT4. Третій каскад з розділеним навантаженням (VT5) має з виходом другого каскаду потенціометричний зв'язок крізь резистор R_{св}.

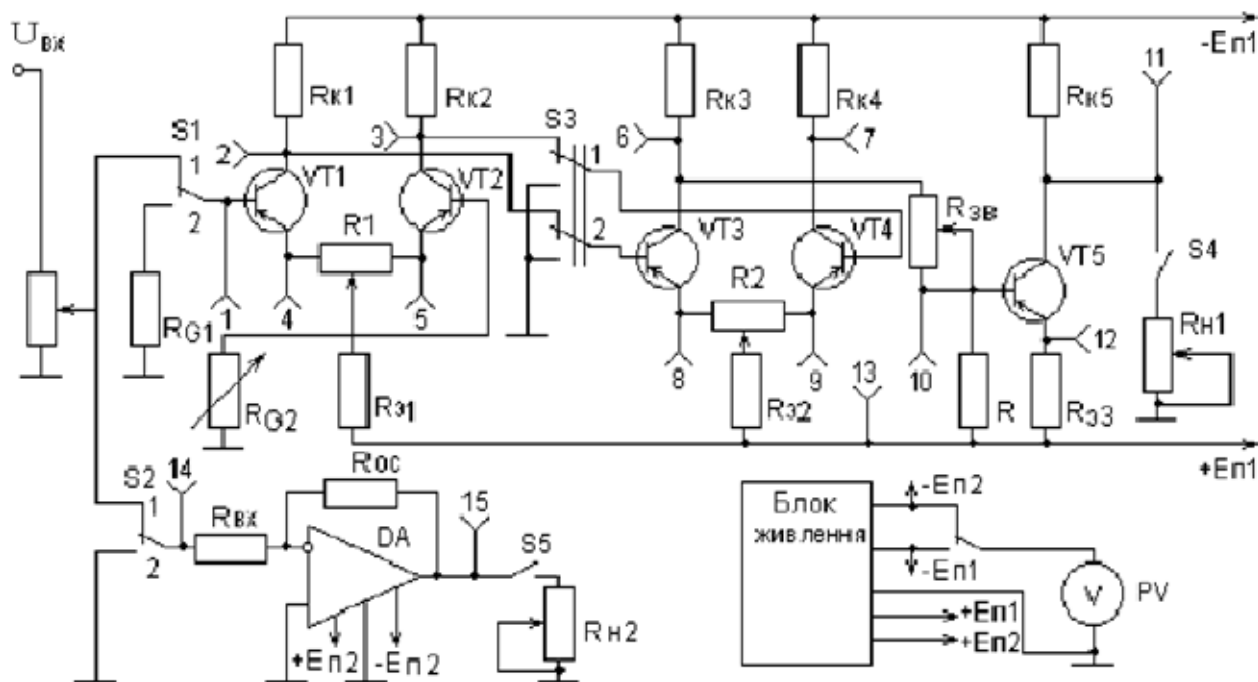


Рис.2.1 – Принципова електрична схема стану

Вхідний сигнал подається на базу транзистора VT1 першого каскаду. В колі бази транзистора VT2 включений резистор R_{G2}, опір якого підібрано таким чином, що він дорівнює внутрішньому опору джерела сигналу.

Емітери транзисторів паралельно-балансних каскадів з'єднані змінними резисторами R1 і R2, призначеними для балансування каскадів в режимі спокою (при відімкненому вхідному сигналі). Під час балансування використовується змінний резистор R_{св}, а також перемикач S3, який роз'єднує коло між каскадами і підключає входи другого каскаду до корпусу.

Для балансування першого каскаду використовується також змінний резистор R_{G2}.

Балансування усього підсилювача в цілому дозволяє встановити потенціал колектора транзистора вихідного каскаду близьким до нуля (по відношенню до "землі").

У ППС2 використовується мікросхема К140УД1Б, яка має такі основні параметри:

- напруга зміщення нуля (дрейф нуля) – не більше 17 мВ;
- вхідний струм – не більше 10 мкА;
- різниця вхідних струмів не більше 3 мкА;

- коефіцієнт підсилення $K_U = 1300 - 1200$;
- максимальна вихідна напруга – не більше 6 В;
- вихідний опір – 200 Ом.

Живлення ППС1 і ППС2 здійснюється від двох різнополярних стабілізованих джерел, при цьому джерела негативної напруги -Еп1 і -Еп2 є регульованими. Це дозволяє визначити залежність дрейфу нуля підсилювачів від напруги живлення.

Конструктивно стенд виконаний у вигляді настільного приладу.

На його лицьовій панелі розташовані вимірювальний прилад, контрольні гнізда та такі органи керування:

- 1) «СЕТЬ» – тумблер для включення стенда
- 2) S1 – тумблер для підключення ППС1 до джерела живлення або до корпусу;
- 3) S2 – тумблер для підключення ППС2 до джерела живлення або до корпусу;
- 4) S3 – тумблер для підключення другого каскаду ППС1 до виходу першого каскаду або до корпусу;
- 5) S4 – тумблер для підключення кола навантаження до ППС1;
- 6) S5 – тумблер для підключення кола навантаження до ППС2;
- 7) S6 – тумблер для підключення вольтметра до кіл живлення ППС1 або ППС2;
- 8) Uвх – ручка регулювання рівня вхідного сигналу;
- 9) Еп1, Еп2 – ручки регулювання напруг живлення;
- 10) R_{G2} – ручка змінного резистора для балансування ППС1;
- 11) R_{св} – ручка регулювання опору зв'язку між другим і третім каскадами ППС1;
- 12) R1 і R2 – ручки змінних резисторів для балансування каскадів ППС1;
- 13) PV – вольтметр для вимірювання напруг живлення.

Вхідні та вихідні напруги, а також потенціали заданих точок підсилювачів вимірюються за допомогою зовнішнього цифрового або електронного вольтметра постійного струму, підключеного до контрольних гнізд Гн1-Гн15 (вихід “земля” вольтметра підключається до гнізд, з'єднаних з корпусом).

Підготування стенда до роботи

1. Уважно ознайомитися з описом конструкції лабораторного стенду і призначенням кожного органа керування.
2. Усі ручки керування встановити в крайнє ліве положення.
3. Усі тумблери встановити в положення "Вниз".
4. Підготувати до роботи зовнішній електронний вольтметр.

Робоче завдання

1) Дослідження підсилювача постійного струму на транзисторах (ППС1)

1. Підготувати стенд до роботи.
2. Збалансувати схему в режимі спокою при $E_{п1} = -12$ В:
 - а) тумблери S1- S5 встановити в нижнє положення, тумблер S6- вгору; ручки регулювання - в лівє положення;
 - б) обертаючи ручку регулювання $-E_{п1}$, встановити за вольтметром $E_{п1} = -12$ В;
 - в) обертаючи ручку резистора R1, збалансувати перший паралельно-балансний каскад, добиваючись різниці потенціалів, рівної нулю між колекторами транзисторів VT1 і VT2 ($\Gamma_{н2} - \Gamma_{н3}$);
 - г) ручками регулювання резисторів R2 і Rсв добитися нульового потенціалу між колекторами VT3 та VT4 ($\Gamma_{н6} - \Gamma_{н7}$) і на колекторі вихідного каскаду відносно землі ($\Gamma_{нII}$, $\Gamma_{н\perp}$);
 - д) приєднати другий каскад (тумблер S3 встановити вгору) і ручками R1, R2 виконати остаточне балансування усієї схеми. На виході підсилювача повинен бути нульовий потенціал.

3. Визначити режим спокою усіх каскадів при $E_{п1} = -12$ В:

- а) перевірити балансування підсилювача;
- б) для усіх транзисторів заміряти з урахуванням знаку потенціали на колекторах $U'к$; емітерах $U'е$ та базах $U'б$ відносно “землі”. Для транзисторів VT1 і VT2 приймаємо значення $U'б1 = 0$ і $U'б2 = 0$. Дані вимірювань занести до табл. 2.1;
- в) розрахувати для усіх транзисторів різницю потенціалів $U'ке$ і $U'бе$ і струми спокою $I'к$:

$$U'ке = U'к - U'е, \quad U'бе = U'б - U'е, \quad I'к = (E_{п1} - U'к)/R_к,$$

де $R_{к1} = R_{к2} = 8,2$ кОм; $R_{к3} = R_{к4} = 2,7$ кОм; $R_{к5} = 4,7$ кОм.

Значення потенціалів підставити до формул з урахуванням знаку. Результати розрахунків занести до табл. 2.1.

4. Визначити режими транзисторів при подаванні вхідного сигналу:

- а) підключити джерело вхідного сигналу (тумблер S1 перевести в верхнє положення);
- б) при $U_{вх} = 0$ (ручка регулювання $U_{вх}$ – в лівому положенні) виконати балансування підсилювача ручкою резистора Rсв (при необхідності – ручкою R2);
- в) повільно збільшуючи вхідний сигнал, встановити на вході підсилювача напругу 40 мВ;
- г) заміряти з урахуванням знаку потенціали (відносно “землі”) на колекторах $U''к$ і базах $U''б$ усіх транзисторів. Дані вимірювань занести до табл. 2.1;

- д) визначити приріст потенціалів на колекторах і базах усіх транзисторів при подачі вхідного сигналу:

$$\Delta U_k = U'_k - U''_k, \quad \Delta U_b = U'_b - U''_b.$$

Значення потенціалів підставити до формул з урахуванням знаку. Дані розрахунку занести до табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Значення потенціалів на транзисторах

Тран- зистор	Експеримент					Розрахунок				
	U _{ВХ} = 0			U _{ВХ} =		U _{ВХ} = 0			U _{ВХ} =	
	U' _к	U' _е	U' _б	U'' _к	U'' _б	U' _{ке}	U' _{бе}	I' _к	ΔU _к	ΔU _б
	В	В	В	В	В	В	В	мА	В	В
VT1										
VT2										
VT3										
VT4										
VT5										

5. Зняти і побудувати передаточну (амплітудну) характеристику підсилювача $U_{вих} = f(U_{вх})$ під час вимкненого навантаження. До вимірювань перевірити балансування схеми при $E_{п1} = -12$ В.

6. Зняти і побудувати передаточну характеристику підсилювача $U_{вих} = f(U_{вх})$ при підключенні навантаження $R_{н1} = 10$ кОм. Тумблер S4 перевести в верхнє положення. До вимірювань перевірити балансування схеми. Дані вимірювань за пп. 5 –6 занести до табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Значення передаточної характеристики

Вихідна напруга ППС1	Вхідна напруга U _{ВХ} , мВ					
	10	20	30	40	50	60
U _{вих} , В Без R _н						
U _{вих} , В R _{н1} =10 кОм						

7. Визначити дрейф на виході першого паралельно-балансного каскаду при зміні $E_{п1}$ і при $U_{вх} = 0$:

- підключити вольтметр до колекторів першого каскаду ($\Gamma_{н2} - \Gamma_{н3}$);
- тумблер S1 переключити до низу. При $E_{п1} = -12$ В виконати балансування першого каскаду ручкою резистора R1, досягнувши показника нуля по вольтметру;
- виміряти дрейф вихідної напруги першого каскаду $U_{др12}$ при зміні $E_{п1}$. Дані вимірювань занести до табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Значення дрейфу нуля підсилювачів

Напруга дрейфу ППС1, мВ	-Еп1, В				
	12	11	10	9	8
Удр12					
Удр.вих					
Едр					

8. Визначити дрейф на виході ППС1 при зміні Еп1:

- а) підключити вольтметр до виходу підсилювача (Гн11, ГнL);
- б) провести балансування підсилювача при Еп1 = -12 В;
- в) виміряти дрейф вихідної напруги підсилювача Удр.вих при зміні Еп1. Дані вимірювання занести до табл. 2.3.

9. Визначити коефіцієнт підсилення усіх каскадів підсилювача і коефіцієнт передачі γ кола зв'язку у відповідності з даними табл. 2.1 та формулами:

$$K1 = U_{вих}/U_{вх} = (\Delta U_{к1} - \Delta U_{к2})/U_{вх};$$

$$K2 = (\Delta U_{к3} - \Delta U_{к4})/(\Delta U_{к1} - \Delta U_{к2});$$

$$K3 = \Delta U_{к5}/\Delta U_{б5};$$

$$\gamma = \Delta U_{б5}/\Delta U_{к3};$$

$$K_U = K1 \cdot K2 \cdot K3 \cdot \gamma.$$

10. Розрахувати дрейф, зведений до входу підсилювача (див. п.2.4). Дані розрахунку занести до табл. 2.3.

2) Дослідження підсилювача постійного струму на інтегральній мікросхемі (ППС2)

1. Підготувати стенд до роботи.
2. Збалансувати підсилювач у режимі спокою:
 - а) підключити вольтметр до виходу підсилювача (Гн15 – ГнL);
 - б) тумблери S1, S2 та S5 знаходяться у нижньому положенні, тумблер S6 – в положенні -Еп2;
 - в) обертанням ручки регулювання "-Еп2" встановити Еп2= -12В.

3. Визначити дрейф нуля підсилювача при зміні Еп2. Дані вимірювань занести до табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Значення дрейфу нуля підсилювача

Напруга дрейфу ППС2, мВ	-Еп2, В				
	12	11	10	9	8
Удр.вих					
Едр					

4. Розрахувати дрейф, зведений до входу підсилювача (див. п. 2.4). Дані розрахунку занести до табл.2.4.

5. Зняти і побудувати передаточну характеристику підсилювача $U_{вих} = f(U_{вх})$ при відключеному навантаженні (тумблер S5 – у нижньому положенні):

- а) підключити джерело вхідного сигналу (тумблер S2 – у верхньому положенні);
- б) зняти залежність $U_{вих} = f(U_{вх})$.

6. Зняти і побудувати залежність $U_{вих} = f(U_{вх})$ при підключеному навантаженні $R_{н2} = 5,1 \text{ кОм}$:

- а) підключити навантаження (тумблер S5 перевести до верхнього положення);
- б) зняти залежність $U_{вих} = f(U_{вх})$. Дані вимірювань занести до табл. 2.5.

7. Визначити вхідний опір підсилювача:

- а) повільно збільшуючи вхідний сигнал, встановити на виході підсилювача напругу $U'_{вих} = 2 \text{ В}$;
- б) відключити навантаження (тумблер S5 – у нижньому положенні) та знову виміряти $U''_{вих}$. Вхідний опір підсилювача $R_{вих} = R_{н2} \cdot (U''_{вих}/U'_{вих} - 1)$, де $R_{н2} = 5,1 \text{ кОм}$.

Таблиця 2.5 – Значення передаточної характеристики.

Вихідна напруга ППС1	Вхідна напруга $U_{вх}$, мВ						
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
$U_{вих}$, В без $R_{н2}$							
$U_{вих}$, В $R_{н2} = 5,1 \text{ кОм}$							

8. Визначити коефіцієнт підсилення підсилювача при $U_{вих}$, відповідному лінійній ділянці передаточної характеристики:

$$K_U = \Delta U_{вих} / \Delta U_{вх}$$

Методичні вказівки з дослідження підсилювачів постійного струму

Слід мати на увазі, що підсилювачі постійного струму (ППС) мають ряд особливостей, пов'язаних з підсиленням сигналів, що повільно змінюються, нижня частота яких наближається до нуля. Ці особливості викликані необхідністю здійснення безпосередніх зв'язків джерела сигналу з входом підсилювача, а також між каскадами підсилювача. Розподільні конденсатори в даному разі не застосовуються.

При безпосередньому зв'язку каскадів значними стають повільні зміни напруги джерела живлення, а також зміни параметрів елементів схеми у часу і під впливом температури. Ці причини викликають зміни потенціалів у схемі, які не відрізняються від змін через корисний сигнал. Мимовільна зміна вихідної напруги ППС при незмінній нарузі вхідного сигналу, тобто дрейф нуля підсилювача $U_{др.вих}$, визначається як максимальна зміна вихідної напруги при замкнутому вході підсилювача. Якість ППС оцінюють за напругою дрейфу, зведеному до входу підсилювача:

$$E_{др} = U_{др.вих} / K_U.$$

Слід також мати на увазі, що безпосередній зв'язок потребує узгодження потенціалів виходу попереднього каскаду зі входом наступного каскаду, щоб забезпечити нормальний режим роботи. Крім того, необхідні спеціальні заходи узгодження підсилювача з джерелом сигналу і навантаженням. Підключення джерел сигналу не повинно порушувати режим спокою першого каскаду, а при відсутності сигналу напруга на виході підсилювача повинна дорівнювати нулю.

Суттєвим недоліком схем ППС, побудованих на основі безпосереднього зв'язку найпростіших підсилюючих каскадів, є великий дрейф нуля, бо незначні зміни напруги на колекторах перших каскадів підсилюються наступними каскадами і передаються на вихід підсилювача. Радикальним засобом зменшення дрейфу є застосування у ППС паралельно-балансного каскаду.

В даній роботі досліджується трикаскадний ППС, що включає два паралельно-балансних каскади і третій каскад з розподіленням навантаженням (див. рис.2.1).

Необхідно звернути увагу на особливості схеми паралельно-балансного каскаду. Так, наприклад, перший каскад є міст, плечима якого є резистори $R_{k1} = R_{k2}$ і транзистори $VT1$ та $VT2$. В режимі спокою при повній симетрії схеми $U_{k1} = U_{k2}$ і $U_{вих} = U_{k1} - U_{k2} = 0$.

Малий дрейф нуля цієї схеми пояснюється тим, що, наприклад, при зміні живильної напруги потенціали обох колекторів одержують рівні збільшення $\Delta U_{k1} = \Delta U_{k2}$, тобто $U_{др.вих} = \Delta U_{k1} - \Delta U_{k2} = 0$. У реальній схемі через деяку асиметрію ($\Delta U_{k1} \neq \Delta U_{k2}$) з'являється дрейф, який буде незначним, бо він обумовлюється не самими збільшеннями потенціалів, а їх різницею. Вхідний сигнал в цій схемі може подаватися або між базами (симетричний вхід), або на одну з баз (несиметричний вхід). В першому випадку на обох базах з'являються сигнали, рівні за значенням і протилежні за знаком. Це призводить до зниження

струму колектора одного з транзисторів і збільшення струму другого транзистора, що в свою чергу викликає однакові і протилежні за знаком зміни потенціалів колекторів ΔU_{k1} та $-\Delta U_{k2}$, тобто з'являється вихідний сигнал

$$U_{\text{вих}} = \Delta U_{k1} - (-\Delta U_{k2}) = 2\Delta U_{k1}.$$

При цьому сумарний струм, який проходить крізь резистор R_{e1} , залишається постійним ($\Delta I_{e1} = -I_{e2}$). Сталість цього струму, а також сталість потенціалу емітера при наявності вхідного сигналу свідчить, що в даній схемі відсутній негативний зворотній зв'язок за вхідним сигналом, тобто значення R_{e1} не впливає на коефіцієнт підсилення каскаду.

Якщо вхідний сигнал надається на одну з баз ($VT1$), а потенціал бази транзистору $VT2$ постійний, то при наданні сигналу $-U_{\text{вх}}$ збільшуються колекторний та емітерний струми транзистора $VT1$, що призводить до появи позитивного збільшення потенціалу емітерів на ΔU_e . При фіксованому потенціалі бази $VT2$ це призводить до зменшення його колекторного струму. Таким чином, в обох випадках результат дії вхідного сигналу є однаковим.

В досліджуваному підсилювачі перший каскад має несиметричний вхід. Для симетрії схеми база $VT2$ об'єднана з загальною шиною за допомогою резистора R_{G2} , опір якого дорівнює внутрішньому опору джерела сигналу. Другий паралельно-балансний каскад має симетричний вхід. Вихідна напруга знімається з колектора $VT3$ – несиметричний вихід. Дрейф цього каскаду більший, ніж у першого каскаду, бо вихідна напруга знімається лише з одного колектора, тобто компенсація відсутня.

Слід звернути увагу на використання в ППС двох джерел живлення, що суттєво спрощує задачу підключення джерел сигналу і навантаження. Через наявність джерела $+E_{п1}$ в першому каскаді виникає необхідна напруга U_{be} при нульовому потенціалі бази. Це дає змогу заземлювати джерело вхідного сигналу і включати його безпосередньо до кола бази. Для зручності підключення навантаження до виходу схеми третій каскад виконаний у вигляді каскаду з розподілом навантаження зі зсувом рівня. Відповідним вибором опору резистору зв'язку $R_{св}$ можна одержати на колекторі $VT5$ в режимі спокою потенціал, який дорівнює нулю.

В даній роботі досліджується також операційний підсилювач (ОП) в інтегральному виконанні типу 140УД1Б, схема якого зображена на рис.2.2. Схема ОП має три каскади. Перший паралельно-балансний каскад має два входи на базі транзисторів $VT1$ і $VT2$ – симетричний каскад. Один з виходів зветься інвертуючим, другий – неінвертуючим. При поданні сигналу на інвертуючий вхід вихідний сигнал підсилювача змінює фазу на протилежну. Замість високоомного резистора R_e , забезпечуючого режим джерела струму в емітерному колі, ввімкнений транзистор $VT3$, який має великий опір для приростів (опір за змінним струмом). Транзистор $VT4$ у діодному включенні забезпечує режим зміщення і термостабілізації.

Виходи першого каскаду зв'язані зі входами другого на транзисторах $VT5$ і $VT6$. Вихідний сигнал другого каскаду знімається з колектора транзистора $VT6$ (несиметричний вихід).

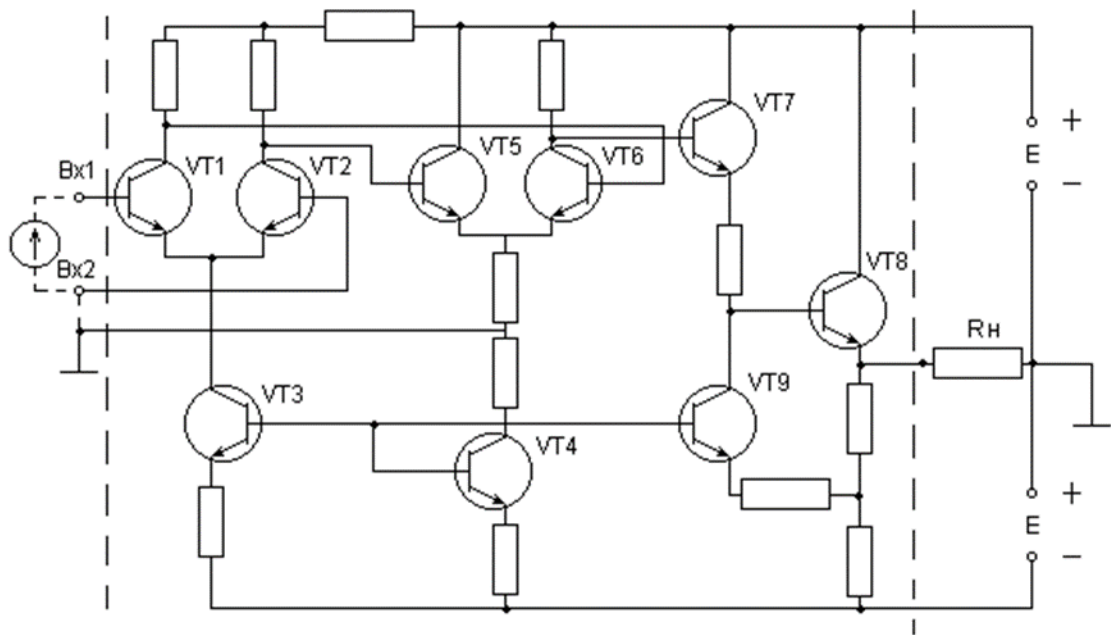


Рис. 2.2 – Операційний підсилювач 140 УДІБ

Третій каскад (транзистори VT7, VT8 і VT9) має схему зсуву рівня (VT7, VT9) і вихідний емітерний повторювач (VT8). Слід мати на увазі, що за рахунок безпосереднього зв'язку між каскадами відбувається підвищення потенціалу колектора VT6 другого каскаду задача схеми зсуву рівня складається в зниженні потенціалу колектора VT6 до такого значення, щоб на виході підсилювача одержати нульовий потенціал при відсутності вхідного сигналу.

Транзистор VT8 належить до контуру позитивного зворотного зв'язку, який дозволяє забезпечити високий коефіцієнт підсилення третього каскаду.

Живлення схеми відбувається від двох джерел +E і -E з однаковими напругами.

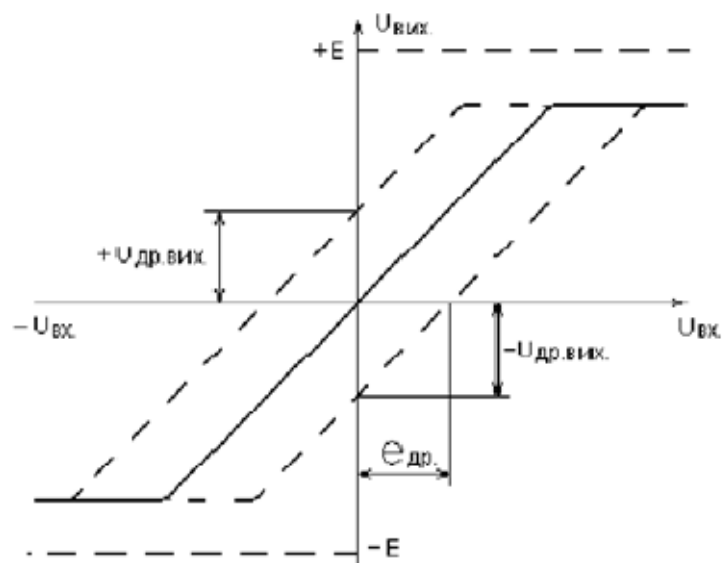


Рис. 2.3 – Передаточна характеристика ОП

Слід звернути увагу на вигляд передаточної характеристики ОП $U_{вих} = f(U_{вх})$, яка знімається при поданні сигналу на один з входів при нульовому сигналі на другому (рис. 2. 3).

При наявності балансування ОП передаточна характеристика проходить через нуль. Крива складається з двох ділянок. Похилій ділянці кривої відповідає пропорційна залежність вихідної напруги від вхідної. Кут нахилу ділянки визначається коефіцієнтом підсилення ОП. Горизонтальна ділянка кривої відповідає режиму відкритого (насиченого) або зачиненого транзистора вихідного каскаду (VT8). Значення максимальних вихідних напруг обох полярностей близькі до напруг джерел живлення.

При відсутності балансування відбувається зміщення передаточної характеристики (пунктирні криві). При $U_{вх} = 0$ вихідна напруга ОП може бути більшою або меншою нуля ($\pm U_{др.вих}$). Щоб її компенсувати, тобто виконати балансування ОП, на вхід необхідно подати напругу зміщення нуля, яка дорівнює дрейфу нуля Едр, зведеному до входу ОП.

Зміст звіту

Звіт повинен включати: номер, назву і мету роботи, принципові схеми, короткий опис досліджуваних пристроїв, таблиці з розрахованими і експериментальними даними, графіки передаточних характеристик підсилювачів; висновки за результатами досліджень.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Колонтаєвський Ю.П., Сосков Ю.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум. За ред. А.Г. Соскова. – К.: Каравела, 2003. – 368 с.

2. Основы промышленной электроники: Учебник /Под ред. В.Г. Герасимова. – М.: Высш. шк., 1986. – 336 с.

3. Основы схемотехники электронных систем: Підручник / В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін. – К.: Вища шк., 2004. – 527 с.