



**Міністерство освіти і науки України**

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет енергетики, робототехніки  
та комп'ютерних технологій**

**Кафедра електромеханіки, робототехніки,  
біомедичної інженерії та електротехніки**

**ПІДСИЛЮЮЧІ КАСКАДИ**

**Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої  
освіти денної та (заочної) форми навчання,  
спеціальності 163 «Біомедична інженерія»**

**Харків  
2023**

Міністерство освіти і науки України  
ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет енергетики, робототехніки  
та комп'ютерних технологій  
Кафедра електромеханіки, робототехніки,  
біомедичної інженерії та електротехніки

## ПІДСИЛЮЮЧІ КАСКАДИ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої  
освіти денної та (заочної) форми навчання, спеціальності  
163 «Біомедична інженерія»

Затверджено  
рішенням Науково-методичної  
ради факультету ЕРКТ  
Протокол № 1 від 20  
жовтня 2022 р.

Харків  
2023

УДК 615.47+57.08  
О 75

Схвалено  
на засіданні кафедри електромеханіки, робототехніки,  
біомедичної інженерії  
та електротехніки  
Протокол № 1 від 31 серпня 2022 р.

**Рецензент:**

**О.М. Мороз**, д-р тех. наук, проф. кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту Державний біотехнологічний університет.

О 75 Підсилюючі каскади: метод. вказівки до виконання лабораторної роботи здобувачами першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної (заочної) форми навч., спец. 163 «Біомедична інженерія» / Державний біотехнологічний університет; уклад.: О.Д. Черенков, М.О. Чорна – Харків: [б. в.], 2023. – 28 с.

Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи на тему: «Підсилюючі каскади» з дисципліни «Електроніка та мікросхемотехніка», розроблено відповідно до навчальної програми.

Видання призначене здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та (заочної) форми навчання, спеціальності 163 «Біомедична інженерія».

УДК 615.47+57.08

**Відповідальний за випуск: М. О. Чорна**, к.т.н., доцент

© О.Д. Черенков, 2023

© М.О. Чорна, 2023

© ДБТУ, 2023

## **ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПО МЕТОДИЦІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ**

Практичні навички по експериментальному дослідженню студенти одержують у лабораторії кафедри. Лабораторний практикум містить вісім робіт.

### **Підготовка до лабораторної роботи**

При підготовці до лабораторної роботи необхідно вивчити відповідний теоретичний матеріал, засвоїти мету, суть роботи і її зміст, підготувати бланк звіту.

### **Допуск до виконання лабораторної роботи**

До виконання роботи допускаються студенти, які не мають заборгованості за попередні лабораторні роботи.

Студенти, які не допущені до роботи, залишаються в лабораторії для самостійної підготовки до виконання лабораторної роботи. Якщо студент підготувався, він може бути допущений до роботи, у іншому випадку – відпрацювання призначається на додатковий час.

### **Порядок виконання роботи**

Лабораторний практикум побудований так, що всі роботи виконують по бригадам, фронтальним методом, тобто всі бригади виконують аналогічні роботи.

При необхідності, перед початком виконання робіт, студенти вивчають методику користування вимірювальними приладами.

У процесі експерименту перевіряються результати розрахунків, фіксуються осцилограми, що дають уяву про фізичну суть процесів у схемах, з'ясовується вплив елементів схеми на параметри вихідних сигналів.

Робота вважається закінченою, якщо протокол досліджень перевірений та підписаний викладачем.

На виконання експериментальної частини роботи студенти витрачають 2–4 учбових години.

Протоколи досліджень і запропоновані розрахунки схем по всіх роботах заносяться в зошит, що є єдиним для бригади і зберігається до кінця лабораторного практикуму.

### **Оформлення звіту**

Звіт про лабораторну роботу, що складається студентами, повинен відповідати протоколу проведеного експерименту. Звіт повинен містити досліджувані схеми, мету роботи, перелік використаних приладів, таблиці вимірюваних та обчислених параметрів, часові діаграми напруг, що дають уявлення про фізичні процеси в схемі, висновки по кожному пункту роботи. Зразок оформлення звіту приведено у додатку А.

При оформленні звіту необхідно дотримуватись ДСТУ (креслення схем, літерні позначення основних величин, елементів схем та ін.) Найменування ДСТУ приведені в додатку Б.

### **Правила безпеки роботи в лабораторії**

Щоб запобігти ураження електричним струмом під час проведення лабораторних робіт і забезпечення збереження приладів та устаткування, необхідно дотримуватись наступних правил:

- до лабораторних робіт допускаються студенти, що пройшли інструктаж з техніки безпеки, про що виконується запис у спеціальному журналі;
- виконання експерименту проводиться бригадами, що складаються не менш чим з 2-х студентів;
- перед виконанням роботи кожен студент зобов'язаний ознайомитися з правилами експлуатації всієї наявної на робочому місці апаратури;
- зібрану схему дозволяється вмикати тільки після перевірки її викладачем або лаборантом;
- при виявленні оголених провідників або інших неполадок апаратури студент зобов'язаний вимкнути схему і доповісти про це викладачу або лаборанту;
- категорично забороняється під час роботи з електронною чи радіовимірювальною апаратурою доторкатися до радіаторів центрального опалення;

- у випадку ураження електричним струмом негайно вимкнути електроживлення робочого місця, потерпілому надати першу допомогу, у важких випадках викликати лікаря;
- при виникненні пожежі вимкнути електроживлення робочого місця і погасити вогонь вогнегасником;
- під час виконання лабораторних робіт не дозволяється вести голосну розмову, займатися сторонніми справами.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### ПІДСИЛЮЮЧІ КАСКАДИ

#### Мета роботи

Вивчити та дослідити принцип роботи підсилювачів напруги змінної частоти (НЧ), резонансних підсилювачів НЧ.

#### Опис лабораторного устаткування

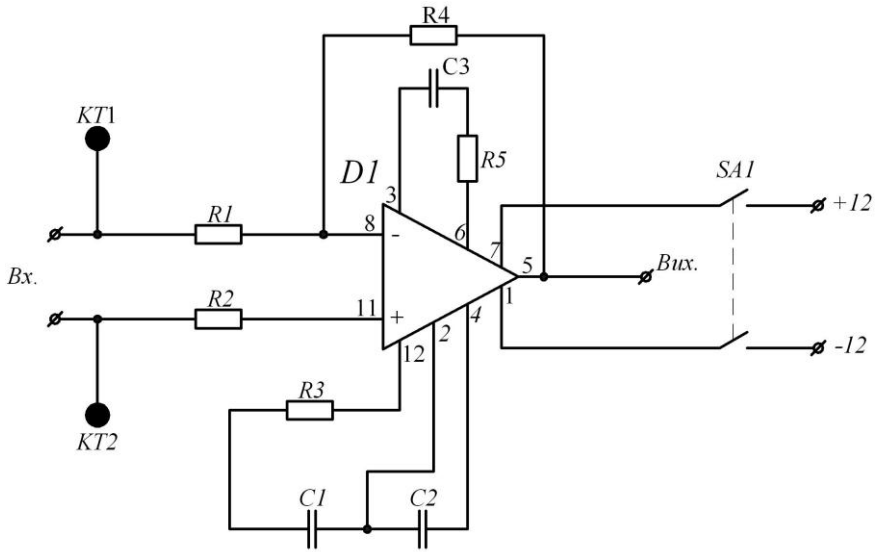
Лабораторне устаткування містить в собі:

- 1) Лабораторні стенди, де зібрані на окремих платах схеми підсилювачів НЧ на ІМС, на біполярному та польовому транзисторах, резонансний підсилювач на польовому транзисторі, підсилювачі на ОП;
- 2) Генератор низьких (звукових) частот ГЗ-111;
- 3) Електронні реєструвальні прилади: осцилограф С1-93, вольтметр В7-16А, частотомір Ч2-36 (Ч3-34);

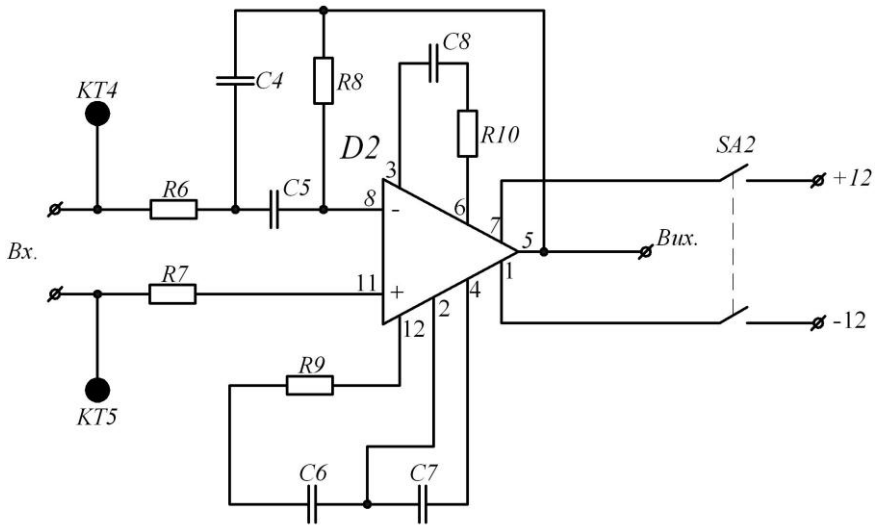
#### Загальні відомості

При розв'язанні багатьох інженерних завдань, наприклад, при вимірах електричних та неелектричних величин, прийманні радіосигналів, контролі та автоматизації технологічних процесів та ін. виникає необхідність в підсиленні сигналів. Для цього використовуються підсилювачі напруги, струму, потужності.

Сучасні підсилювачі, що використовуються в промисловій електроніці, будують на біполярних та уніполярних (польових) транзисторах, інтегральних мікросхемах. Останні, особливо, мають високу надійність та економічність, швидкодію, високу чутливість, невеликі за розмірами та масою. Такі пристрої можуть підсилювати дуже слабкі електричні сигнали. В залежності від схеми ввімкнення біполярного, або польового транзистора, підсилювачі діляться на схеми з СЕ, СБ, СК, СВ, СЗ, СС.



Підсилювач напруги



Резонансний підсилювач напруги

Рисунок 2.1 – Підсилювачі НЧ на ІМС



### Основні параметри 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:  $K_P = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}$ .
4. Вхідний опір – опір між вхідними клемми підсилювача для змінного вхідного струму:  $R_{вх} = \frac{\Delta U_{вх}}{\Delta I_{вх}}$ .
5. Вихідний опір – опір між вихідними клемми підсилювача для змінного струму без навантаження ( $R_H$ ):  $R_{вих} = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta I_{вих}}$ .
6. Коефіцієнт корисної дії підсилювача – відношення потужності, що виділяється на навантаженні до потужності, що споживається від джерела енергії ( $P_{дж}$ ):  $\eta = \frac{P_H}{P_{дж}}$ .
7. Фазочастотна та амплітудна характеристики.

В загальному випадку коефіцієнт підсилення за напругою та струмом є величина комплексна, що характеризується модулем та фазою, які залежать від частоти сигналу, який підсилюється. В зв'язку з цим амплітудно-фазочастотну характеристику розділяють на дві: амплітудно-частотну, та фазочастотну характеристику.

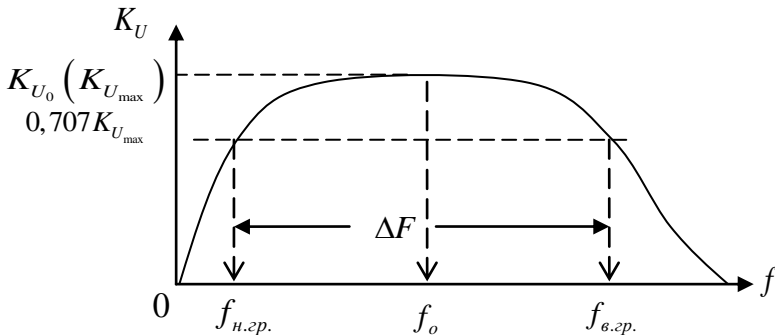


Рисунок 2.2 – Амплітудно-частотна характеристика підсилювача

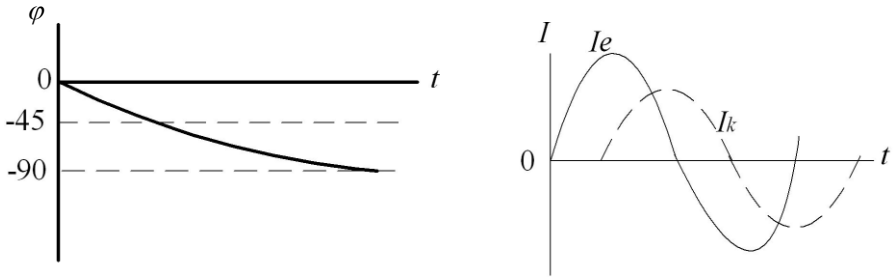


Рисунок 2.3 – Фазочастотна характеристика підсилювача

В схемі підсилювачів присутні реактивні елементи ( $L$ ,  $C$ ), крім того параметри транзисторів залежать від частоти сигналу, що підсилюється. У зв'язку з цим значення коефіцієнта підсилення також буде залежати від частоти сигналу. Таке явище носить назву – частотні викривлення сигналу. Для їх оцінки існує параметр – коефіцієнт частотних викривлень –  $M(\omega)$  – це відношення коефіцієнту підсилення на даній частоті  $K_U(\omega)$  до коефіцієнту підсилення на середніх частотах –  $K_{U_0}$  :

$$M(\omega) = \frac{K_U(\omega)}{K_{U_0}} . \quad (2.1)$$

Частоти, де коефіцієнт підсилення досягає граничного значення:

$$K_U(\omega)_{cp} = \frac{K_{U_0}}{\sqrt{2}} = 0,707 K_{U_0} , \quad (2.2)$$

називаються верхніми і нижніми граничними частотами (частотами зрізу), а різниця:

$$\Delta\omega = \omega_{в.зр.} - \omega_{н.зр.} . \quad (2.3)$$

- смугою пропускання (рис. 2.2). Інша форма запису смуги пропускання підсилювача:  $\Delta F = f_{cp.верх.} - f_{cp.ниж.}$  .

Амплітудна характеристика – це залежність величини вихідного сигналу від величини вхідного, для ідеального підсилювача – пряма лінія, що проходить через початок координат. Реальний підсилювач має амплітудну характеристику лінійну тільки на відрізку “а-б” (рис. 2.4). При малих і дуже великих вхідних сигналах спостерігається викривлення сигналу на виході підсилювача. Це зв’язано з тим, що робоча точка транзистора попадає в зону відсічки або насичення (тобто виявляються нелінійні властивості транзистора).

Таке явище називається нелінійними викривленнями. При виникненні нелінійних викривлень в спектрі сигналу з’являються додаткові складові. Ступінь викривлень гармонійного сигналу (спектр ідеального гармонійного сигналу має тільки одну складову) характеризують коефіцієнтом гармонік –  $K_r$  :

$$K_r = \frac{\sqrt{U_2 + U_3 + \dots + U_n}}{U_1}, \quad (2.4)$$

де  $U_1, U_2, U_3, \dots, U_n$  – діючі значення гармонік спектра сигналу.

У ідеальної синусоїди вищі гармоніки відсутні, в зв’язку з цим  $K_r = 0$  . Таким чином, чим менший коефіцієнт гармонік, тим ближче реальна синусоїда до теоретичної. На практиці  $K_r$  виміряти складно, тому що важко виділити основну гармоніку  $U$  . Вимірюють другий параметр – коефіцієнт нелінійних викривлень  $K_H$  :

$$K_H = \frac{\sqrt{U_2 + U_3 + \dots + U_n}}{U}, \quad (2.5)$$

де  $U$  – діюче значення всього сигналу.

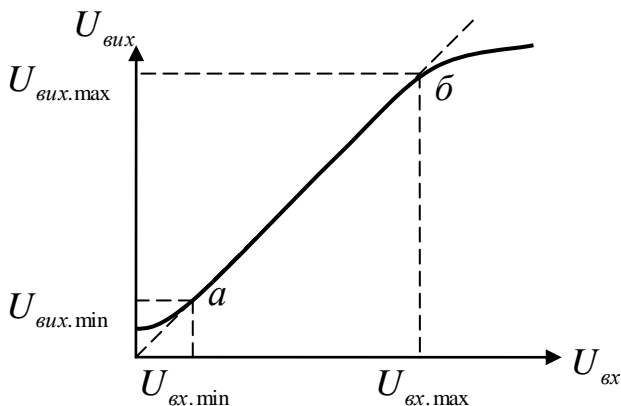


Рисунок 2.4 – Амплітудна характеристика підсилювача

Виміряти  $K_H$  можливо за допомогою загороджувального (режекторного) фільтра, що настроєний на частоту основної гармоніки і ввімкненого на виході досліджуваного пристрою. Спочатку вимірюють напругу на виході пристрою без фільтра, ця напруга вміщує всі складові спектру і пропорційна знаменнику ( $U$ ) в виразі для  $K_H$ . Далі вмикають фільтр та вимірюють діюче значення напруги вищих гармонік (тобто, чисельник в виразі для  $K_H$ ), розраховують  $K_H$  по вказаній формулі. Коефіцієнти нелінійних викривлень та гармонік зв'язані між собою співвідношенням:

$$K_H = \frac{1}{\sqrt{1 - K_r}} \quad (2.6)$$

### Підсилювач напруги змінної частоти на біполярному транзисторі

Біполярний транзистор підсилювача може бути ввімкнений по схемі: СЕ, СБ, СК. На рис. 2.5, а показана схема підсилювача напруги, де транзистор ввімкнено з спільним емітером. На рис. 2.5, б показана схема підсилювача, яка реалізує три схеми ввімкнення польового транзистора. Вибір конкретної схеми підсилювача здійснюється перемикачами (тумблерами) SA1–SA6, що розміщені на панелі стенду.

Вхідний сигнал  $E_G$  від генератора ГЗ-111 подається через конденсатор  $C_{p1}$ , вихідна напруга поступає на реєструючий пристрій (вольтметр, осцилограф) через конденсатор  $C_{p2}$ .

Клеми  $KT1-KT2$  – вхідні, на клеми подається сигнал з генератора ГЗ-111. Перемикачі  $SA1-SA6$  використовуються для вибору схеми підсилювача (СЕ, СБ, СК; ЗВ, ЗЗ, ЗС). Перемикачі  $SA7, SA8$  для від'єднання при необхідності  $R_H$ .

$R_1-R_2$  – дільник напруги: забезпечує зміщення (постійну напругу) між базою та емітером  $U_{б-е}$  транзистора;

До клем  $KT3-KT4$  приєднується навантаження ( $R_H$ ), або магазин опорів для зміни величини  $R_H$ . Транзистор  $VT1$  – керований струмом елемент: біполярний типу “ $p-n-p$ ” або польовий з “ $p$ ” каналом.

$R_e$  – опір в колі емітеру, стабілізує роботу при зміні температури “ $p-n$ ” переходів транзистора, а також сумісно з  $R_K$  служить для вибору режиму роботи підсилювача за постійним струмом (режим спокою);

$C_e$  – шунтує опір  $R_e$ , і, таким чином, усуває негативний зворотний зв'язок на базу транзистора по змінній частоті;

$C_{p1}, C_{p2}$  – розділові конденсатори запобігають проникненню постійної напруги джерела  $E_K$  на попередні та послідовні каскади і, таким чином, усувають вплив постійної напруги на режим роботи цих каскадів;

$R_K$  – опір в колі колектора ;

$E_K$  – джерело живлення підсилювача.

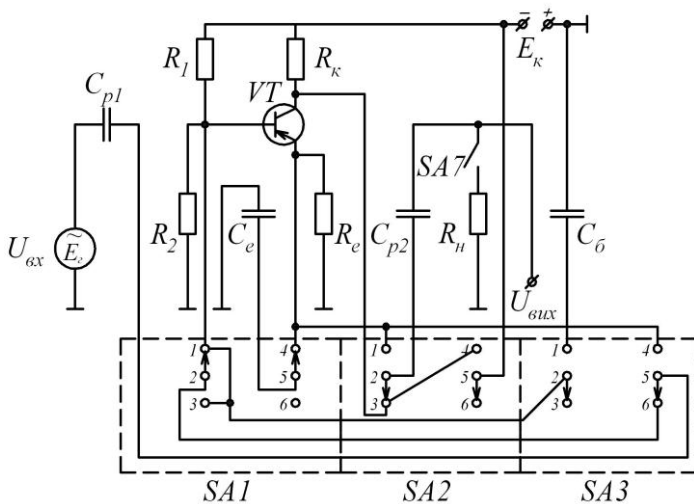


Рисунок 2.5, а – Підсилювач низької частоти з ввімкненням транзистора по схемі СЕ

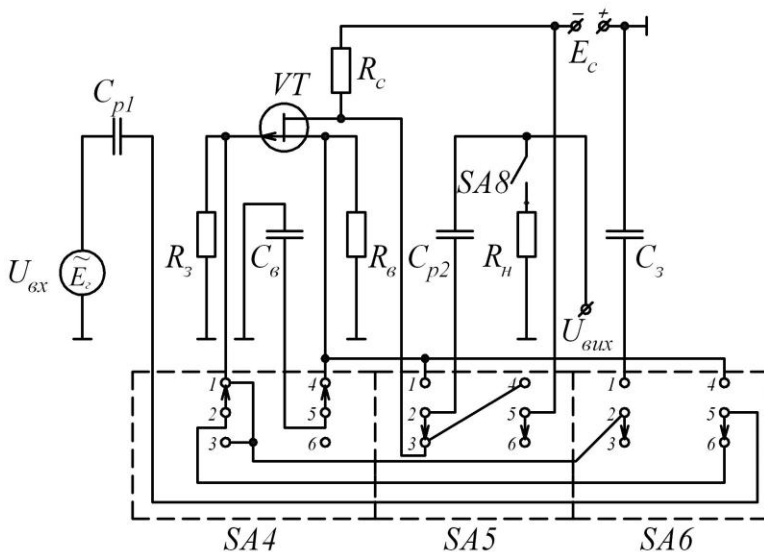


Рисунок 2.5, б – Підсилювач низької частоти з ввімкненням транзистора по схемі СВ

## Проведення досліджень

1. Вимірювальні провідники приєднати: сигнальний (потенціальний) до клемі “40 дБ”, в цьому випадку вихідний сигнал генератора буде зменшено на 40 дБ (в 100 разів) від номінального; другий провідник під’єднати до клемі  $\perp$  (“земля”).

2. Провідник від клемі  $\perp$  генератора приєднати до клемі  $\perp$  стенду (KT2) а провідник від клемі “40 дБ” – до входу підсилювача (KT1). Провідники осцилографа (канал 2) приєднати до виходу підсилювача (клемі KT3-KT4).

3. Ввімкнути всі вимірювальні прилади; тумблери SA1, SA7 перевести в положення “Вгору”, тумблери SA2, SA3 – “Вниз”.

4. Подати постійну напругу на стенд – тумблер “ $E_k$ ” “Вгору”.

5. Поступовим поворотом ручки “Амплітуда” ГЗ-111 вправо, подати на вхід підсилювача сигнал, виміряти вхідний сигнал (амплітудне значення -  $U_m$ ) по осцилографу (канал 1 приєднати до входу підсилювача).

6. Довести амплітуду вхідного сигналу до 10 мВ. Надалі положення ручки “Амплітуда” ГЗ-111 не змінювати.

7. Якщо на виході підсилювача сигнал не з’явиться, необхідно плавно збільшити частоту сигналу з генератора 10, 20, 30... Гц, одночасно збільшити чутливість II каналу осцилографа ручкою “V/дел”.

8. В момент появи сигналу на виході виміряти амплітуду підсиленого сигналу (канал II), та частоту сигналу (клемі KT1-KT2).

9. Надалі, збільшуючи плавно частоту сигналу з генератора ГЗ-111 через рівні проміжки в кожному діапазоні, виміряти вихідну напругу -  $U_{вих}$ . Результати вимірів занести в таблицю 1.1.

Таблиця 2.1

Результати вимірів  $U_{\text{вх}}=0,04 \text{ В}$ 

$f, \text{Гц}$	10	50	100	200	500	1000	2000	5000
$\lg(f)$	1	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0	3,3	3,7
$U_{\text{вих}}$	0,1	0,2	0,5	0,7	0,9	1	1,2	1
$K_U$								
$K_{\text{норм}}$								

Продовження таблиці 2.1

$f, \text{кГц}$	10	50	100	200	500	1000	2000
$\lg(f)$	4,0	4,7	5,0	5,3	5,7	6,0	6,3
$U_{\text{вих}}$	0,8	0,6	0,4	0,22	0,16	0,12	0,08
$K_U$							
$K_{\text{норм}}$							

10. Побудувати амплітудно-частотну характеристику. Щоб розмістити на вісях діапазони змін  $K_U$  і частоти  $f$  при побудові АЧХ, частоту  $f$  необхідно відкладати в логарифмічному масштабі

( $\lg f$ ), а коефіцієнт  $K_U$  в нормованому виді:  $\frac{K_U(f)}{K_{U_{\text{max}}}}$ ;

11. Визначити на АЧХ:  $f_{\text{н.зр.}}$ ,  $f_{\text{в.зр.}}$ ,  $\Delta F$  (рис. 2.2).



## Резонансний підсилювач напруги

### Теоретичні відомості

Резонансні (вибіркові) підсилювачі використовуються в тих випадках, коли необхідно із широкосмугового сигналу, що поступає на вхід підсилювача, виділити частину сигналів близьких частот, що несуть корисну інформацію.

АЧХ такого підсилювача має вид, що показаний на рис 2.6. Резонансний підсилювач має вузьку смугу пропускання, за межами якої коефіцієнт підсилення незначний.

$$\Delta F = f_{\text{верх}} - f_{\text{ниж}}.$$

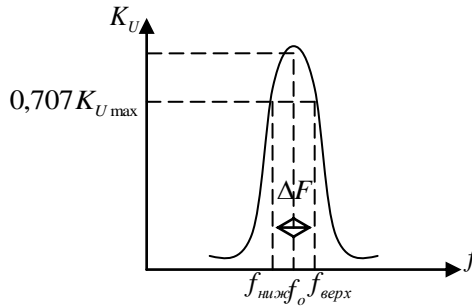


Рисунок 2.6 – Амплітудно-частотна характеристика резонансного (вибіркового) підсилювача

Резонансні підсилювачі діляться на дві групи:

- а) з використанням паралельного  $LC$ –контур з частотно-вибірковими властивостями;
- б) з використанням частотно-залежного негативного зворотного зв'язку (НЗЗ) – це підсилювачі з частотно-залежним зворотним зв'язком.

## Проведення дослідження

1. Початковий стан органів керування приладів, перемикачів подібний як і при виконанні досліджень з широкосмуговим підсилювачем на біполярному транзисторі.

2. Ввімкнути генератор ГЗ-111, осцилограф, подати напругу на резонансний підсилювач, тумблер ( $E_k$ ) перевести “Вгору”.

3. Подати з генератора на вхід підсилювача сигнал синусоїдної форми амплітудою 10-30 мВ (вимірити амплітуду за допомогою осцилографа). Надалі  $U_{ex}$  не змінювати. Частота сигналу 50-100 Гц.

4. На каналі II, який приєднаний до виходу підсилювача, спостерігаємо як змінюється сигнал в вихідному колі.

5. Плавно змінюючи частоту вхідного сигналу в межах піддіапазонів  $\times 1, \times 10, \times 10^2, \times 10^3, \times 10^4$  виміряти амплітуду вихідного сигналу. Ці дані занести в таблицю, розрахувати коефіцієнт підсилення на різних частотах, визначити резонансну частоту  $f_{рез}(f_0)$  де коефіцієнт підсилення  $K_U$  – максимальний, розрахувати ширину смуги пропускання  $\Delta F$  (див. рис. 2.3).

6. Побудувати АЧХ підсилювача (шкалу частот виконати в логарифмічному масштабі).

7. В таблиці повинно бути показано позиція  $f_{сигн} = f_{рез}$ ,  $U_{вих} = U_{вих.макс}$ ,  $K_U = K_{макс}$ .

8. Обрахувати рівень сигналу, що дорівнює  $0,707U_{вих.макс}$ , знайти  $f_{ниж.}$  та  $f_{верх}$  на цьому рівні, знайти ширину смуги пропускання –  $\Delta F$  в кГц.

9. На стенді тумблером ввімкнути інший контур  $LC$  в колі стоку  $VT_1$ , виконати пункти 1 ÷ 7.

10. Порівняти результати досліджень, зробити висновки по кожному пункту.

Результати вимірів і розрахунків  $U_{\text{вх}}=0,04 \text{ В}$ 

$f, \text{кГц}$	20	25	28	30	33	35	37	40	42	45	50
$\lg(f)$											
$U_{\text{вих}}$	0,1	0,5	1	3,2	5	3	1	0,6	0,4	0,2	0,05
$K_U$											
$K_{\text{норм}}$											

Статичні характеристики біполярних транзисторів

Транзистор має три електроди, серед яких в схемі ввімкнення один – вхідний, другий – вихідний, а третій спільний для кіл входу та виходу. Постійний струм в кожному колі трьох схем ввімкнення транзистора – СЕ, СБ, СК – тече від позитивного (+) електроду через відповідні області транзистора до негативного (-) електроду джерела живлення. Стрілка емітера показує напрямок струму, що проходить через транзистор.

Принцип роботи транзистора у всіх схемах ввімкнення зберігається однаковим, але властивості схеми різні, різні характеристики та параметри.

У вхідному колі діє вхідна напруга –  $U_{\text{вх}}$  та вхідний струм  $I_{\text{вх}}$ , в вихідному колі –  $U_{\text{вих}}$ ,  $I_{\text{вих}}$ . Ці величини взаємопов'язані і впливають одна на одну.

Характеристики транзистора представляють собою залежність однієї із цих величин від другої при незмінній третій величині.

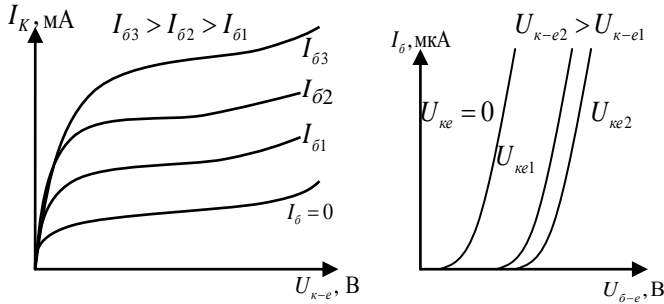
Характеристики, що зняті без навантаження, коли одна з величин підтримується незмінною, називають статичними

Сукупність характеристик, що зняті при різних значеннях цієї постійної величини, представляє собою сімейство статичних характеристик. Розрізняють два види характеристик – вхідні та вихідні.

Вхідна характеристика - це залежність вхідного струму від вхідної напруги при постійній (незмінній) вихідній напрузі.

Вихідною характеристикою називають залежність вихідного струму від вихідної напруги при постійнім вхіднім струмі.

На рис. 2.7 показані статичні характеристики в схемі з спільним емітером (СЕ).



а) вихідні характеристики

б) вхідні характеристики

Рисунок 2.7 – Статичні характеристики в схемі зі спільним емітером (СЕ)

### Визначення параметрів транзистора

Для оцінки властивостей транзисторів поряд з їх характеристиками використовують параметри. Розрізняють дві групи параметрів: первинні та вторинні.

Первинні – це власні параметри транзистора, що характеризують його фізичні властивості і не залежать від схеми ввімкнення транзистора:

$r_e$  – диференційний опір емітерного переходу в прямому напрямку;

$r_{б}$  – об’ємний опір бази;

$r_k$  – диференційний опір колекторного переходу в зворотному напрямку;

$C_e, C_k$  – ємності емітерного і колекторного переходів. Вплив цих ємностей на коефіцієнт підсилення на низьких частотах незначний.

Недоліком використання первинних параметрів є те, що їх неможливо виміряти безпосередньо за допомогою приладів, тому що точки для підключення вимірювальних приладів знаходяться в структурі транзистора.

Суть вторинних параметрів можливо пояснити, якщо представити транзистор як чотириполюсник, що має дві вхідні клеми та дві вихідні. Вхідні величини – це  $I_1, U_1$  (вхідний струм та напруга), вихідні –  $I_2, U_2$ . В чотириполюснику прийнято, що сигнали, тобто прирости  $\Delta I_1, \Delta U_1, \Delta I_2$  та  $\Delta U_2$  незначні. Ці величини взаємно пов'язані. Дві величини приймають як незалежні, дві інші будуть залежними змінними. Для них складається система з двох рівнянь де вони зв'язані з незалежними величинами через коефіцієнти – які називаються системою параметрів. Це система  $Z$  – параметрів (має розмірність опору);  $Y$  – параметрів (розмірність провідності);  $h$  – параметрів (змішана система). Остання використовується найчастіше.

Щоб знайти  $h$  – параметри, складається система рівнянь, де незалежними змінними є  $\Delta I_1, \Delta U_2$  :

$$\left. \begin{aligned} \Delta U_1 &= h_{11}\Delta I_1 + h_{12}\Delta U_2 \\ \Delta I_2 &= h_{21}\Delta I_1 + h_{22}\Delta U_2 \end{aligned} \right\}. \quad (2.7)$$

В системі рівнянь (\*) чотири параметри  $h_{11}, h_{22}, h_{21}, h_{12}$  з різною розмірністю. В залежності від схеми ввімкнення транзистора параметри будуть мати відповідні позначення, наприклад,  $h_{21e}, h_{21b}, h_{21k}$ .

$$h_{11} = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \text{ при } U_2 = \text{const, вхідний опір транзистора, Ом;}$$

$$h_{22} = \frac{\Delta I_2}{\Delta U_2} \text{ при } I_1 = \text{const, вихідна провідність, сіменс;}$$

$$h_{12} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \text{ при } I_1 = \text{const, коефіцієнт внутрішнього зворотного}$$

зв'язку;

$$h_{21} = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \text{ при } U_2 = \text{const, коефіцієнт передачі струму;}$$

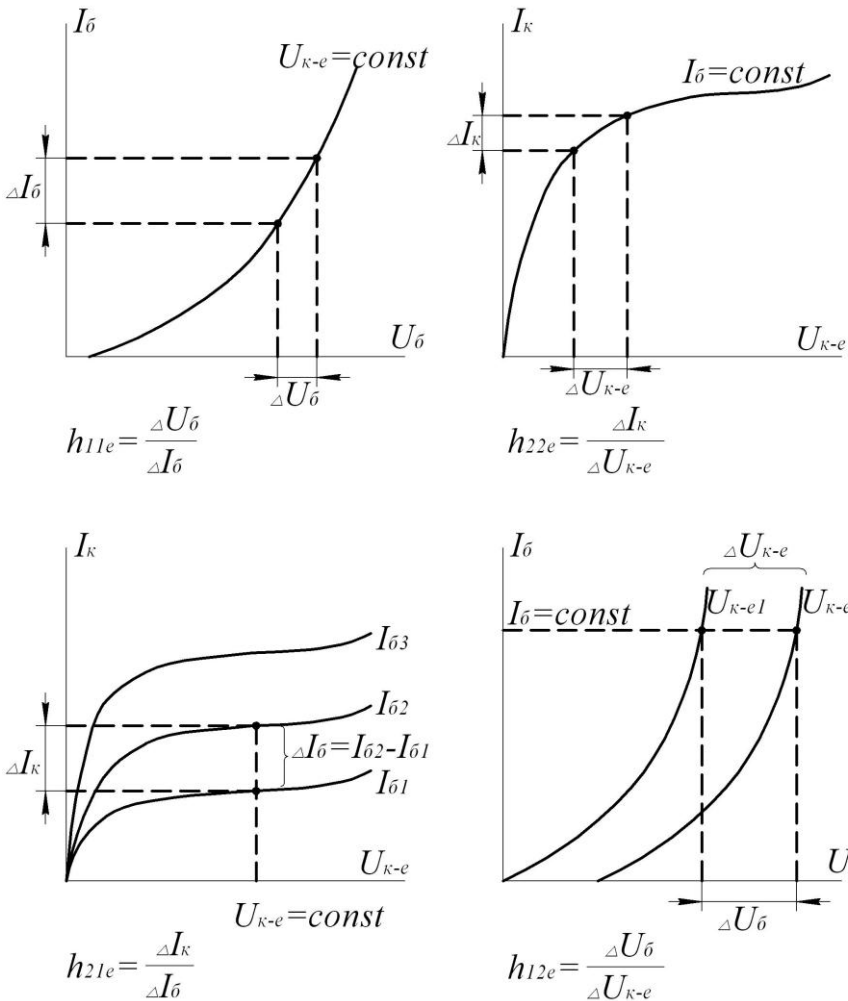


Рисунок 2.8 – Визначення  $h$  параметрів по статичним характеристикам

Контрольні запитання до захисту лабораторної роботи

1. Підсилювачі сигналів змінної частоти. Класифікація підсилювачів.
  1. Параметри підсилювачів.
  2. Амплітудно-частотна та фазочастотна характеристики підсилювача.
  3. Принцип роботи резистивного підсилювача НЧ.
  4. Принцип роботи  $RC(LC)$  резонансного підсилювача.
  5. Принцип роботи диференційного підсилювача на ІМС.
  6. Принцип роботи біполярних та польових (уніполярних) транзисторів.
  7. Схеми вмикання транзисторів. Переваги та недоліки кожної схеми вмикання транзистора, сфера використання.
  8. Вхідні та вихідні характеристики транзисторів, порядок їх використання при розрахунку  $h$ -параметрів. Фізична суть  $h$ -параметрів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Полупроводниковые приборы: диоды, тиристоры, ОЭП. Справочник под редакцией Горюнова Н. Н. – М.: «Энергоиздат», 1987. – 744 с.
2. Новаченко И. В. Микросхемы для бытовой аппаратуры. Справочник / Новаченко И. В. и др. – М.: «Радио и связь», 1989. – 384 с.
3. Замятин В. Я. Тиристоры. Справочник / Замятин В. Я и др. – М.: "Радио и связь", 1987. – 576 с.
4. Терещук Р. М. Справочник радиолюбителя / Терещук Р. М. – Киев.: "Наукова думка", 1981. – 671 с.
5. Андреев Ю. Н. Резисторы. Справочник / Андреев Ю. Н. – М.: "Энергоиздат", 1981. – 352 с.
6. Нефедов А. В. Отечественные полупроводниковые приборы и их зарубежные аналоги. Справочник / Нефедов А. В., Гордеева В. И. – М.: "Радио и связь", 1990. – 401 с.
7. Забродин Ю. С. Промышленная электроника, учебник для ВУЗов. / Забродин Ю. С. – М.: "Высшая школа", 1982.
8. Транзисторы. Справочник под общей редакцией И. Ф. Николаевского. – М.: "Связь", 1969. – 624 с.



Навчальне видання

ПІДСИЛЮЮЧІ КАСКАДИ

Методичні вказівки  
до виконання лабораторної роботи

**ЧЕРЕНКОВ** Олександр Данилович  
**ЧОРНА** Марія Олександрівна

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman  
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.

Ум. друк. арк. 1,5

Наклад 50 пр.

Державний біотехнологічний університет  
61002, м. Харків, вул. Алчевських, 44