



Міністерство освіти і науки України

**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

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

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

**ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА
ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА**

**Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи «Підсилюючі каскади»**

**для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та
(заочної) форми навчання, технічних спеціальностей**

**Харків
2023**

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

ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА
ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи «Підсилюючі каскади»

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та (заочної)
форми навчання, технічних спеціальностей

Затверджено
рішенням Науково-методичної
ради факультету ЕРКТ
Протокол № 3 від 22 лютого 2023 р.

Харків
2023

УДК 621.38+681.3

Е 50

Схвалено

на засіданні кафедри електромеханіки, робототехніки, біомедичної інженерії
та електротехніки

Протокол № 5

від 16 лютого 2023 р.

Рецензент:

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

Е 50 Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка: метод. вказівки до виконання лабораторної роботи «Підсилюючі каскади» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та (заоч.) форми навч., техн. спец. / Державний біотехнологічний університет; уклад. Н.Г. Косуліна, М.О. Чорна, В.В. Сухін, К.С. Коршунов. – Харків: [б. в.], 2023. – 17 с.

Методичні вказівки по виконанню лабораторної роботи «Підсилюючі каскади» з дисципліни «Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка» розроблено відповідно до навчальної програми. Видання включає загальні питання по методиці виконання лабораторного практикуму, мету роботи і опис лабораторного устаткування, загальні відомості, методику проведення дослідження, контрольні питання, основні стандарти, що використовуються при оформленні лабораторних робіт, буквені позиційні позначення елементів та список використаних джерел.

Видання призначене здобувачам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та (заочної) форми навчання, технічних спеціальностей.

УДК 621.38+681.3

Відповідальний за випуск: В.В. Сухін, ст. викл.

© Н.Г. Косуліна, 2023

© М.О. Чорна, 2023

© В.В. Сухін, 2023

© К.С. Коршунов, 2023

© ДБТУ, 2023

3
Зміст

1. Загальні питання по методиці виконання лабораторного практикуму	4
2. Мета роботи	6
3. Опис лабораторного устаткування	6
4. Загальні відомості	7
5. Проведення дослідження	12
6. Контрольні питання	15
Додаток А	16
Список використаних джерел	17

ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ПО МЕТОДИЦІ ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМУ

Практичні навички по експериментальному дослідженню студенти одержують у лабораторії кафедри.

Підготовка до лабораторної роботи

При підготовці до лабораторної роботи необхідно вивчити відповідний теоретичний матеріал, засвоїти мету, суть роботи і її зміст, виконати домашнє завдання, що містить розрахунок параметрів досліджуваних схем, підготувати бланк звіту.

Допуск до виконання лабораторної роботи

До виконання роботи допускаються студенти, які не мають заборгованостей 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 пропоновані 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.

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

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

«Підсилюючі каскади»

Мета роботи

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

2. Для підсилювача НЧ зібраного на біполярному транзисторі розрахувати основні параметри (в схемах СЕ, СБ), побудувати АЧХ; для резонансного підсилювача знайти коефіцієнт підсилення на $f_{рез}$, розрахувати ширину смуги пропускання – ΔF , побудувати АЧХ.

3. Удосконалити навички роботи з електронними приладами: осцилографом, частотоміром, вольтметром.

Опис лабораторного устаткування

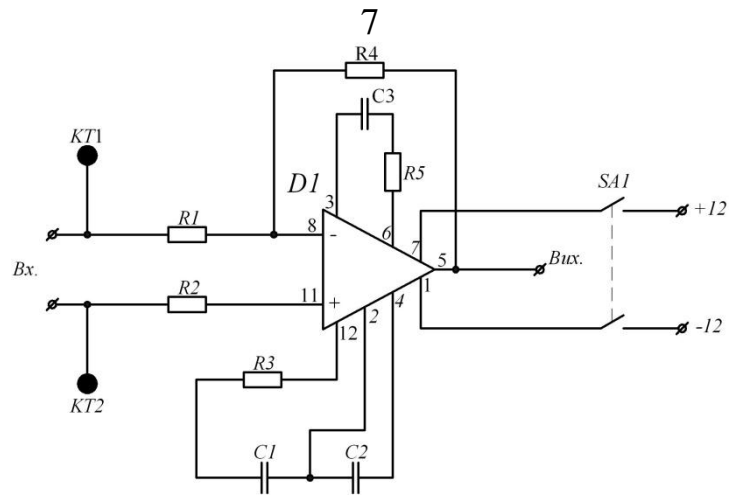
Лабораторне устаткування містить в собі:

1) Лабораторні стенди, де зібрані на окремих платах схеми підсилювачів НЧ на ІМС, рис. 1 на біполярному та польовому транзисторах, резонансний підсилювач на польовому транзисторі рис. 5 а), 5 б), підсилювачі на ОП;

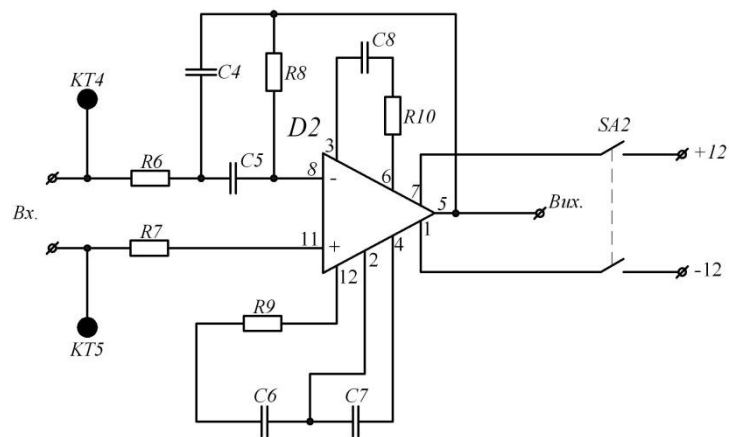
2) Генератор низьких (звукових) частот ГЗ-111;

3) Електронні реєстраційні прилади: осцилограф С1-93, вольтметр В7-16А, частотомір Ч2-36 (ЧЗ-34);

4) Набір резисторів (мости типу Р1-32, Р1-33).



Підсилювач напруги



Резонансний підсилювач напруги

Рисунок 1 – Підсилювачі НЧ на ІМС

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.

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 із цим амплітудно-фазочастотну характеристику розділяють на дві: амплітудно-частотну (АЧХ), рис. 2 та фазочастотну характеристику (ФЧХ), рис. 3.

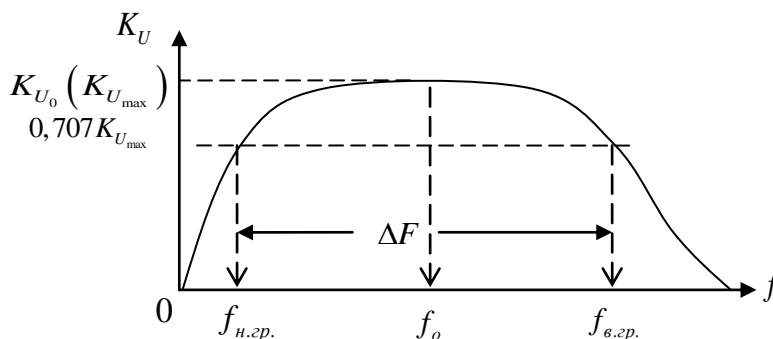


Рисунок 2 – Амплітудно-частотна характеристика підсилювача

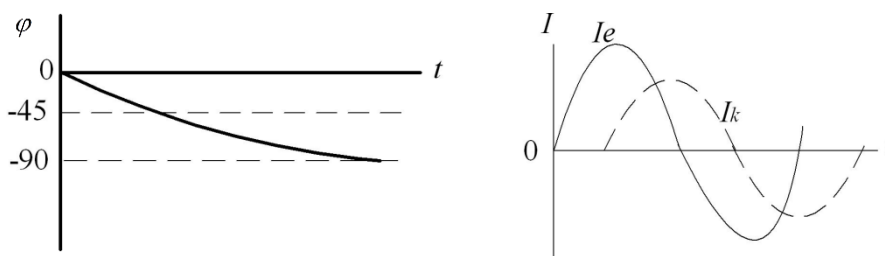


Рисунок 3 – Фазо-частотна характеристика підсилювача

В схемі підсилювачів присутні реактивні елементи (L, C), крім того параметри транзисторів залежать від частоти сигналу, що підсилюється. У зв'язку із 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} :

$$M(\omega) = \frac{K_U(\omega)}{K_{U_0}} \quad (1)$$

Частоти де коефіцієнт підсилення досягає граничного значення:

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

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

$$\Delta\omega = \omega_{в.зр.} - \omega_{н.зр.} \quad (3)$$

– смугою пропускання рис. 2. Інша форма запису смуги пропускання підсилювача:

$$\Delta F = f_{зр.верх.} - f_{зр.ниж.} \quad (4)$$

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. 4. При малих і дуже великих вхідних сигналах спостерігається викривлення сигналу на виході підсилювача. Це пов’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 :

$$K_r = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots + U_n^2}}{U_1} \quad (5)$$

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

У ідеальній 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 :

$$K_H = \frac{\sqrt{U_2 + U_3 + \dots + U_n}}{U} \quad (6)$$

де U – діюче значення всього сигналу.

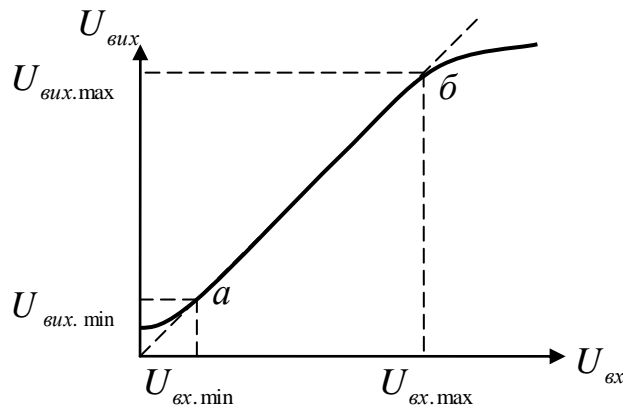


Рисунок 4 – Амплітудна характеристика підсилювача

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) у 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:

$$K_H = \frac{1}{\sqrt{1 - K_r}} \quad (1.6)$$

Підсилювач напруги змінної частоти на біполярному транзисторі

Біполярний транзистор підсилювача може бути ввімкнений по схемі: СЕ, СБ, СК. На рис. 5 а) показана схема підсилювача напруги де транзистор ввімкнено із спільним емітером. На рис. 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_{Γ} 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 $SA7, SA8$, призначені для від'єднання при необхідності R_H .

R_1-R_2 – дільник напруги: забезпечує зміщення (постійної напруги) 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.

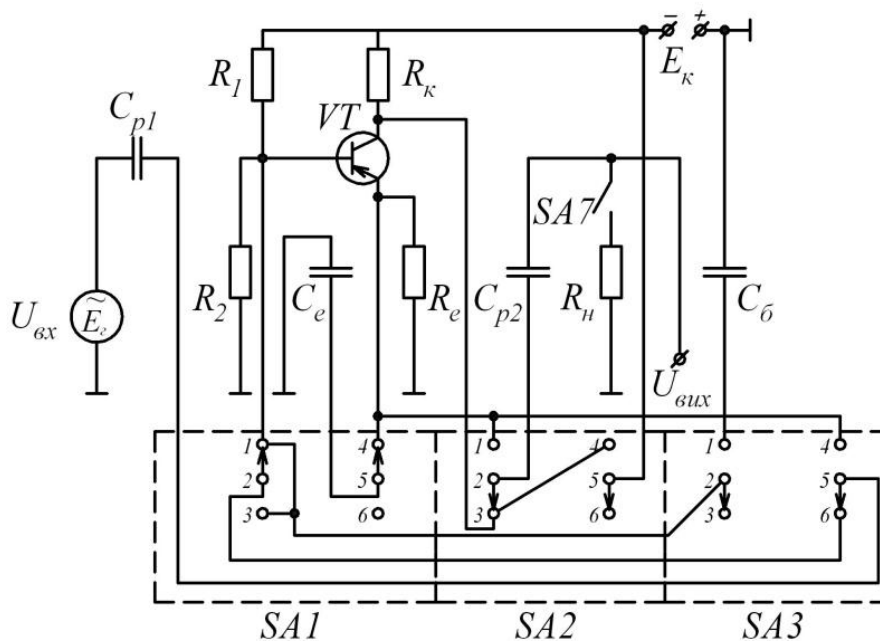


Рисунок 5 а) – Підсилювач низької частоти з ввімкненням транзистора по схемі СЕ

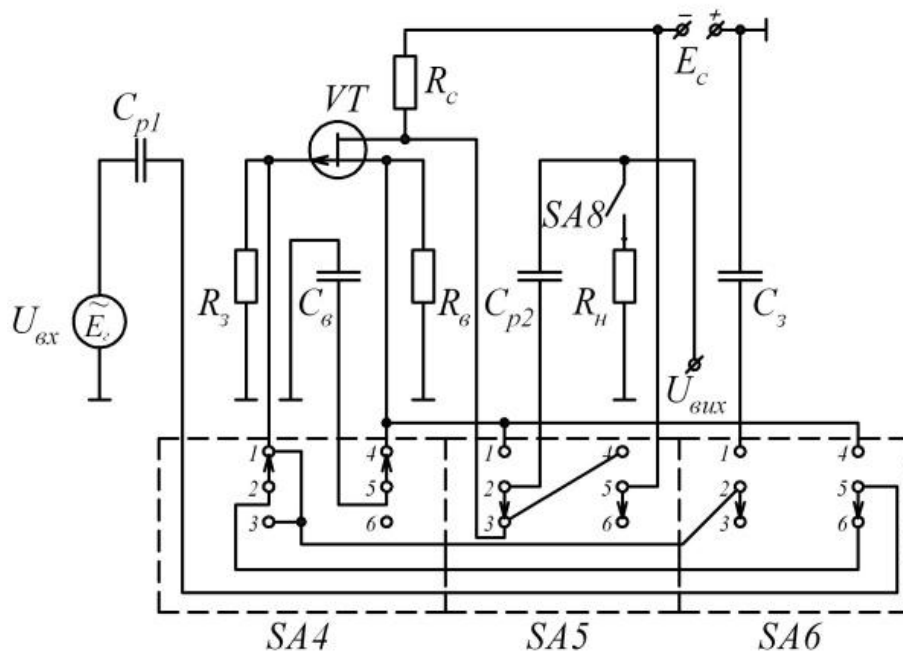


Рисунок 5 б) – Підсилювач низької частоти з ввімкненням транзистора по схемі СВ

Проведення досліджень

Схема підсилювача із спільним емітером рис. 5 а)

1. Підготувати до роботи осцилограф, електронний вольтметр, частотомір згідно інструкції по експлуатації приладів.

Початковий стан генератора ГЗ-111:

- декадний перемикач установки частоти перевести в положення 1;
- ручку (лімб) плавного регулювання частоти перевести на відмітку приблизно “10 Гц”;
- ручку плавного регулювання амплітуди вихідного сигналу перевести в крайнє ліве положення;
- вимірювальні провідники приєднати: сигнальний (потенціальний) до клеми “40 ДБ” в цьому випадку вихідний сигнал генератора буде зменшено на 40 дБ (в 100 разів) від номінального; другий провідник під’єднати до клеми \perp (“земля”);
- провідник від клеми \perp генератора приєднати до клеми \perp стенду (KT2) а провідник від клеми “40 дБ” – до входу підсилювача (KT1). Провідники осцилографа (канал 2) приєднати до виходу підсилювача (клеми KT3-KT4);
- ввімкнути всі вимірювальні прилади; тумблери SA1, SA7 перевести в положення “Угору”, тумблери SA2, SA3 – “Униз”;
- подати постійну напругу на стенд – тумблер “ E_k ” “Вгору”;
- 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). Виміряти величину вхідної напруги вольтметром В7-16: $U_{вх} \approx 0,707 \times U_m$;

– довести амплітуду вхідного сигналу до 10 мВ. Надалі положення ручки “Амплітуда” ГЗ-111 не змінювати;

– якщо на виході підсилювача сигнал не з’явиться, необхідно плавно збільшити частоту сигналу з генератора 10, 20, 30... Гц, одночасно збільшити чутливість II каналу осцилографу рукою “V/дел”;

– в момент появи сигналу на виході виміряти амплітуду підсиленого сигналу (канал II) та частоту сигналу (клеми КТ1-КТ2);

– надалі, збільшуючи плавно частоту сигналу з генератора ГЗ-111 через рівні проміжки в кожному діапазоні, виміряти вихідну напругу – $U_{вих}$. Результати вимірів занести в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати вимірів

f , 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
$U_{вих}$								
K_U								
$K_{норм}$								

Продовження табл. 1

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

– побудувати амплітудно-частотну характеристику. Щоб розмістити на вісях діапазони змін K_U і частоти f при побудові АЧХ, частоту f необхідно

$U_{вих}$											
K_U											
$K_{норм}$											

Контрольні питання

1. Підсилювачі сигналів змінної частоти. Класифікація підсилювачів.
2. Параметри підсилювачів.
3. Амплітудно-частотна та фазо-частотна характеристики підсилювача.
4. Викривлення сигналів в підсилювачах.
5. Принцип роботи резистивного підсилювача НЧ.
6. Принцип роботи $RC(LC)$ резонансного підсилювача.
7. Зворотний зв'язок в підсилювачах. Вплив зворотного зв'язку на коефіцієнт підсилення.
8. Принцип роботи диференційного підсилювача на ІМС.
9. Операційні підсилювачі (інвертуючі, неінвертуючі). Коефіцієнт підсилення ОП.
10. Призначення, принцип роботи підсилювача постійного струму (ППС). (Завдання для самостійного вивчення).
11. Принцип роботи біполярних та польових (уніполярних) транзисторів.
12. Схеми вмикання транзисторів. Переваги та недоліки кожної схеми вмикання транзистора, сфера використання.
13. Призначення елементів схеми підсилювача. Режим спокою підсилювача. Режими роботи підсилювачів (А, В, С).
14. Знати основні технічні характеристики елементів підсилювачів, уміти користуватися літературою по темі лабораторної роботи: знати правила користування довідниками (транзистори, резистори, конденсатори), уміти читати нескладні радіотехнічні схеми [2, 6].

Основні стандарти, що використовуються при оформленні лабораторних робіт

1. ДСТУ 2.702-75. Правила виконання електричних схем.
2. ДСТУ 2.701-76. Схеми. Види і типи. Загальні вимоги до виконання.
3. ДСТУ 2.747-68. Позначення. Умовні, графічні в схемах. Розміри умовних графічних позначень.
4. ДСТУ 2.743-72. Позначення умовні графічні в схемах. Двійкові логічні елементи.
5. ДСТУ 18.630-73. Трансформатори імпульсні. Основні параметри.

Буквені позиційні позначення елементів:

конденсатор – C ;
логічний елемент, мікросхема – D ;
резистор – R ;
потенціометр – RP ;
трансформатор, автотрансформатор – TV ;
діод, стабілітрон – VD ;
транзистор – VT ;
тиристор – VS .

Список використаних джерел

1. Г.П. Балан, П.О. Кравченко, Ю.Ф. Свєргун, О.Є. Щєрбаков. Теоретичні основи електротехніки / Г.П. Балан, П.О. Кравченко, Ю.Ф. Свєргун, О.Є. Щєрбаков. – Київ, 2008. – 320 с.
2. Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка / Колонтаєвський Ю.П. – Київ, видавництво «Каравела», 2004. – 430 с.
3. Свєргун Ю.Ф. Аналіз електричних кіл на персональному комп'ютері / Ю.Ф. Свєргун – Харків «Факт», 2008. – 296 с.

Навчальне видання

**ЕЛЕКТРОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА
ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА ТЕХНІКА**

Методичні вказівки
до виконання лабораторної роботи «Підсилюючі каскади»

КОСУЛІНА Наталія Геннадіївна
ЧОРНА Марія Олександрівна
СУХІН Віталій Володимирович
КОРШУНОВ Костянтин Сергійович

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

Ум. друк. арк. 1

Наклад 50 пр.

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