

## ЛЕКЦІЯ 5

### Тема: ПІДСИЛЮВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНИХ СИГНАЛІВ

#### ПЛАН

- 5.1 Загальні відомості
- 5.2 Принцип побудови підсилювальних каскадів
- 5.3 Підсилювальні каскади на біполярних транзисторах
- 5.4 Підсилювальний каскад на польовому транзисторі
- 5.5 Загальна відомості про зворотні зв'язки
- 5.6 Класифікація зворотних зв'язків
- 5.7 Підсилювачі постійного струму на транзисторах
- 5.8 Операційні підсилювачі

**Час:** 2 год.

**Література:** [1,5, 6].

#### 5.1 Загальні відомості

Пристрій, що здійснює керування енергією, при якому шляхом витрати невеликої її кількості можна управляти енергією у багато разів більше, називається *підсилювачем*.

Підсилювач має вхідний ланцюг, на який подається посилюваний сигнал, і вихідний ланцюг, з якого знімається вихідний сигнал, і подається на навантаження.

Основні показники підсилювачів:

- 1) коефіцієнт підсилення за напругою

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}};$$

- 2) коефіцієнт підсилення за струмом

$$K_I = \frac{I_{вих}}{I_{вх}};$$

- 3) коефіцієнт підсилення за потужністю

$$K_P = \frac{P_{вих}}{P_{вх}} = K_U \cdot K_I;$$

4) амплітудно-частотна характеристика підсилювача - залежність модуля коефіцієнта підсилення від частоти вхідного сигналу;

5) фазо-частотна характеристика - залежність кута зрушення фази між вихідною й вхідною напругою від частоти.

6) робочий діапазон частот - смуга частот від нижчої робочої частоти  $f_n$  до вищої робочої частоти  $f_v$ , в межах якої коефіцієнт підсилення не виходить за межі заданих допусків;

7) лінійні викривлення - обумовлені відхиленнями частотних характеристик від ідеальних у робочому діапазоні частот. Вони викликані наявністю в ланцюгах підсилювача реактивних елементів і інерційних властивостей напівпровідникових приладів;

8) нелінійні викривлення - обумовлені наявністю в підсилювачі елементів із нелінійними вольт-амперними характеристиками;

9) коефіцієнт корисної дії - являє собою відношення вихідної потужності, що віддається підсилювачем у навантаження, до загальної потужності, споживаної від джерела живлення:  $\eta = P_{вих} / P_0$ ,  $P_{вих}$  - вихідна потужність, Вт;  $P_0$  - загальна потужність, Вт де ;

10) вхідний і вихідний опір підсилювача;

11) динамічний діапазон - відношення найбільшої припустимої вхідної напруги до її найменшого припустимого значення

$$D = \frac{U_{ex\ max}}{U_{ex\ min}}$$

де  $U_{ex\ max}$  - найбільша припустима вхідна напруга, В;

$U_{ex\ min}$  - найменша припустима вхідна напруга, В;

Усі підсилювачі можна підрозділити на два класи - з лінійним і нелінійним режимами роботи.

У підсилювачах із лінійним режимом роботи вихідний сигнал повинен бути близьким за формою до вхідного.

У залежності від режиму роботи підсилювачі підрозділяються (рис. 10):

- на підсилювачі сигналу, що повільно змінюється (підсилювачі постійного струму - ППС), нижня частота  $f_n \rightarrow 0$ , а верхня границя частоти залежно від призначення становить  $f_g = 10 \dots 100$  Гц;
- підсилювачі звукових частот (ПЗЧ),  $f_n$  - десятки Гц,  $f_g$  - 15...20 Гц;
- підсилювачі високої частоти (ПВЧ),  $f_n$  - десятки кГц,  $f_g$  - десятки - сотні мГц;
- широкополосні підсилювачі (ШПП),  $f_n$  - десятки Гц,  $f_g$  - десятки - сотні мГц;
- вузькополосні підсилювачі (ВПП), характеризуються пропусканням вузької смуги частот.

-

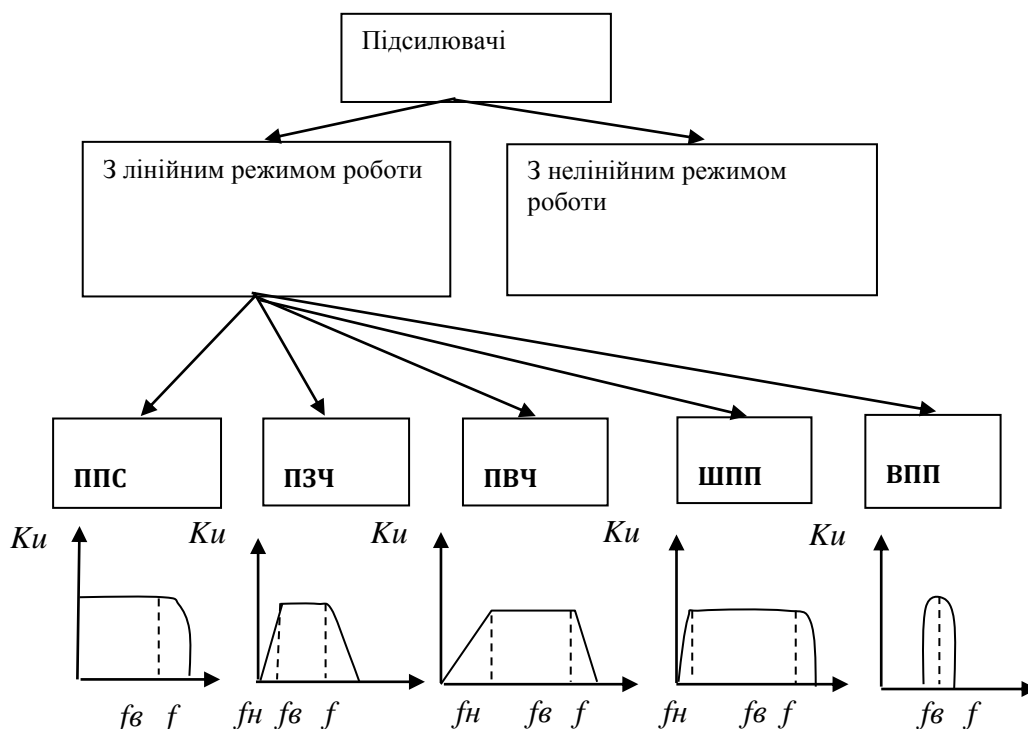


Рисунок 10 - Класифікація підсилювачів:

*ППС – підсилювачі постійного струму;*

*ПЗЧ – підсилювач звукових частот;*

*ПВЧ – підсилювач високої частоти;*

*ШПП – широкополосний підсилювач;*

*ВПП – вузькополосний підсилювач*

У підсилювачах із нелінійним режимом роботи після досягнення деякої величини вхідного сигналу при його збільшенні сигнал на виході підсилювача залишається без зміни, тобто, обмежується на деякому рівні. Такі підсилювачі застосовуються для перетворення синусоїдального або іншої форми сигналу в імпульсний сигнал, для посилення імпульсів. Вхідні сигнали управляють передачею енергії від джерела живлення у навантаження.

## 5.2 Принцип побудови підсилювальних каскадів

Багато підсилювачів складаються з декількох ступенів, що здійснюють послідовне посилення сигналу. Зазвичай щабель посилення називається каскадом

Принцип побудови й роботи різних підсилювачів зручно показати на прикладі структурної схеми рис. 11.

Основним елементом підсилювача є підсилювальний елемент ПЕ, функцію якого виконує біполярний або польовий транзистор і резистор  $R$ . Разом з напругою електроживлення  $E$ . Ці елементи утворюють вихідний ланцюг підсилювача. Посилюваний сигнал  $U_{вх}$ , прийнятий на рис.11 синусоїдальним, подається на вхід ПЕ. Вихідний сигнал знімається з виходу ПЕ або з резистора  $R$ . Зміна вихідного сигналу створюється в результаті зміни опору ПЕ й, отже, струму  $i$  у вихідному ланцюзі під впливом вхідної напруги.

Процес посилення ґрунтується на перетворенні енергії джерела постійної напруги  $E$  в енергію змінної напруги у вихідному ланцюзі за рахунок зміни опору ПЕ за законом, що задається вхідним сигналом.

Через використання для електроживлення джерела постійного напруга  $E$  струм  $i$  у вихідному ланцюзі підсилювача є односпрямованим (рис. 11, а). При цьому змінний струм  $i$  напруга вихідного ланцюга, пропорційні струму й напрузі вхідного сигналу, варто розглядати як змінні складові сумарних струму й напруги, що накладаються на їх постійні складові  $I_n$ , (рис.11, б). Зв'язок між постійними й складовими повинен бути такий, щоб амплітудні значення змінних не перевищували постійних складових, тобто  $I_n > I_m$ ,  $U_n \geq U_m$ .

Невиконання цих умов приведе до викривлення форми вихідного сигналу.

Таким чином, для забезпечення роботи підсилювального каскаду при змінному вхідному сигналі в його вихідному ланцюзі повинні бути створені постійні складові струму  $I_n$  і напруги  $U_n$ .

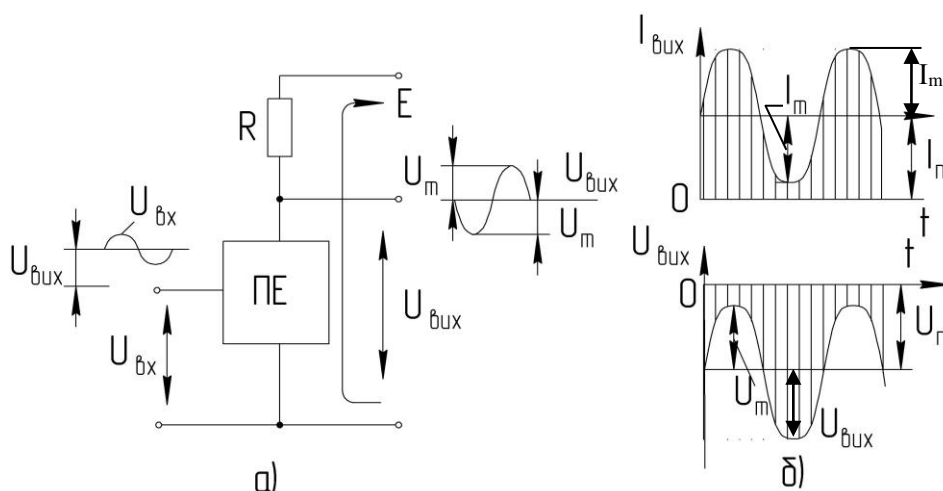


Рисунок 11 - Принцип побудови (а) і часові діаграми (б) роботи підсилювального каскаду

Це завдання вирішують шляхом подачі у вхідний ланцюг підсилювача крім посилюваного сигналу відповідної постійної напруги  $U_{вхсп}$  або струму  $I_{вхсп}$ . Постійні складові струми й напруги при відсутності вхідного сигналу визначають режим спокою підсилювача. Таким чином, параметри режиму спокою  $I_{вхсп}$ ,  $U_{вхсп}$ ,  $U_{вихсп}$ ,  $I_{вихсп}$  характеризують електричний стан схеми при відсутності вхідного сигналу.

Підсилювальні властивості підсилювача ґрунтуються на наступному: при подачі на керований елемент напруги або струму вхідного сигналу змінюється опір ПЕ, внаслідок чого в струмі вихідного ланцюга створюється змінна частина.

Показники підсилювальних каскадів залежать від способу включення транзистора, що виконує роль керованого елемента.

### 5.3 Підсилювальні каскади на біполярних транзисторах

Одним із найпоширеніших підсилювальних каскадів на біполярних транзисторах є каскад із загальним емітером (каскад ЗЕ). У цьому каскаді емітер є загальним електродом для вхідного й вихідного ланцюгів.

Основними елементами схеми є джерело живлення  $E_k$ , керований елемент-транзистор  $VT$  і резистор  $R_k$ . Ці елементи утворюють головний ланцюг підсилювального каскаду, у якому за рахунок протікання керованого колекторного струму створюється посилена змінна напруга на виході схеми. Схема найпростішого підсилювального каскаду на біполярному транзисторі представлена на рисунку 12.

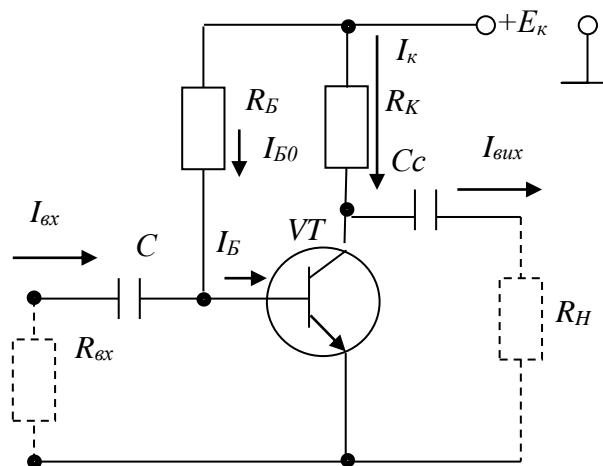


Рисунок 12 - Схема найпростішого підсилювального каскаду на біполярному транзисторі

Інші елементи виконують допоміжну роль. Конденсатори  $C$ ,  $C_c$  є розділяючими. Конденсатор  $C$  виключає шунтування вхідного ланцюга каскаду ланцюгом джерела вхідного сигналу по постійному струмі, що

дозволяє, по-перше, виключити протікання постійного струму через джерело вхідного сигналу по ланцюзі  $E_K - R_B - R_{ex}$  й, по-друге, забезпечити незалежність від внутрішнього опору цього джерела  $R_{вн}$  напруги на базі  $U_{Бсп}$  в режимі спокою.

Функція конденсатора  $C_c$  зводиться до пропущення в ланцюг навантаження змінної складової напруги й затримці постійної складової. Резистор  $R_B$  задає режим спокою каскаду. Оскільки біполярний транзистор управляється струмом, струм спокою транзистора створюється завданням відповідної величини струму бази спокою  $I_{Бсп}$ . Струм спокою забезпечується резистором  $R_B$  по ланцюзі  $E_K - R_B$  - база - емітер  $VT$  - загальна шина. Полярність джерела живлення  $E_K$  відповідає підсилювальному каскаду із транзистором типу  $n-p-n$ . Для підсилювального каскаду із транзистором типу  $p-n-p$  полярність джерела  $E_K$  повинна бути протилежною.

Для колекторного ланцюга підсилювального каскаду можна записати:

$$E_K = U_K + I_K R_K$$

тобто сума падіння напруги на резисторі  $R_K$  й колекторної напруги  $U_K$  транзистора завжди дорівнює постійній величині  $E_K$ .

#### 5.4 Підсилювальний каскад на польовому транзисторі

Підсилювальні каскади на польових транзисторах мають істотно більший вхідний опір у порівнянні з підсилювальними каскадами на біполярних транзисторах. Найбільше застосування знаходять підсилювальні каскади із загальним витоком (рис. 13).

У цьому каскаді резистор  $R_c$ , за допомогою якого здійснюється посилення, включений в ланцюг стоку. У ланцюг витоку включений резистор  $R_B$ , що створює необхідне падіння напруги в режимі спокою  $U_{30}$ , що є напругою зсуву між затвором і витоком.

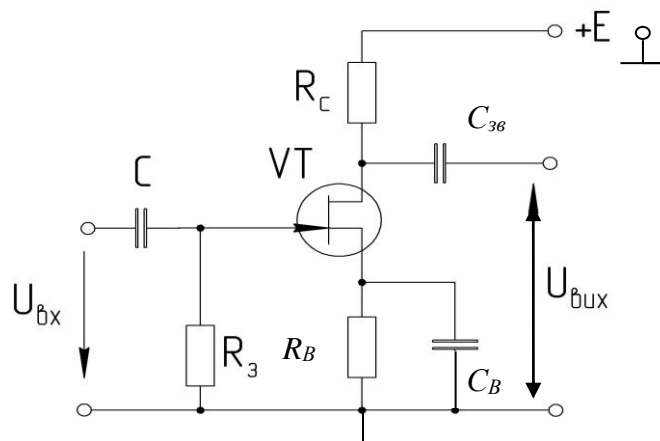


Рисунок 13 - Підсилювальний каскад із загальним джерелом

Резистор у ланцюзі затвора  $R_3$  забезпечує в режимі спокою рівність потенціалів затвора й загальної точки підсилювального каскаду.

Таким чином, потенціал затвора є негативним щодо потенціалу.

### 5.5 Загальні відомості про зворотні зв'язки

**Зворотним зв'язком** (ЗЗ) у підсилювачах називають . На рис.2.18 зображена структурна схема підсилювача зі зворотним зв'язком. Зворотні зв'язки в підсилювачах звичайно створюють спеціально. Однак іноді вони виникають мимовільно.

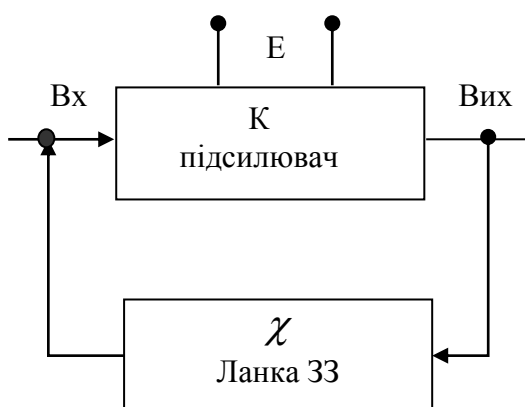


Рисунок 1 - Схема підсилення ЗЗ

Мимовільні зворотні зв'язки називають паразитними. Підсилювач

характеризується коефіцієнтом  $K$ , а ланка ЗЗ характеризується коефіцієнтом

передачі  $\chi$ . Коефіцієнти  $K$  и  $\chi$  зазначені у вигляді комплексних значень. У підсилювачах застосовуються різні види ЗЗ.

У схемній реалізації підсилювача й ланцюга ЗЗ можливі варіанти, коли ЗЗ існує або тільки для повільно змінюючогося вихідного сигналу, або тільки для змінної його складової, або для всього сигналу. У цих випадках говорять, що зворотний зв'язок здійснений за змінним струмом, як за постійним так і за змінним струмом.

### 5.6 Класифікація зворотних зв'язків

Залежно від способу одержання сигналу розрізняють:

- зворотний зв'язок за напругою, коли сигнал ЗЗ пропорційний напрузі вихідного ланцюга;
- зворотний зв'язок за струмом, коли сигнал ЗЗ пропорційний току вихідного ланцюга;
- комбінований ЗЗ, коли сигнал ЗЗ пропорційний як напрузі, так і струму вихідного ланцюга.

За способом введення у вхідний ланцюг сигналу зворотного зв'язку розрізняють:

- послідовну схему введення ЗЗ, коли напруга сигналу ЗЗ сумується із вхідною напругою;
- паралельну схему введення ЗЗ, коли струм ланцюга ЗЗ сумується зі струмом вхідного сигналу;

- змішану схему введення ЗЗ, коли із вхідним сигналом складається струм і напруга ланцюга ЗЗ.

**Зворотний зв'язок** називають **від'ємним**, якщо він зменшує коефіцієнт підсилення (зменшує вхідний сигнал), і додатним, якщо коефіцієнт підсилення зростає (збільшує вхідний сигнал),

Для кількісної оцінки ступеня впливу ланцюга ЗЗ використовують коефіцієнт зворотного зв'язку, що показує яка частина вхідного сигналу, надходить на вхід підсилювача.

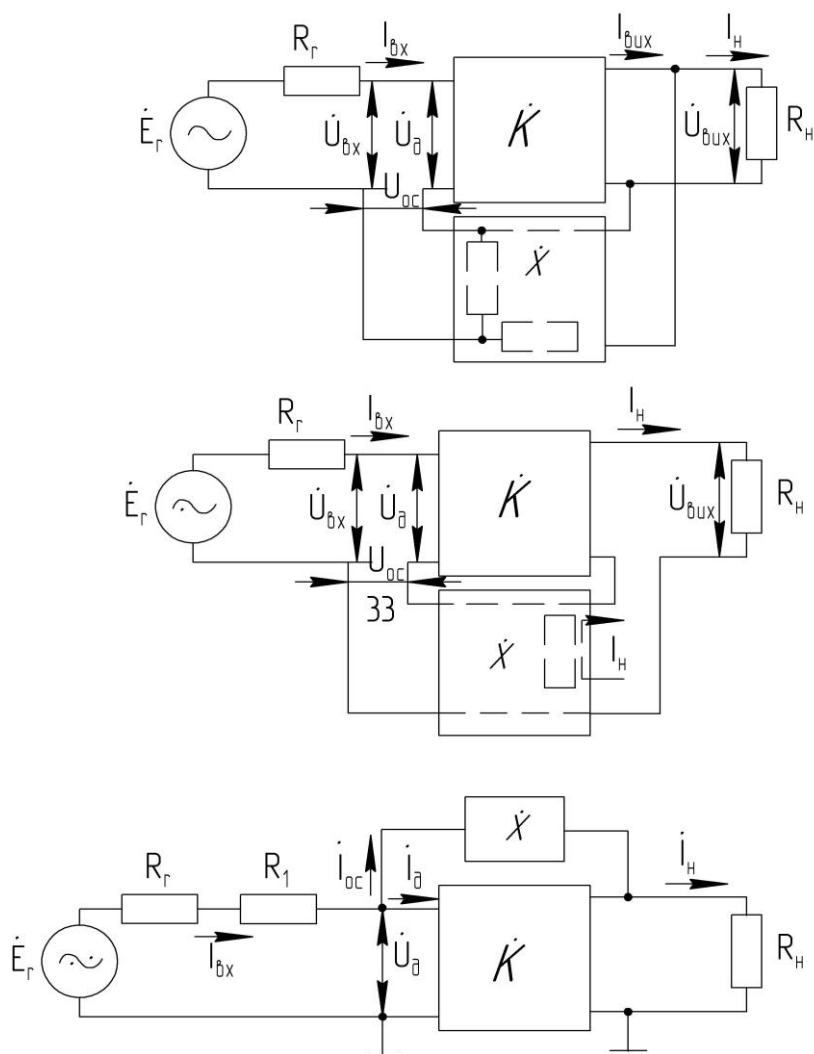


Рисунок 2 - Різновиди ЗЗ

$$U = U_{\text{ао}} - U_{\text{зз}}$$

$$\chi = \frac{U_{\text{зз}}}{U_{\text{вих}}} \text{ або } \chi = \frac{I_{\text{зз}}}{I_{\text{вих}}}$$

При від'ємному ЗЗ за напругою для вхідного ланцюга підсилювача можна скласти рівняння запишеться

$$U_{\text{вих}} = U_{\text{ос}} + U_y = U_y + \chi U_{\text{вих}}$$



Для підсилювача без ЗЗ

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_n}$$

З огляду на (44) коефіцієнт підсилення підсилювача з ЗЗ

$$K_{Uoc} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}} = \frac{U_{вих}}{U_y + \chi U_{вих}}$$

Розділивши в (45) чисельник і знаменник на  $U_n$ , одержимо

$$\hat{E}_{U_{\zeta\zeta}} = \frac{K_U}{1 + \chi K_U}$$

Із цієї формули бачимо, що введення від'ємного ЗЗ зменшує коефіцієнт підсилення підсилювача в  $1 + \chi K_U$  раз. Аналогічно можна показати, що додатний ЗЗ збільшує коефіцієнт підсилення підсилювача в  $1 - \chi K_U$  разів.

У результаті введення ЗЗ:

- підвищується стабільність коефіцієнта підсилення підсилювача при змінах параметрів транзисторів;
- знижується рівень нелінійних викривлення;
- збільшується вхідне й зменшується вихідний опір підсилювача й т.д.

На рис.3,а наведена схема підсилювача з від'ємним зворотнім зв'язком за струмом, а на рис.3,б - схема підсилювача з від'ємним ЗЗ за напругою.

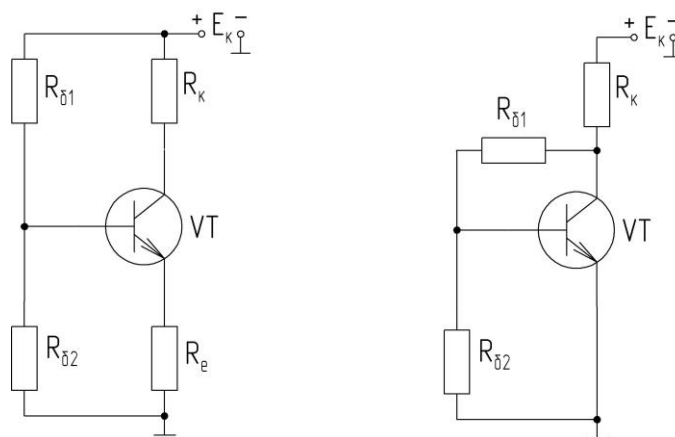


Рисунок 3 - Схема підсилювача з від'ємним зворотнім зв'язком за струмом (а) і схема підсилювача з від'ємним ЗЗ за напругою (б).

### 5.7 Підсилювачі постійного струму на транзисторах

Підсилювачі постійного струму (ППС) призначені для посилення сигналів, що повільно змінюються в часі, тобто сигналів, еквівалентна частота яких наближається до нуля.

Тому ППС повинні мати амплітудно-частотну характеристику.

В ППС виникають специфічні труднощі:

1) пов'язані з відділенням корисного сигналу від постійних складових напруги й струму, тому що в ППС використовуються тільки безпосередні міжкаскадні зв'язки;

2) пов'язані із дрейфом нуля появи сигналу на виході підсилювача за рахунок різних дестабілізуючих факторів при відсутності сигналу на вході.

В ППС відділення постійних складових напруги, як правило, здійснюється компенсаційним методом. Найпростіший ППС (рис.4,а) складається зі звичайного підсилювального каскаду на біполярному транзисторі за схемою з ЗЕ. У цього підсилювального каскаду відсутній конденсатор у ланцюзі емітера, що приводить до зниження коефіцієнта підсилення через виникнення від'ємного ЗЗ, не забезпечується більша смуга пропускання. На відміну від підсилювачів з ємнісним зв'язком у розглянутому ППС навантажувальний резистор включений між колектором транзистора й середньою точкою дільника  $R_3, R_4$ , а вхідна напруга прикладена між базою транзистора й середньою точкою дільника  $R_1, R_2$ . Потенціали середніх точок дільників такі, що під час відсутності вхідної напруги ( $U_{вх}=0$ )  $\varphi_{б} = \varphi_1$  і  $\varphi_{к} = \varphi_2$ , внаслідок чого відсутній як струм у вхідному ланцюзі, так і струм у навантажувальному резисторі ( $i_{н} = 0$ ). При подачі вхідного сигналу з'являється струм у вхідному ланцюзі, змінюються базовий і колекторний струми транзистора, що приводить до зміни напруги на колекторі транзистора й появи струму  $i_{н}$ . Потенційна діаграма підсилювача показує, що під час відсутності вхідного сигналу  $U_{вих} = 0$ , при  $U_{вх} < 0, U_{вих} > 0$ , а при  $U_{вх} > 0, U_{вих} < 0$  (рис.4, б).

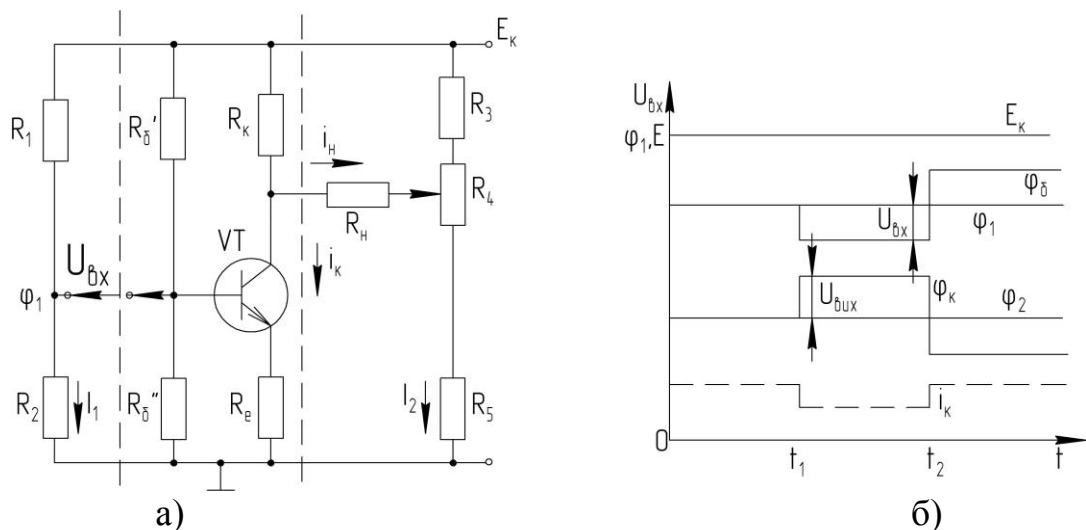


Рисунок 4 - Найпростіший ППС (а) - схема, (б) - часові діаграми роботи

Для боротьби із дрейфом нуля приймають цілий ряд мір:

1) стабілізацію напруги джерела електроживлення, стабілізацію температурного режиму й тренування транзисторів;

- 2) використання диференціальних (балансних) схем ППС;
- 3) перетворення вхідної постійної напруги в змінну, посилення змінної напруги й зворотне перетворення змінної напруги в постійну на виході підсилювача.

Найбільше застосування знаходять диференціальні схеми ППС, побудовані за принципом чотирьохплечевого моста (рис.5), що складається із двох резисторів  $R_2$ ,  $R_3$  і двох транзисторів  $VT_1$  і  $VT_2$ . На одну діагональ моста подана напруга електроживлення  $E_1$ ,  $E_2$ , а на другу - включений навантажувальний резистор  $R_H$ . Змінний резистор  $R_H$  служить для балансування каскаду (установки нуля). Переміщенням движка потенціометра домагаються нульового струму в навантажувальному резисторі  $R_H$  під час відсутності вхідного сигналу. Якщо параметри транзисторів і резисторів  $R_2$ ,  $R_3$  ідентичні, то при зміні напруги  $E_1$ ,  $E_2$  і зміна температури навколишнього середовища практично не будуть викликати струму в навантажувальному резисторі.

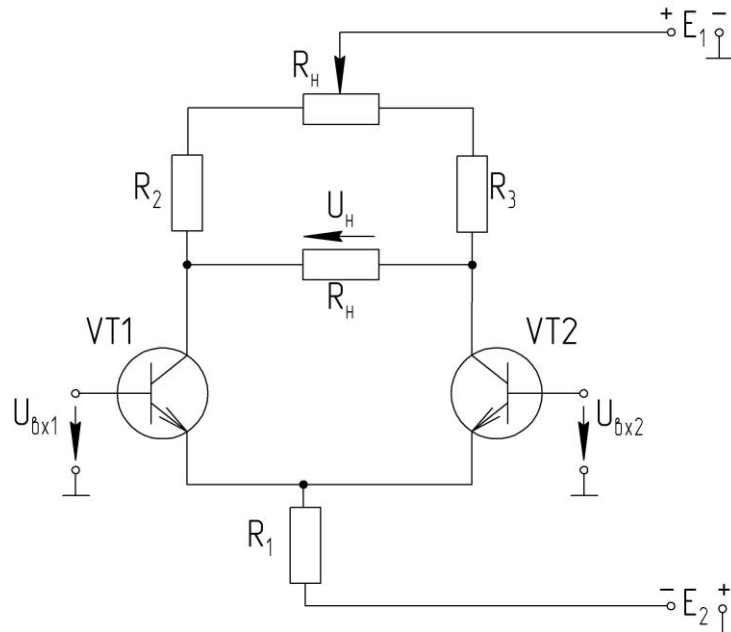


Рисунок 5 - Диференціальна схема ППС

У той же час при подачі вхідної напруги на базу транзистора  $VT_1$  змінюється його колекторний струм і напруга на його колекторі, що викликає появи напруги на навантажувальному резисторі  $R_H$ .

При ретельному підборі транзисторів дрейф нуля вдається знизити до  $1...20\text{мкВ/С}$ , тобто в порівнянні з небалансних ППС він може бути зменшений в  $20... 100$  разів.

## 5.8 Операційні підсилювачі

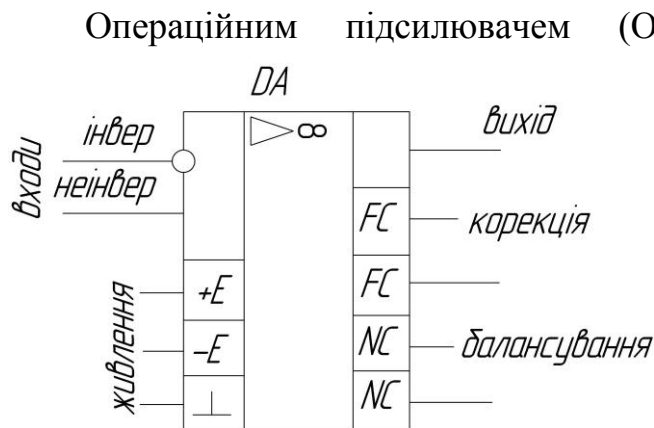


Рисунок 6 - Умовне позначення операційного підсилювача

Умовне позначення ОП показано на рис.6. Один із входів називається що інвертує, а другий – що не інвертує. При подачі сигналу на вхід, що не інвертує, збільшення вихідного сигналу збігається за знаком (фазі) зі збільшенням вхідного сигналу.

Якщо ж сигнал поданий на вхід, що інвертує, то збільшення вихідного сигналу має зворотний знак (протилежний по фазі) у порівнянні зі збільшенням вхідного сигналу, вхід, що інвертує, часто використовується для введення в ОП зовнішніх від'ємних зворотних зв'язків. Живлення ОП здійснюється від двох джерел  $E_1$  і  $E_2$  з однаковими напругою. Джерела живлення мають загальну точку  $-E_1, +E_2$ .

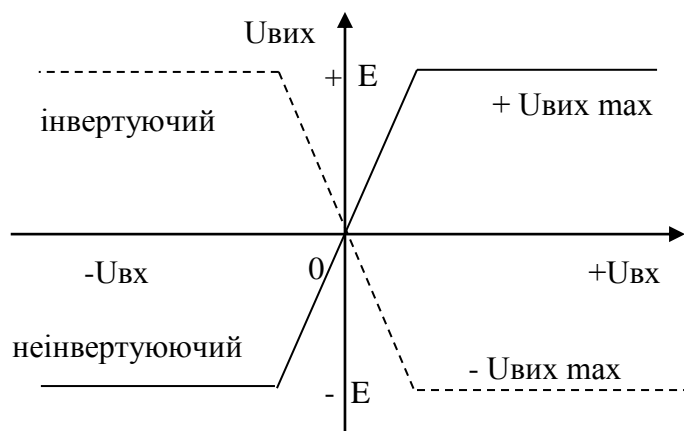


Рисунок 7 - Амплітудні (передатні) характеристики операційного підсилювача

Найважливішим показником операційного підсилювача є коефіцієнт підсилення  $K_U$ . Значення  $K_U = \Delta U_{вих} / \Delta U_{вх}$  залежить від ОП і може становити від декількох сотень до сотень тисяч і більше. Великі значення  $k_u$  отримують при охопленні таких підсилювачів глибоким

від'ємним зворотним зв'язком, це дозволяє одержувати схеми із властивостями, які залежать тільки від параметрів ланцюга від'ємного зворотного зв'язку. Найважливішими характеристиками ОП є його амплітудні (передатні) характеристики (рис. 7). Характеристики знімаються при подачі сигналу на один із входів при нульовому сигналі на іншому. Кожна із кривих складається з горизонтальних і похилих ділянок. Горизонтальні ділянки відповідають насиченню підсилювача. Похилій (лінійній) ділянці кривих відповідає пропорційна залежність вихідної напруги від вхідного. Кут нахилу ділянки визначається коефіцієнтом підсилення  $k_u$ .

На рис.8 наведені схеми підсилювачів на ОП із від'ємним зворотним зв'язком. В ОП зворотний зв'язок від'ємний, якщо вона подається з виходу підсилювача на інвертуючий вхід, при цьому напруга  $U_{зз}$ , що перебуває у фазі з  $U_{вих}$ , буде у протифазі із вхідною напругою на вході, що інвертує.

І навпаки зворотний зв'язок є додатним, якщо він подається на не вхід, що інвертує.

При послідовному ЗЗ вхідний сигнал  $U_{вх}$  і сигнал ЗЗ подаються на різні входи, при паралельному - на один. На рис.8,а показана схема реалізації послідовного від'ємного ЗЗ по напрузі  $\chi = R_2 / (R_1 + R_2)$ . На рис.8,б наведена схема включення ОП з послідовним від'ємним ЗЗ за струмом, на рис.2.26,в- — з паралельним від'ємним ЗЗ за напругою.

Для підсилювача, що інвертує (рис.2.26,в) коефіцієнт підсилення визначається формулою

$$K_U = \frac{R_{oc}}{R_{ex}}$$

де  $R_{oc}$  - резистор у ланцюзі ОЗ;

$R_{ex}$  - резистор вхідного ланцюга.

Для інвертуючого підсилювача (рис.8,а)

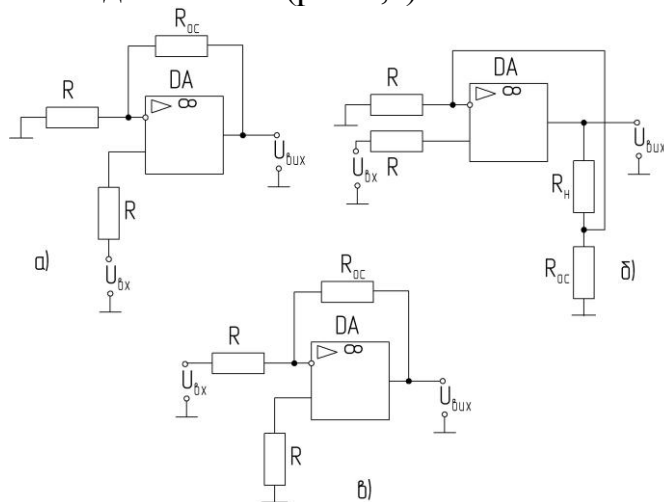


Рисунок 8- Різновиди операційних підсилювачів

$$K_U = 1 + \frac{R_{oc}}{R_{ex}}$$

### Контрольні запитання

- 1) Що називається підсилювачем електричних сигналів?
- 2) З яких ланцюгів складається підсилювач?
- 3) Перерахуйте основні показники підсилювачів.
- 4) На які типи розділяються підсилювачі в залежності від режиму роботи?
- 5) Опишіть принцип побудови підсилювального каскаду.
- 6) Опишіть принцип побудови підсилювального каскаду на біполярному транзисторі.
- 7) Яку роль виконує конденсатор  $C$  і  $C_c$ ?
- 8) Яку роль виконує резистор  $R_B$ ?
- 9) Опишіть принцип побудови підсилювального каскаду на польовому транзисторі.
- 10) Який принцип роботи підсилювального каскаду на польовому транзисторі?
- 11) Дайте визначення ЗЗ.
- 12) Наведіть структурну схему підсилювача з ЗЗ.
- 13) Наведіть класифікацію ЗЗ.
- 14) Охарактеризуйте додатний (ДЗЗ) і від'ємний (ВЗЗ) ЗЗ.
- 15) Як визначається коефіцієнт ЗЗ?
- 16) Як визначається коефіцієнт підсилення підсилювача з ЗЗ?
- 17) Як впливає ЗЗ на стабільність коефіцієнта підсилення?
- 18) Як впливає ЗЗ на нелінійні викривлення?
- 19) Як впливає ЗЗ на вхідний і вихідний опір?
- 20) Наведіть схеми підсилювача з ВЗЗ за струмом.
- 21) Наведіть схеми підсилювача з ВЗЗ за напругою.
- 22) Дайте визначення ППС на транзисторах.
- 23) Наведіть амплітудно-частотну характеристику ППС.
- 24) Які специфічні труднощі в ППС?
- 25) Що називається дрейфом нуля і які міри боротьби з ним?
- 26) Що називають стабілізацією і термокомпенсацією?
- 27) Як використовуються диференціальні (балансні) схеми ППС?
- 28) Що таке модуляція, посилення й демодуляція сигналів?
- 29) Наведіть схему найпростішого ППС.
- 30) Яке призначення елементів схеми ППС?
- 31) Розкажіть про принцип роботи схеми ППС.
- 32) Яка особливість подачі вхідного й зняття вихідного сигналу?
- 33) Наведіть схему диференціального (балансного) ППС.
- 34) Яке призначення елементів схеми?

- 35) Опишіть роботу цієї схеми.
- 36) Які недоліки і переваги балансного ППС?
- 37) Дайте визначення ОП.
- 38) Наведіть умовне графічне позначення ОП.
- 39) Яка особливість подачі напруги електроживлення на ОП?
- 40) Які параметри ОП?
- 41) Наведіть передатні характеристики ОП.