

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»



Є.І. Король, О.А. Бутова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт

з дисципліни «Аналогова схемотехніка»

для студентів спеціальностей «Електронні системи»

і «Фізична та біомедична електроніка»

Харків 2011

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Аналогова схемотехніка» для студентів спеціальностей «Електронні системи» і «Фізична та біомедична електроніка» /Уклад. Є.І. Король, О.А. Бутова – Харків: НТУ «ХПИ», 2011. – 40 с. Укр. мов.

Укладачі Є.І. Король,
О.А. Бутова

Рецензент А.В. Кіпенський

Кафедра промислової і біомедичної електроніки

ВСТУП

Предметом вивчення дисципліни «Аналогова схемотехніка» є теорія і практика побудови електронних засобів для різних галузей техніки та наукових досліджень. «Аналогова схемотехніка» є однією з базових загальнотехнічних дисциплін у підготовці студентів спеціальностей «Електронні системи» і «Фізична та біомедична електроніка». Головна мета дисципліни – навчити студента розробляти ті або інші функціонально закінчені електронні пристрої та розуміти принцип дії цих пристроїв, грамотно експлуатувати їх і формулювати завдання на розробку нового виробу.

В результаті вивчення дисципліни та виконання лабораторних робіт студент повинен засвоїти:

- схеми підсилення аналогових сигналів на дискретних елементах і сучасних інтегральних мікросхемах;
- особливості підсилення сигналів, що змінюються повільно, причини виникнення дрейфу нуля й методи боротьби з ним;
- вплив на параметри підсилювачів негативних і позитивних зворотних зв'язків;
- схеми пристроїв, що реалізують найпростіші математичні операції (підсилення, підсумовування, інтегрування та ін.), та порядок розрахунку елементів у них;
- основні типи активних і пасивних фільтрів та порядок їхнього розрахунку;
- методи захисту схем по входу та виходу від перевантажень;
- принципи побудови найпростіших схем стабілізаторів напруги з використанням інтегральних підсилювачів.

З метою покращення та інтенсифікації навчального процесу при вивченні дисципліни основні теоретичні положення закріплюються відповідними лабораторними дослідженнями. Вирішення лабораторних задач покращує навички використання теоретичних знань на практиці, розвиває мислення, допомагає детальніше усвідомити принцип дії окремих пристроїв і можливості їхнього практичного застосування.

Лабораторний практикум орієнтований на проведення занять фронтальним методом на універсальному лабораторному стенді, що розроблено на кафедрі «Промислова і біомедична електроніка» НТУ «ХПІ». Стенд зроблено у вигляді настільного переносного приладу, на лицьовій поверхні якого (див. додаток 1) розташовані гнізда для підключення вимірювального приладу та ключі для формування заданої схеми дослідження, а також наведені загальні спрощені схеми стенду.

Лабораторний стенд містить три схеми. Ліва та середня схеми дозволяють досліджувати схеми на дискретних елементах, які формуються за допомогою групи ключів з номером I (див. додаток 1). Права – схеми на операційному підсилювачі зі своєю групою ключів з номером II. Регулятори стенду розташовано на його лицьовій поверхні. Дослідження виконуються з використанням внутрішнього генератору G змінної або постійної напруги, якій підключається до точки $U1$ за допомогою ключа $S10$ групи I та управляється за допомогою ключа $S9$ і регуляторів « F » і « $U1$ », що розташовані у верхній частині блоку. При формуванні схеми експерименту замикання ключів $S1-S10$ груп I і II здійснюється переведенням відповідного перемикача у верхнє положення, а розмикання – у нижнє. Окрім переліченого на лицьовій панелі знаходяться додаткові індикатори PWR, PB3, PB4, які відображають наявність напруги живлення, сигналів на виходах портів В.3 та В.4 вбудованого мікроконтролера відповідно.

Для вимірювання параметрів сигналів схем відповідні контрольні точки виведені на гнізда, що розташовані у нижній частині лицьової панелі лабораторного стенду. Вимірювання здійснюються універсальним мультиметром у різних режимах роботи, крім того деякі дослідження потребують використання осцилографа.

Кожній з лабораторних робіт повинна передувати самостійна підготовка студентів, у процесі якої їм необхідно ознайомитися з описом лабораторної роботи, рекомендованими літературними джерелами, конспектом лекцій та виконати попередній розрахунок елементів схеми, відповідно з індивідуальним варіантом завдання методичних вказівок. У процесі підготовки до лабораторної роботи рекомендується вивчити схеми експерименту, а також підготувати таблиці, що необхідні для виконання експериментальних досліджень.

Обробка результатів експериментів може бути зроблена на підставі рекомендацій і формул, що наведені у лекційному курсі «Аналогова схемотехніка» та у підрозділах «Обробка результатів експерименту та оформлення звіту» методичних вказівок.

Звіт про виконану лабораторну роботу повинен містити: мету роботи, принципову схему експерименту, таблиці, графіки і результати розрахунків, що оформлюються відповідно зі стандартами НТУ «ХП». Крім того, останнім пунктом має бути стислий аналіз і висновки за результатами експериментів та розрахунків.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

ПІДСИЛЮВАЛЬНИЙ КАСКАД НА ТРАНЗИСТОРИ

Мета роботи – дослідження одиночних підсилювальних каскадів RC-типу на біполярному транзисторі; дослідження характеристик і визначення параметрів підсилювача.

1.1 Основні положення

Підсилювачі низької частоти (ПНЧ) призначені для підсилення безперервних періодичних сигналів, частотний спектр яких лежить у межах від десятків герц до десятків кілогерц. Для підсилення низьких рівнів сигналів застосовують багатокаскадні підсилювачі з ємнісними зв'язками між каскадами.

Типова схема підсилювального каскаду зі спільним емітером (СЕ) зі стабілізацією режиму роботи наведена на рис. 1.1. На рис. 1.2 наведені вихідні характеристики транзистора цієї схеми, що працює у режимі А. Ця схема відноситься до класу каскадів попереднього підсилення багатокаскадних підсилювачів.

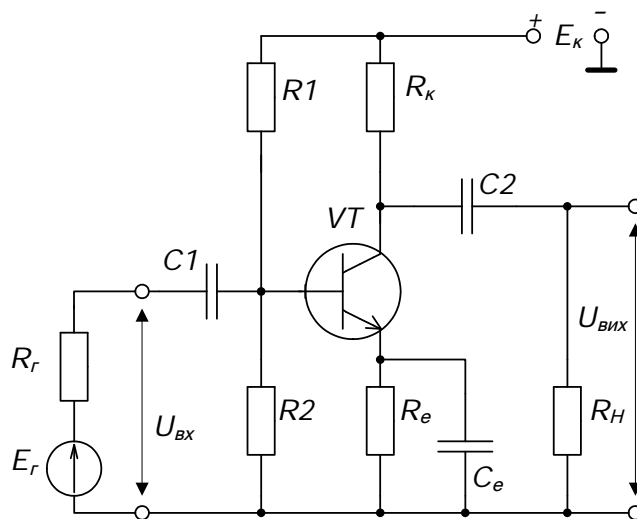


Рисунок 1.1 – Схема підсилювального каскаду зі СЕ

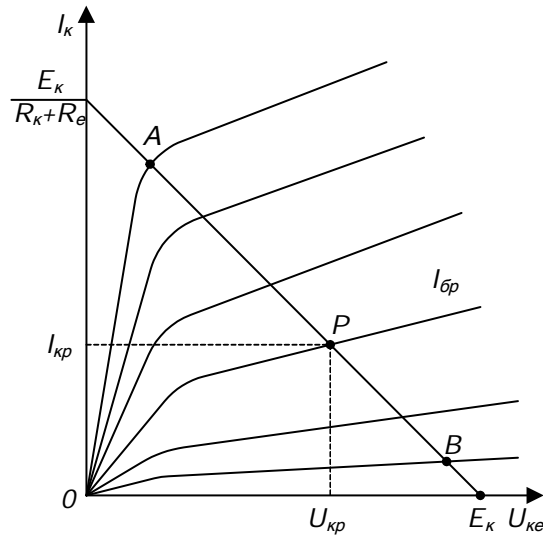


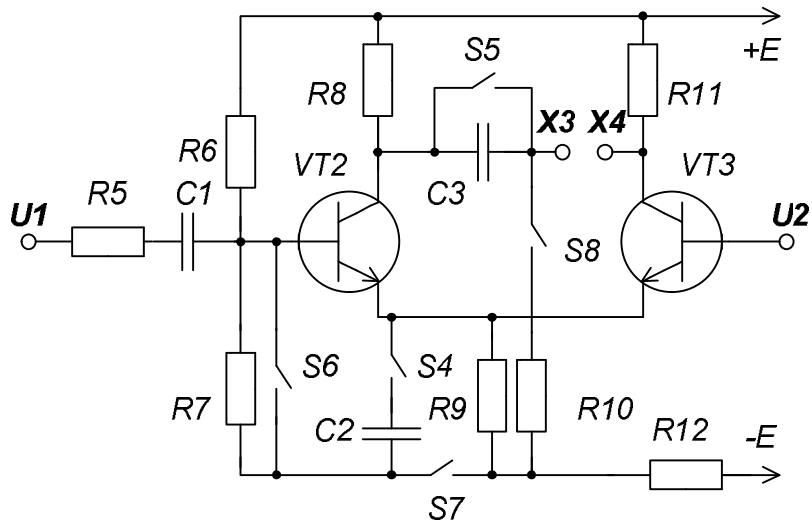
Рисунок 1.2 – Вихідні характеристики транзистора та лінія навантаження

1.2 Опис схеми експерименту

У роботі досліджується схема одиночного каскаду підсилювача низької частоти на біполярному транзисторі. На рисунку 1.3 наведена схема лабораторного стенду для дослідження підсилювачів на дискретних елементах, що дозволяє зібрати схему підсилювального каскаду на біполярному транзисторі зі СЕ. Для цього у якості навантаження R_H (рис. 1.1) використовується резистор $R10$ (рис. 1.3), вхідна напруга подається на $U1$, а вихідна знімається з контрольної точки $X3$.

Вхідний сигнал на $U1$ подається від вбудованого генератора G (ключ $S10$ групи I замкнено, див. додаток 1), а резистор $R5$ розглядається як його внутрішній опір. При замиканні ключа $S4$ у схемі відсутній негативний зворотний зв'язок по змінному сигналу. Ключ $S8$ дозволяє фіксувати характеристики каскаду при відсутності або наявності навантаження $R10$. Для забезпечення роботи каскаду ключ $S7$ треба замкнути.

Частота вхідного сигналу встановлюється ручкою « F » і перемикачем піддіапазону $S9$ «кГц», а регулюється по амплітуді ручкою « $U1$ », що розташовані на лицьовій панелі лабораторного стенду.



Параметри схеми: $R5 = 10 \text{ кОм}$, $R6 = 100 \text{ кОм}$, $R7 = 10 \text{ кОм}$, $R8 = 3,3 \text{ кОм}$, $R9 = 620 \text{ Ом}$, $R10 = 3,3 \text{ кОм}$, $R11 = 3,3 \text{ кОм}$, $R12 = 2 \text{ кОм}$, $C1 = 0,1 \text{ мкф}$, $C2 = 6,8 \text{ мкф}$, $C3 = 0,1 \text{ мкф}$.

Рисунок 1.3 – Схема лабораторного стенду, що дозволяє дослідити підсилювачі на дискретних елементах

1.3 Порядок виконання роботи

Перед початком дослідження підсилювального каскаду на біполярному транзисторі (рис. 1.1) треба зібрати схему на лабораторному стенді. Уважно простежити за правильністю стану ключів, при цьому використовуються ключі тільки групи I.

1.3.1 Зняти амплітудні характеристики $U_{вих} = f(U_{вх})$ при відсутності зворотного зв'язку ($S4$ замкнено) для двох випадків:

- а) навантаження R_H відключене (ключ $S8$ розімкнено);
- б) навантаження R_H підключене (ключ $S8$ замкнено).

Для зняття характеристик потрібно замкнути ключ $S10$, встановити частоту внутрішнього генератора 2 кГц (ключ $S9$ «кГц» розімкнено, ручка «F» у крайньому правому положенні). Вхідна напруга $U_{вх}$ встановлюється за допомогою ручки «U1» у діапазоні від 0,1 В до 1 В з дискретністю 0,1 В. Значення напруг $U_{вх}$ та $U_{вих}$ знімати з контрольних точок U1 і X3 за допомо-

гою універсального мультиметру у режимі цифрового вольтметра. Дані вимірювань занести в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Амплітудна характеристика каскаду зі СЕ

	$U_{ex}, \text{В}$	0,1					1
$U_{вих}, \text{В}$	$R_H = \infty$						
	$R_H = 3,3 \text{ кОм}$						

1.3.2 Зняти амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) при увімкненому навантаженні ($S8$ замкнено) для двох випадків:

- а) при відсутності зворотного зв'язку (ключ $S4$ замкнено);
- б) при наявності зворотного зв'язку (ключ $S4$ розімкнено).

Характеристики знімати при напрузі $U_{ex} = 0,3 \text{ В}$, яку потрібно підтримувати постійною за допомогою ручки « $U1$ » при зміні частоти від 20 Гц до 10 кГц (зміна частоти здійснюється подвоєнням 20, 40, 80, ..., для перемикачів піддіапазону частот використовується перемикач $S9$ «кГц» групи I). Дані вимірювань занести в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Амплітудно-частотна характеристика каскаду зі СЕ

	$f, \text{кГц}$							
$U_{вих}, \text{В}$	$C_e = 6,8 \text{ мкф}$							
	$C_e = 0$							

1.4 Обробка результатів експерименту та оформлення звіту

1.4.1 За даними п. 1.3.1 побудувати амплітудні характеристики $U_{вих} = f(U_{ex})$. Для лінійних ділянок амплітудних характеристик визначити коефіцієнти підсилення, динамічний коефіцієнт підсилення D і вихідний опір $R_{вих}$ підсилювального каскаду для одного зі значень вхідної напруги U_{ex} .

1.4.2 За даними п. 1.3.2 побудувати АЧХ у логарифмічному масштабі по осі частот, відкладаючи на осі не f , а $\lg f$. За частотними характеристиками визначити:

- коефіцієнт підсилення K_0 на середніх частотах;
- коефіцієнти частотних перекручувань для $f_1 = 100$ Гц і $f_2 = 10$ кГц.

Питання для самоперевірки

- 1 Перелічити основні параметри підсилювачів.
- 2 Поясніть причини появи нелінійних спотворювань.
- 3 Поясніть причини виникнення частотних спотворювань в області низьких і високих частот, з яких коефіцієнтів вони визначаються.
- 4 Опишіть роботу підсилювального каскаду зі СЕ на БТ.
- 5 Поясніть, як обирається режим покою підсилювального каскаду зі СЕ, використовуючи лінію навантаження.
- 6 Поясніть принцип термостабілізації в підсилювальному каскаді зі СЕ.
- 7 Поясніть, чому в підсилювальному каскаді зі СЕ вихідний сигнал перебуває в протифазі із вхідним сигналом.
- 8 Поясніть призначення C_e в підсилювальному каскаді зі СЕ.
- 9 Опишіть вплив елементів на параметри схеми по еквівалентній схемі підсилювального каскаду зі СЕ.
- 10 Поясніть, які елементи підсилювального каскаду зі СЕ впливають на частотні спотворювання в області нижніх і високих частот.
- 11 Поясніть вплив опору навантаження на параметри підсилювачів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ПІДСИЛЮВАЧІ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Мета роботи – вивчення принципу роботи схеми диференціального підсилювача та експериментальне визначення його параметрів; ознайомлення з роботою операційного підсилювача (ОП) і дослідження інвертуючого та неінвертуючого підсилювачів на ОП.

2.1 Основні положення

Підсилювачі постійного струму (ППС) призначені для підсилення сигналів, які повільно змінюються у часі, їх нижня частота наближається до нуля. Верхній частотний діапазон ППС визначається частотними властивостями підсилювача.

Необхідність підсилення постійних за рівнем сигналів, які повільно змінюються, не дозволяє застосовувати між каскадами підсилення розділові конденсатори, які не пропускають постійного сигналу. Ця особливість призводить до необхідності здійснення безпосереднього зв'язку джерела сигналу із входом підсилювача, а також між окремими підсилювальними каскадами.

У безпосередньому зв'язку між підсилювальними каскадами збільшується вплив нестабільності напруги живлення і зміни параметрів елементів схеми у часі та під впливом температури. Ці причини викликають зміну потенціалів напруги транзисторів, які підсилюються та формуються як корисний сигнал на виході схеми. Така поява вихідного сигналу при відсутності вхідного називається дрейфом нуля ППС.

Ефективним засобом боротьби з дрейфом стало застосування каскадів, побудованих за принципом зрівноважених мостів. Найбільш поширеним з них є диференціальний підсилювач.

У роботі досліджується диференціальний підсилювач, який зображено на рисунку 2.1. Також у роботі досліджується інвертуючий та неінвертуючий підсилювачі (рис. 2.2 а і б) і повторювач напруги (рис. 2.2 в) на основі операційного підсилювача.

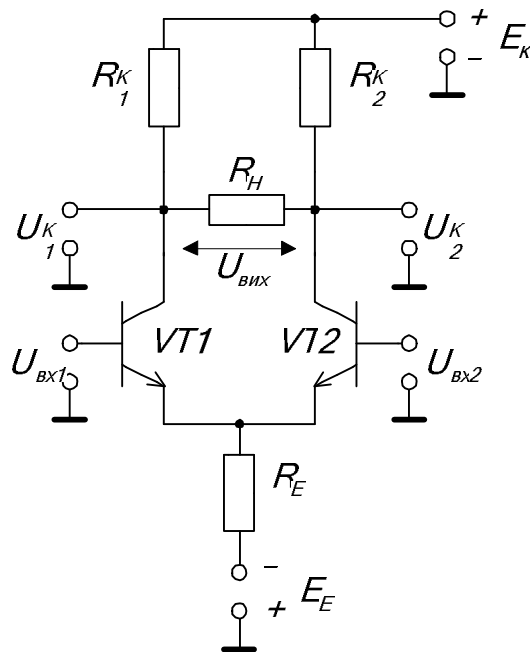


Рисунок 2.1 – Схема диференціального підсилювача

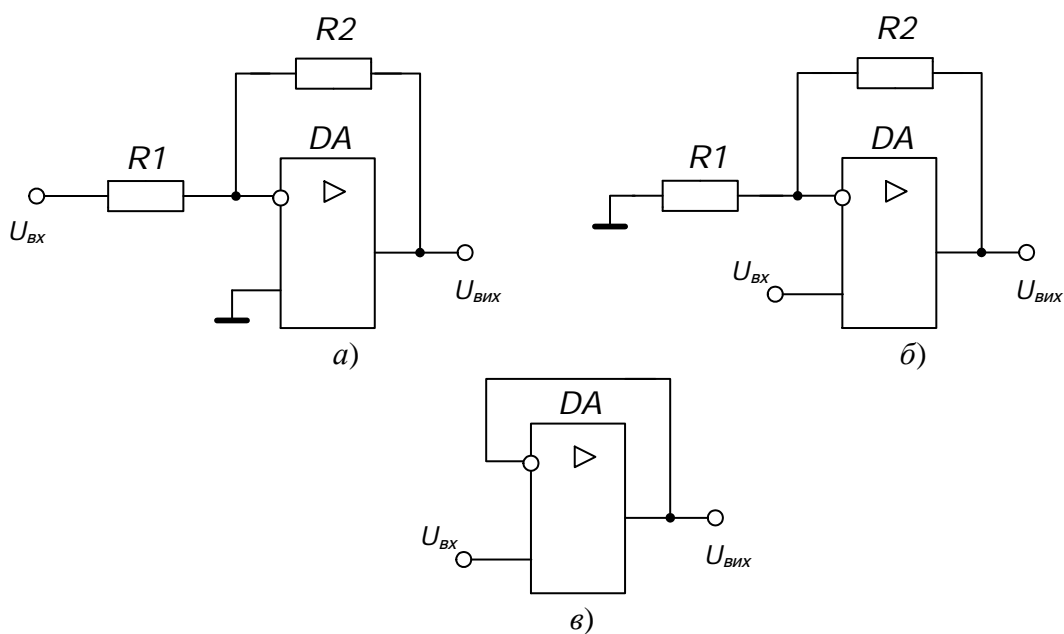


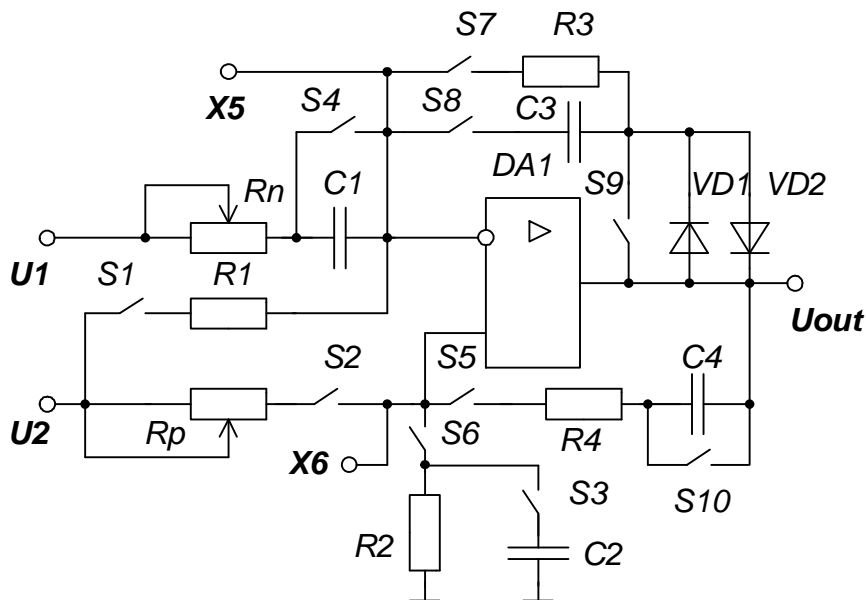
Рисунок 2.2 – Схеми підсилювачів на ОП:
а) інвертуючий підсилювач; б) неінвертуючий підсилювач; в) повторювач

2.2 Опис схем експерименту

У роботі досліджуються дві схеми підсилювачів постійного струму. Диференціальний підсилювач збирається згідно схеми лабораторного стенду (див. рис. 1.3). Вихідна напруга каскаду визначається між колекторами транзисторів VT2, VT3 (контрольні точки X3, X4 на рис. 1.3) залежно від подачі на їх бази диференціального або синфазного входних сигналів. У схемі використовуються ключі групи I.

На рисунку 2.3 наведено схему дослідження пристроїв на операційному підсилювачі, де використовуються ключі групи II.

Перед початком досліджень підсилювачів на ОП необхідно привести схему в чернетці та розрахувати значення резистора R_n відповідно з варіантом завдання (табл. 2.1). Завдання визначається згідно з номером підгрупи та номером студента в підгрупі.



Параметри схеми: $R1 = 10 \text{ кОм}$, $R2 = 10 \text{ кОм}$, $R3 = 10 \text{ кОм}$, $R4 = 20 \text{ кОм}$, $R_n = 0\text{--}20 \text{ кОм}$, $R_p = 0\text{--}20 \text{ кОм}$, $C1 = 0,1 \text{ мкф}$, $C2 = 0,1 \text{ мкф}$, $C3 = 0,1 \text{ мкф}$, $C4 = 0,1 \text{ мкф}$.

Рисунок 2.3 – Схема лабораторного стенду, що дозволяє дослідити пристрої на операційному підсилювачі

Таблиця 2.1 – Коефіцієнти підсилення схеми для різних варіантів завдань

№ студента	Схема підсилювача	Номер підгрупи					
		1	2	3	4	5	6
1	Інверт.	1,2	2,4	1,5	2,6	3,1	2,5
2	Неінверт.	2,0	3,0	1,8	3,3	2,2	3,6
3	Інверт.	3,4	1,4	0,6	3,5	1,1	2,2
4	Неінверт.	1,6	3,1	2,5	1,9	3,5	1,3

Розрахунок виконати попередньо перед початком лабораторної роботи та надати викладачеві для перевірки.

Для завдання значення резистора R_n необхідно замкнути ключ S_4 , розімкнути ключі S_1 , S_7 й S_8 і, вимірюючи опір за допомогою універсального мультиметру між контрольними точками U_1 і X_5 на лицьовій панелі стенду, встановити необхідне значення опору.

Вхідні сигнали для обох схем задаються від внутрішнього джерела (G) через U_1 і U_2 , величини яких встановлюються за допомогою відповідних регуляторів, що розташовані на лицьовій панелі стенду. Там же розташовані гнізда X_3 , X_4 , X_5 , X_6 та U_{out} , що призначені для вимірювання напруг у контрольних точках схем і на її виході.

2.3 Порядок виконання роботи

Перед початком експериментів ознайомтесь з основними положеннями побудови ППС та структурою ОП, виконайте розрахунки згідно з варіантом завдання (табл. 2.1), підготуйте стенд до роботи, та проконтролюйте підключення стенда до мережі живлення. При всіх дослідженнях вбудований у лабораторний стенд формувач напруги G працює у режимі постійної напруги (регулятор « F » у крайньому лівому положенні, S_{10} – замкнено S_9 – розімкнено).

2.3.1 Дослідження диференціального підсилювача

Зібрати схему диференціального підсилювача (рис. 2.1), для чого необхідні ключі перевести у відповідні положення (використати ключі групи I).

Зняти передатну характеристику диференціального підсилювача $U_{вих} = f(U_{вх2})$ при $U_{вх1} = 0$. Для цього за допомогою ключа *S6* подати на $U_{вх1} = 0$ В, регулятор «F» частоти вбудованого формувача вивести у крайнє ліве положення, подати на *U1* напругу з вбудованого формувача (ключ *S10*) і забезпечити максимальну напругу на його виході шляхом виведення регулятора напруги *U1* у крайнє праве положення (проконтролювати $U_1 > 10$ В). Послідовно змінювати U_2 від -4 В до $+4$ В і вимірювати потенціали колекторів U_{k1} та U_{k2} (гнізда *X3* і *X4*) за допомогою універсального мультиметру. Дані вимірювань занести в табл. 2.2.

Вхідна напруга розраховується як $U_{вх2} = U_2/10$. Вихідна напруга визначається зі співвідношення $U_{вих} = U_{k1} - U_{k2}$ з урахуванням знаку різниці.

Таблиця 2.2 – Передатна характеристика диференціального підсилювача

$U_2, \text{В}$	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4
$U_{вх2}, \text{В}$									
$U_{k1}, \text{В}$									
$U_{k2}, \text{В}$									
$U_{вих}, \text{В}$									

2.3.2 Дослідження схем підсилювачів на ОП

2.3.2.1 Зняти передатну характеристику $U_{вих} = f(U_{вх})$ повторювача напруги (рис. 2.2 в). Для цього зібрати схему на лабораторному стенді, використовуючи як зворотний зв'язок резистор *R3* (рис. 2.3), а *C1* розглядати як розрив для постійного сигналу, при цьому використовуються ключі групи II. Потім встановити режим роботи вбудованого генератора *G* як формувача постійної напруги, для чого регулятор частоти «F» вивести у крайнє ліве положення та подати (ключ *S10*) на *U1* напругу з генератора і забезпечити максимальний рівень на його виході шляхом переведення регулятора напруги

« U_1 » у крайнє праве положення (проконтролювати $U_1 > 10$ В). Змінювати $U_2 = U_{ex}$ від мінімального значення до максимального та вимірювати значення напруги на виході схеми U_{out} за допомогою універсального мультиметру. Дані вимірювань занести в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Передатна характеристика повторювача напруги

$U_{ex} (U_2 \text{ або } U_1), \text{ В}$										
$U_{вих} (U_{out}), \text{ В}$										

2.3.2.2 Повторити вимір п. 2.3.2.1 для схеми інвертуючого підсилювача (рис. 2.2 а) з одиничним коефіцієнтом підсилення й вхідною напругою U_2 , для чого в якості зворотного зв'язку використати резистори R_3 і R_1 . Неінвертуючий вхід ОП підключається до нуля через резистор R_2 (рис. 2.3).

2.3.2.3 Повторити вимір п. 2.3.2.1 для схеми індивідуального варіанта завдання (табл. 2.1). У якості зворотного зв'язку використовувати резистори R_3 і R_n (рис. 2.3). Перед початком вимірювань задається опір R_n (див. п. 2.2), значення якого розраховується відповідно варіанту завдання. Потім формується відповідна схема та знімається одна з ділянок передатної характеристики:

- для інвертуючого підсилювача – змінюється U_1 від max до min;
- для неінвертуючого підсилювача – змінюється U_2 від max до min при $U_1 = 0$ В.

2.4 Обробка результатів експерименту та оформлення звіту

2.4.1 За даними п. 2.3.1 побудувати передатну характеристику $U_{вих} = f(U_{ex})$ диференціального підсилювача. Визначити з передатної характеристики коефіцієнт підсилення $K_{\Pi} = \Delta U_{вих} / \Delta U_{ex2}$ на лінійній ділянці, а також максимальні значення вихідної напруги $U_{вих}^+$ і $U_{вих}^-$, що відповідають ділянкам насичення.

2.4.2 Використовуючи дані п. 2.3.1, визначити напругу зсуву диференціального підсилювача.

2.4.3 Побудувати передатну характеристику $U_{вих} = f(U_{вх})$ повторювача напруги та інвертуючого підсилювача з одиничним коефіцієнтом підсилення за даними п. 2.3.2.1 і п. 2.3.2.2 відповідно.

2.4.4 Побудувати передатну характеристику підсилювача для вашого завдання за даними п. 2.3.2.3, визначити коефіцієнт підсилення схеми $K_{П} = \Delta U_{вих} / \Delta U_{вх}$, а також похибку забезпечення заданого коефіцієнта підсилення $\delta = |K_{П} - K_{зад}| / K_{зад} \cdot 100\%$, де $K_{зад}$ – коефіцієнт підсилення, який задано у вашому варіанті.

Питання для самоперевірки

- 1 Що таке дрейф нуля й причини його появи в ППС?
- 2 Які особливості має схема диференціального каскаду?
- 3 Опишіть стабілізацію режиму спокою диференціального каскаду при зміні напруги живлення або температури.
- 4 Чому резистор R_E (див. рис. 2.1) збільшує стабільність схеми та не впливає на коефіцієнт підсилення диференціального каскаду?
- 5 Опишіть способи подачі вхідного сигналу в ППС (рис. 2.1).
- 6 Поясніть, чому диференціальний підсилювач не підсилює синфазний сигнал.
- 7 Опишіть загальну структуру ОП.
- 8 Вкажіть основні параметри ОП.
- 9 Приведіть та опишіть схему інвертуючого підсилювача.
- 10 Приведіть та опишіть схему неінвертуючого підсилювача.
- 11 Дайте порівняння інвертуючому та неінвертуючому підсилювачам за вхідним опором та коефіцієнтом підсилення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

АНАЛОГОВІ СХЕМИ НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ

Мета роботи – вивчення основних схем включення операційного підсилювача для обробки аналогових сигналів, визначення їх характеристик і параметрів.

3.1 Основні положення

Аналогові схеми на ОП називають лінійними, що обумовлено використанням при їх роботі лінійної ділянки передатної характеристики ОП. З урахуванням цієї умови, а також завдяки високим якісним показникам ОП, на його основі створюються високоточні пристрої обробки й перетворення аналогових сигналів (суматори, інтегратори, диференціатори, логарифматори, помножувачі сигналів, фільтри та ін.).

У роботі передбачена можливість дослідити наступні аналогові схеми на ОП: двохходовий інвертуючий суматор (рис. 3.1 а), схема підсумовування-віднімання (рис. 3.1 б), інтегратор (рис. 3.1 в), диференціатор (рис. 3.1 г), фільтр низьких частот (ФНЧ) (рис. 3.1 д), фільтр верхніх частот (ФВЧ) (рис. 3.1 е) і смуговий фільтр (СФ) (рис. 3.1 ж). Всі ці схеми мають негативний зворотний зв'язок.

3.2 Опис схеми експерименту

На рисунку 2.3 наведена схема лабораторного стенду, що дозволяє зібрати кожен з перелічених схем (рис. 3.1), комутуючи відповідні ключі групи П.

У даній роботі досліджуються наступні схеми на ОП: інвертуючий суматор, диференціатор і схема індивідуального варіанту завдання. Перед початком досліджень необхідно привести схему в чернетці та розрахувати значення резисторів R_n та R_p відповідно до варіанту.

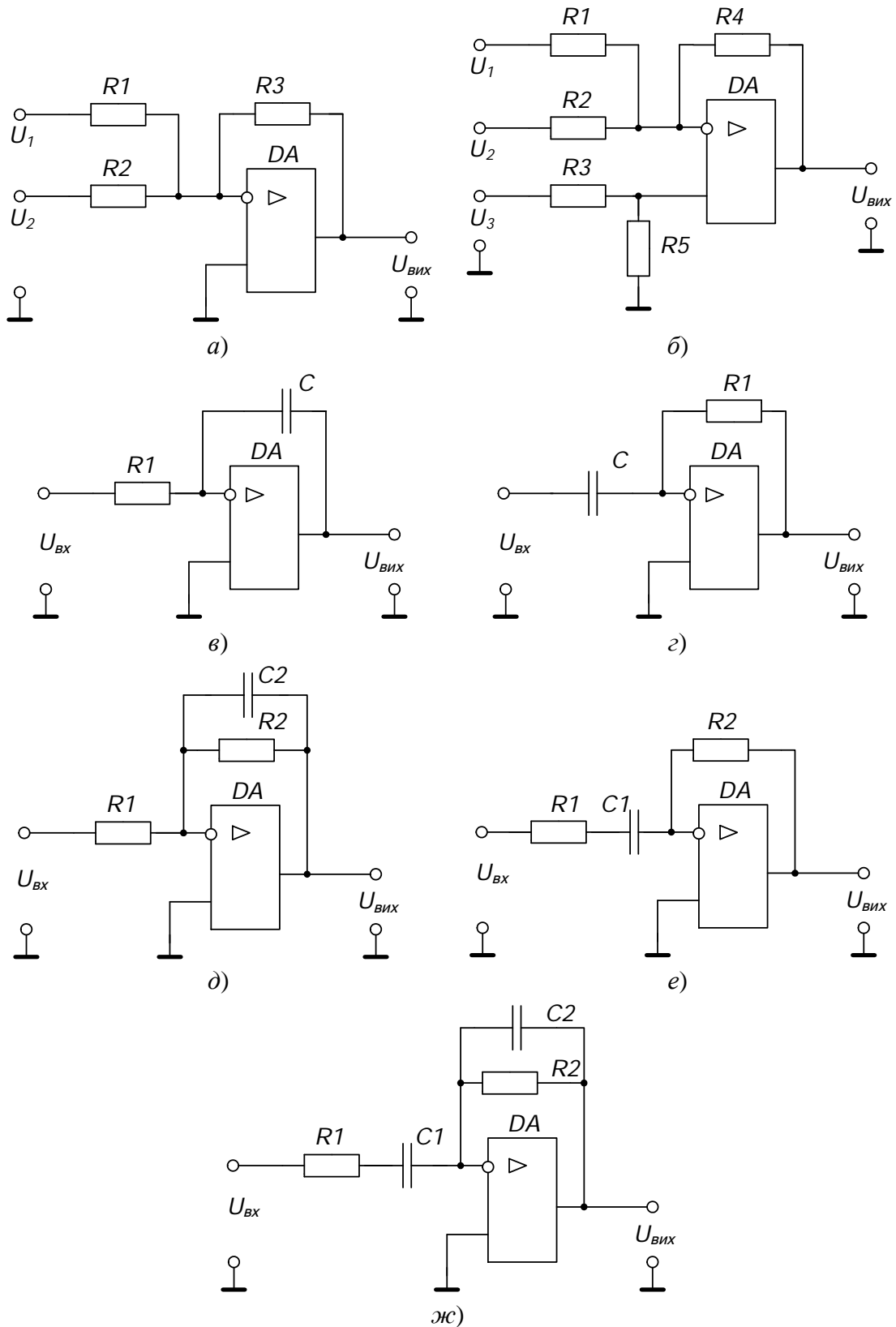


Рисунок. 3.1 – Аналогові схеми на ОП:

а) інвертуючий суматор; б) схема підсумовування-віднімання; в) інтегратор;
 г) диференціатор; д) фільтр низьких частот; е) фільтр верхніх частот; ж) смуговий фільтр.

Розрахунок виконати попередньо перед початком лабораторної роботи згідно завдання за номером студента в підгрупі й номерам підгрупи, що наведені в таблиці 3.1, та надати викладачеві для перевірки.

Таблиця 3.1 – Схеми та їх параметри для різних варіантів завдань

№ студента	Номер підгрупи					
	1	2	3	4	5	6
1	ФВЧ $f_3 = 100 \text{ Гц}$	ФНЧ $K_0 = 1,5$	СФ $f_3 = 120 \text{ Гц}$	$-600 \int U_{\text{ex}} dt$	$-2,5U_1 - U_2 + 3,5U_3$	ФНЧ $K_0 = 3,5$
2	$-U_1 - U_2 + 2U_3$	ФВЧ $f_3 = 150 \text{ Гц}$	ФНЧ $K_0 = 2$	СФ $f_3 = 170 \text{ Гц}$	$-800 \int U_{\text{ex}} dt$	$-1,5U_1 - U_2 + 2,5U_3$
3	$-1000 \int U_{\text{ex}} dt$	$-2U_1 - U_2 + 3U_3$	ФВЧ $f_3 = 200 \text{ Гц}$	ФНЧ $K_0 = 2,5$	СФ $f_3 = 220 \text{ Гц}$	$-1400 \int U_{\text{ex}} dt$
4	СФ $f_3 = 270 \text{ Гц}$	$-1200 \int U_{\text{ex}} dt$	$-3U_1 - U_2 + 4U_3$	ФВЧ $f_3 = 250 \text{ Гц}$	ФНЧ $K_0 = 3$	СФ $f_3 = 320 \text{ Гц}$

Для завдання значення резистора R_p необхідно замкнути ключ S_2 , розімкнути ключі S_1 , S_5 та S_6 і, вимірюючи опір універсальним мультиметром між контрольними точками U_2 і X_6 , встановити необхідне значення опору.

Вхідні сигнали для всіх схем задаються від джерел U_1 і U_2 , величини яких встановлюються за допомогою відповідних регуляторів. Гнізда U_1 , U_2 , X_5 , X_6 та U_{out} призначені для виміру напруг у контрольних точках схем і на її виході.

3.3 Порядок виконання роботи

Перед початком експериментів ознайомтесь зі схемами що досліджуються у роботі, виконайте розрахунки згідно з варіантом завдання (табл. 3.1), підготуйте стенд до роботи, та проконтролюйте підключення

стенду до мережі живлення (індикатор PWR, див. додаток 1). При формуванні схем експериментів використовуються ключі групи II.

3.3.1 Дослідження інвертуючого суматора

Зібрати схему суматора (рис. 3.1 а) та дослідити підсумовування напруг U_1 і U_2 , які подаються через резистори R_n і R_l на інвертуючий вхід ОП. Для цього попередньо задати значення резистора $R_n = 5$ кОм (див. п. 2.2), що відповідає підсумовуванню вхідних сигналів за виразом:

$$U_{вих} = -2U_1 - U_2. \quad (3.1)$$

Потім за допомогою ключів зібрати схему інвертуючого суматора, при цьому неінвертуючий вхід підключається до нуля через резистор R_2 (рис. 2.2). Заміряти та записати вихідну напругу U_{out} суматора за допомогою універсального мультиметру для трьох варіантів вхідних сигналів:

- а) $U_1 = +1,5$ В, $U_2 = +0,2$ В;
- б) $U_1 = +1$ В, $U_2 = -2$ В;
- в) $U_1 = +2$ В, $U_2 = -3$ В.

Перевірити отримані значення згідно с виразом (3.1). Для завдання рівня вхідної напруги використовують внутрішній генератор G . При цьому він працює в режимі формування постійної напруги (регулятор частоти «F» у крайньому лівому положенні, S_9 розімкнено, S_{10} замкнено).

3.3.2 Дослідження схеми диференціатора

Зібрати схему (рис. 3.1 з) та осцилографувати вхідну U_1 і вихідну U_{out} напруги диференціатора. Для цього за допомогою ключів групи II зібрати диференціатор, додатково опір резистора R_n задати 500 Ом та на вхід U_1 подати прямокутний сигнал з вбудованого генератора G з параметрами $f = 50$ Гц, $U_1 = 5$ В.

3.3.3 Дослідження схеми за індивідуальним завданням

Перед початком експериментів задати значення резисторів R_n і R_p (див. п. 2.2 і п. 3.2), які отримані під час розрахунків, та зібрати схему, згідно з варіантом завдання (табл. 3.1).

При дослідженні **фільтрів** зняти АЧХ, подаючи на вхід схеми сигнал з вбудованого генератора G . При цьому $U_{ex} = 1$ В (гніздо $U1$) підтримувати постійним за допомогою регулятора « $U1$ », а частоту змінювати від 20 Гц до 10 кГц з використанням перемикача $S9$ «кГц» (зміна частоти здійснюється подвоєнням 20, 40, 80...). Дані вимірів занести в таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Амплітудно-частотна характеристика фільтра

f , кГц								
U_{ex} В								
$U_{вих}$ В								

При дослідженні схеми **підсумовування-віднімання** на вхід схеми подавати напруги від джерел $U1$ і $U2$, напруга яких формується вбудованим генератором постійної напруги (див. п. 3.3.1).

Заміряти та записати вихідну напругу U_{out} схеми для трьох варіантів вхідних сигналів:

а) $U_1 = +1,5$ В, $U_2 = U_3 = +0,2$ В;

б) $U_1 = +1$ В, $U_2 = U_3 = -2$ В;

в) $U_1 = +2$ В, $U_2 = U_3 = -3$ В.

Перевірити отримані значення згідно з виразом свого індивідуального завдання.

При дослідженні **інтегратора** за допомогою ключів зібрати інтегратор, при цьому опір резистора R_n задати відповідно до варіанта завдання, а на вхід $U1$ подати сигнал прямокутної форми з вбудованого генератора з параметрами $f = 100$ Гц, $U_1 = 3$ В. Далі слід зафіксувати з осцилографа величину розмаху вхідної ($U1m$) і вихідної ($Uoutm$) напруг.

3.4 Обробка результатів експерименту та оформлення звіту

3.4.1 За даними п. 3.3.1 для трьох вимірювань визначити похибку обчислення суми $\delta = |U_{out} - U_{роз}| / U_{роз} \cdot 100\%$, де $U_{роз}$ – розрахункова напруга на виході суматора, U_{out} – напруга, що заміряна.

3.4.2 Навести осцилограми роботи диференціатора згідно з п. 3.3.2.

3.4.2 За результатами досліджень схеми індивідуального варіанту:

– для **активних фільтрів** за даними п. 3.3.3 побудувати АЧХ у логарифмічному масштабі по осі частот, відкладаючи на осі не f , а $\lg f$. За амплитудно-частотними характеристиками визначити: частоти зрізу, резонансну частоту та добротність (для СФ);

– для схеми **підсумовування-віднімання** за даними п. 3.3.3 для трьох вимірів визначити похибку обчислення суми (див. п. 3.4.1);

– для схеми **інтегратора** навести осцилограми напруг на вході й виході, сполучаючи їх у часі одна під одною, а також визначити постійну інтегрування за виразом $\tau = U_{1m} / 4U_{outm} \cdot f_r$ та похибку завдання постійної інтегрування $\delta = |\tau - RC| / RC \cdot 100\%$, де RC – добуток розрахункових значень номіналів елементів інтегратора.

Питання для самоперевірки

- 1 Що розуміють під ідеальним ОП?
- 2 Приведіть та опишіть схему інтегратора. Поясніть форму вихідної напруги інтегратора при подачі на вхід імпульсів прямокутної форми.
- 3 Приведіть та опишіть схему диференціатора.
- 4 В чому полягає умова балансу коефіцієнтів підсилення в схемі підсумовування-віднімання.
- 5 Як потрібно змінити опір резисторів суматора, щоб:

- а) збільшити в 4 рази коефіцієнти передачі одночасно по двох входах;
- б) зменшити в 2 рази коефіцієнт передачі тільки по одному входу.

6 Приведіть схему та за її допомогою поясніть вигляд АЧХ фільтра нижніх частот першого порядку.

7 Приведіть схему та за її допомогою поясніть вигляд АЧХ фільтра верхніх частот першого порядку.

8 Приведіть схему та за її допомогою поясніть вигляд АЧХ СФ.

9 Дайте визначення частоті зрізу й смузі пропускання.

10 Від яких елементів залежить коефіцієнт пропускання фільтрів нижніх і верхніх частот.

11 Дайте визначення добротності смугового фільтра.

12 Пояснити зміни осцилограм вихідної напруги інтегратора при зміні частоти вхідного сигналу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ІМПУЛЬСНІ СХЕМИ НА ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧАХ

Мета роботи – вивчення принципу роботи компаратора та тригера Шмітта на операційному підсилювачі; дослідження та визначення параметрів схем мультівібратора, а також аналогової схеми генератора синусоїдальної напруги на основі операційного підсилювача.

4.1 Основні положення

Операційні підсилювачі (ОП) широко використовуються в багатьох пристроях імпульсної й цифрової техніки. Їх застосування обумовлене можливістю одержання більш високих якісних параметрів пристроїв у порівнянні зі схемами на транзисторах.

У роботі передбачена можливість дослідити компаратор, наведений на рисунку 4.1, інвертуючий й неінвертуючий тригери Шмітта (рис. 4.2, 4.3), а також мультівібратор і генератор синусоїдальної напруги (рис. 4.4 а й б), на основі операційного підсилювача.

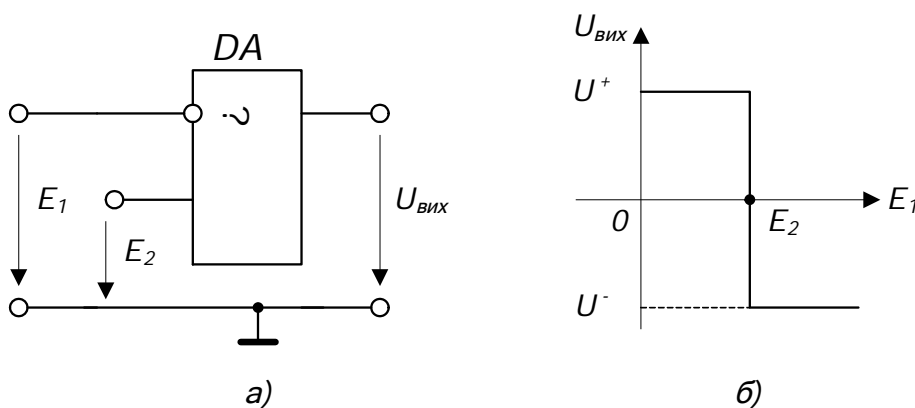


Рисунок 4.1 – Схема компаратора для порівняння напруги одного знака (а) і його передатна характеристика (б)

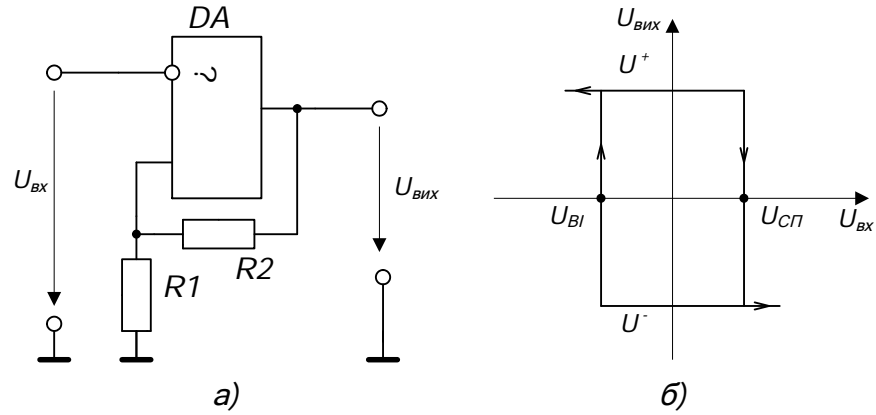


Рисунок 4.2 – Схема (а) і передатна характеристика (б) інвертуючого тригера Шмітта

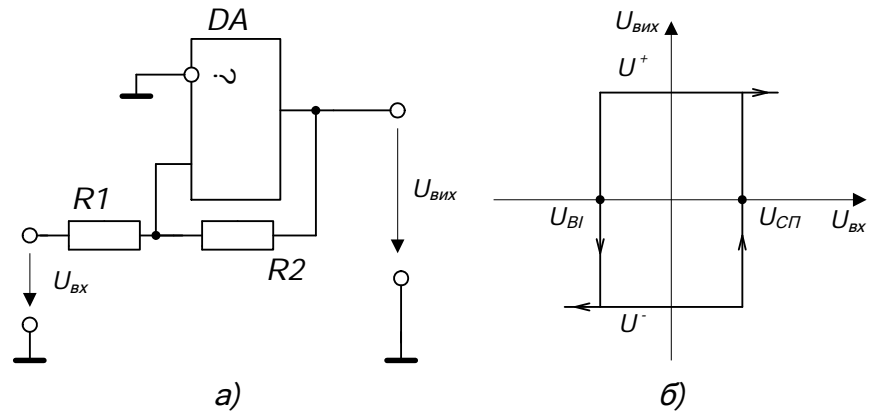


Рисунок 4.3 – Схема (а) і передатна характеристика (б) неінвертуючого тригера Шмітта

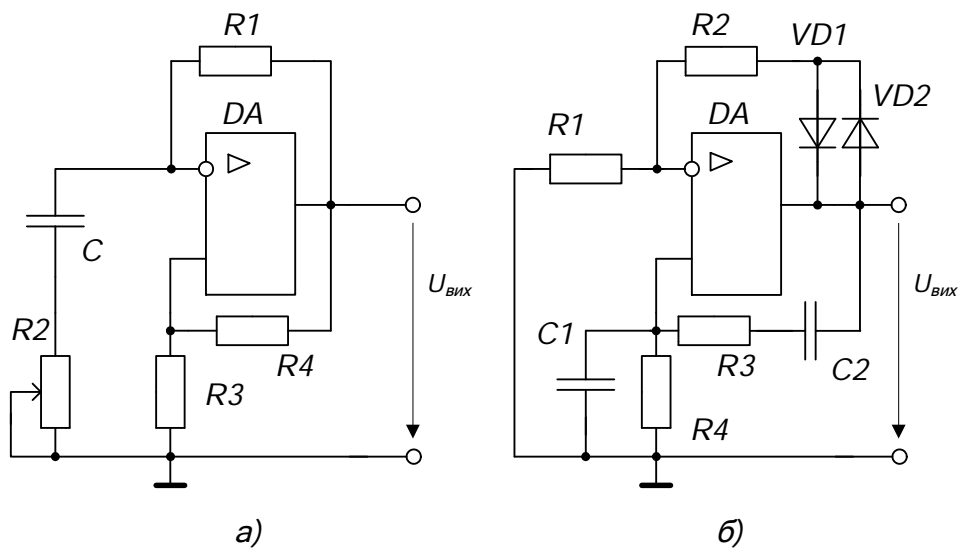


Рисунок 4.4 – Схема мультивібратора на ОП с додатковим резистором для регулювання вихідної частоти (а) та схема генератора синусоїдальної напруги (б)

4.2 Опис схеми експерименту

На рисунку 2.3 наведена схема лабораторного блоку, що дозволяє зібрати схеми що наведені на рисунках 4.1-4.4, комутуючи відповідні ключі групи II (див. додаток 1).

У роботі кожна з бригад досліджує наступні схеми на ОП: компаратор, інвертуючий тригер Шмітта та генератор синусоїдальної напруги, крім того кожен зі студентів досліджує схему свого варіанту відповідно с завданням (табл. 4.1). Перед початком досліджень необхідно навести схему в чернетці та розрахувати значення резисторів R_n й R_p відповідно до варіанту завдання. Завдання за номером студента в підгрупі й номерам підгруп наведені в таблиці 4.1, де МВ – мультивібратор, НТШ – неінвертуючий тригер Шмітта.

Таблиця 4.1 – Параметри схеми варіанта

№ студента	Номер підгрупи					
	1	2	3	4	5	6
1	МВ $f_0 = 700$ Гц	НТШ $U_{BI} = -2,8$ В	МВ $f_0 = 900$ Гц	МВ $f_0 = 750$ Гц	НТШ $U_{CII} = 1,2$ В	МВ $f_0 = 1330$ Гц
2	НТШ $U_{CII} = 2,4$ В	МВ $f_0 = 850$ Гц	НТШ $U_{BI} = -3,1$ В	НТШ $U_{BI} = -0,3$ В	МВ $f_0 = 800$ Гц	НТШ $U_{CII} = 1,1$ В
3	МВ $f_0 = 1350$	НТШ $U_{CII} = 2,5$ В	МВ $f_0 = 1000$ Гц	МВ $f_0 = 1200$ Гц	НТШ $U_{BI} = -2,2$ В	МВ $f_0 = 830$ Гц
4	НТШ $U_{BI} = -0,6$ В	МВ $f_0 = 1120$ Гц	НТШ $U_{CII} = 2,0$ В	НТШ $U_{CII} = 1,8$ В	МВ $f_0 = 1400$ Гц	НТШ $U_{BI} = -2,7$ В

Розрахунок виконати попередньо перед початком лабораторної роботи та надати викладачеві для перевірки.

Завдання значень резисторів схеми R_p й R_n здійснюється згідно пунктів 3.2 та 2.2.

При розрахунку інвертуючого **тригера Шмітта** враховувати, що напруга живлення 12 В.

Розрахунок резистора $R2$, що дозволяє регулювати вихідну частоту у **мультивібраторі** (рис. 4.4 а), необхідно робити методами наближених обчислень (наприклад, методом дихотомії або засобами MATCAD), використовуючи залежність значення опору від періоду коливань (T):

$$5,4 \frac{R2}{R1 + R2} - 2 = \left(4 \frac{R2}{R1 + R2} - 3 \right) \left(1 - e^{\frac{-T}{1,5C(R1+R2)}} \right).$$

При розрахунку використовувати номінали елементів схеми рис. 2.3, зазначені в п. 2.2.

Вхідні сигнали для всіх схем задаються від джерел $U1$ і $U2$, величини яких встановлюються за допомогою відповідних регуляторів на лицьовій панелі стенда. Гнізда $U1$, $U2$, $X5$, $X6$ та $Uout$ призначені для вимірів напруг у контрольних точках схем і на її виході. Підключення внутрішнього генератора напруги до $U1$ здійснюється ключем $S10$ на I групі ключів.

4.3 Порядок виконання роботи

Перед початком експериментів ознайомтесь зі схемами, що досліджуються у роботі, виконайте розрахунки згідно з варіантом завдання (табл. 4.1), підготуйте стенд до роботи, та проконтролюйте підключення стенда до мережі живлення. При формуванні схем експериментів використовуються перемикачі групи II.

4.3.1 Дослідження компаратора

Зібрати схему компаратора (рис. 4.1), для чого замкнути відповідні ключі. Потім зняти передатну характеристику компаратора $U_{вих} = f(E_1)$ при фіксованому значенні напруги на другому вході $E_2 = 0$ В (ключ $S6$ замкнено). Для завдання рівня вхідної напруги ($E_1 = U_2$) від -1 В до 1 В з дискретністю $0,2$ В використовувати внутрішній генератор G . При цьому він працює в ре-

жимі формування постійної напруги (регулятор частоти « F » перевести у крайнє ліве положення, $S9$ розімкнути, $S10$ замкнути на I групі ключів), а регулятор рівня напруги « $U1$ » – у крайнє праве положення.

Результати вимірювань звести у таблицю, яку слід підготувати самостійно.

4.3.2 Дослідження інвертуючого тригера Шмітта

Зібрати схему (рис. 4.2), визначити поріг спрацьовування $U_{СП}$ і поріг відпускання $U_{ВІ}$ тригера Шмітта, при цьому вхідну напругу подавати від джерела $U2$ ($U1 = \max$, постійне) та змінювати від мінімуму до максимуму наступним образом.

Ручку « $U2$ » встановити в крайнє ліве положення та зафіксувати максимальне значення $U_{вих} = U^+$. Повільно збільшуючи напругу $U2$ зафіксувати момент переключення тригера в протилежний стан з негативною вихідною напругою $U_{вих} = U^-$. Зафіксувати з урахуванням знака напругу $U2$, що відповідає порогу спрацьовування $U_{СП}$, а також значення U^- . Потім, повільно зменшуючи напругу $U2$, зафіксувати момент переключення тригера в протилежний стан з напругою $U_{вих} = U^+$. Зафіксувати напругу $U2$, що відповідає порогу відпускання $U_{ВІ}$.

В результаті експерименту повинні бути зафіксовані чотири напруги.

4.3.3 Дослідження схеми генератора синусоїдальної напруги

Зібрати схему (рис. 4.4 б), задати $U1 = 0$ В і підключити вихід генератора до осцилографа. Регулювання рівня вихідної напруги здійснювати за допомогою регулятора Rn .

Зняти осцилограми вихідної напруги з максимальною амплітудою без спотворень і зафіксувати значення резистора Rn .

Зняти осцилограми вихідної напруги з максимальною амплітудою та незначними спотвореннями (зрізана вершина синусоїди) та зафіксувати значення резистора Rn .

4.3.4 Дослідження схеми індивідуального завдання

4.3.4.1 При дослідженні **неінвертуючого тригера Шмітта** зібрати схему (рис. 4.3), при цьому задати величину резистора R_p (див. п. 3.2) відповідно до вашого розрахунку, а заземлення інвертуючого входу здійснити за допомогою зовнішньої перемички, підключеної до струмового входу універсального мультиметру й до контрольної точки $X5$ стенда.

Визначити поріг спрацьовування $U_{СП}$ і поріг відпускання $U_{ВІ}$ тригера Шмітта, при цьому вхідну напругу задавати від мінімуму до максимуму від джерела $U2$ ($U1 = \max$, постійне). Виміри робити згідно п. 4.3.2.

4.3.4.2 Для дослідження **мультивібратора** на ОП необхідно зібрати схему (рис. 4.4 *a*), задати $U1 = 0$ В та встановити значення регулятора Rn (див. п. 2.2) відповідно до вашого розрахунку.

Зняти осцилограми схеми мультивібратора на виході, інвертуючому і неінвертуючому входах ОП. Осцилографування трьох часових діаграм зробити сполучаючи їх по осі X .

Виміряти за допомогою універсального мультиметру у відповідному режимі частоту коливань f мультивібратора.

4.4 Обробка результатів експерименту та оформлення звіту

4.4.1 За даними таблиці п. 4.3.1 побудувати передатну характеристику компаратора.

4.4.2 Використовуючи дані п. 4.3.2 побудувати передатну характеристику інвертуючого тригера Шмітта.

4.4.3 Навести осцилограми генератора синусоїдальної напруги, що отримані в п. 4.3.3, та відповідні їм значення опору резистора Rn .

4.4.4 За результатами досліджень схеми індивідуального варіанту завдання:

– для **неінвертуючого тригера Шмітта** за даними п. 4.3.4.1 побудувати передатну характеристику тригера та визначити похибку завдання порогів спрацьовування й відпускання;

– для **мультивібратора** за даними п. 4.3.4.2 навести осцилограми та визначити похибку завдання вихідної частоти;

Питання для самоперевірки

1 Поясніть вид передатної характеристики компаратора. Побудуйте дану характеристику при $E_2 = +5\text{ В}$.

2 Опишіть схему тригера Шмітта та поясніть вид його передатної характеристики.

3 Як можна збільшити поріг спрацьовування та відпускання тригера Шмітта?

4 Поясніть, чим відрізняється неінвертуючий тригер Шмітта від інвертуючого.

5 Поясніть принцип роботи мультивібратора на ОП.

6 Поясніть за допомогою часових діаграм, як зміниться частота мультивібратора при збільшенні опору резистора $R1$.

7 Поясніть принцип роботи генератора синусоїдальної напруги.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

НАПІВПРОВІДНИКОВІ СТАБІЛІЗАТОРИ

Мета роботи – дослідження робочої ділянки вольт-амперної характеристики напівпровідникового стабілітрона, вивчення основних характеристик параметричного та компенсаційного стабілізаторів напруги та визначення їх якісних показників.

5.1 Основні положення

Електронні пристрої, як правило, живляться від мережі змінної напруги через випрямлячі. При цьому постійна напруга на навантаженні може змінюватися в досить широких межах за рахунок коливань напруги мережі живлення, змін струму навантаження, температури та ін.

Нестабільність напруги являє собою відношення зміни напруги до його номінального значення і визначається у відсотках. Так, нестабільність промислової мережі змінної напруги досягає 15 %. У ряді випадків, електронна апаратура може нормально функціонувати при нестабільності напруги живлення 0,1 % і менше. У цих випадках між випрямлячем з фільтром і навантаженням встановлюється пристрій, що автоматично підтримує постійну вихідну напругу. Такий пристрій називається стабілізатором напруги. Існують два основних типи лінійних стабілізаторів: параметричні (рис. 5.1) та компенсаційні (рис. 5.2), які досліджується у роботі.

5.2 Опис схеми експерименту

У роботі використовується ліва схема стенду (див. додаток 1), що наведена на рисунку 5.3 та дозволяє дослідити схеми стабілізаторів (рис. 5.1 і 5.2).

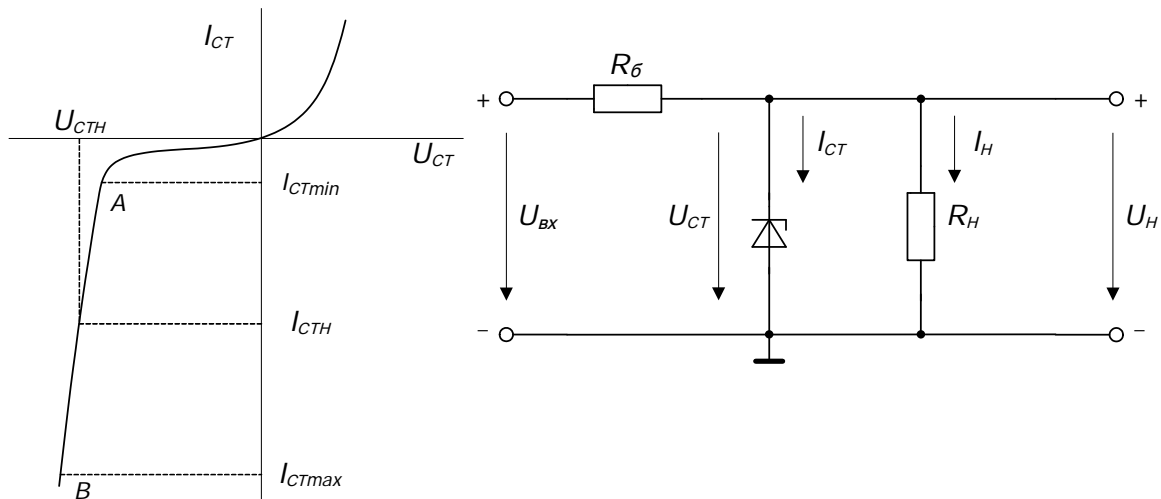


Рисунок 5.1 – Вольт-амперна характеристика стабілітрона (а) і схема параметричного стабілізатора (б)

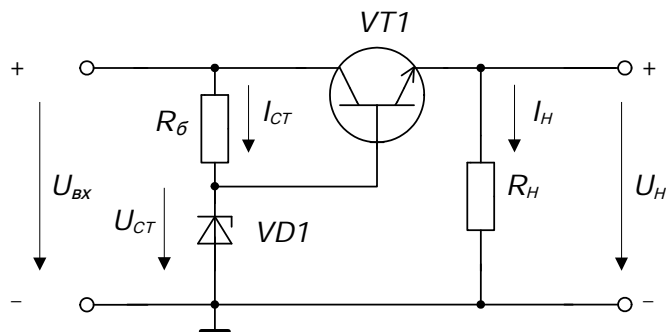
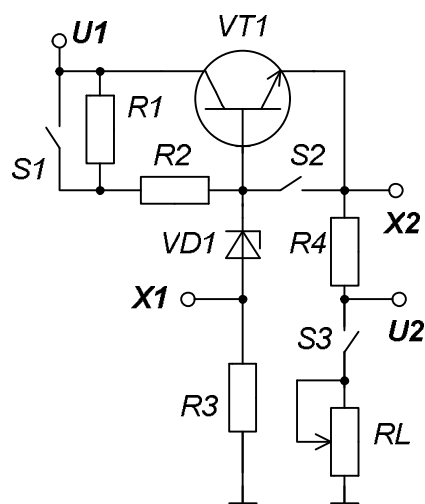


Рисунок 5.2 – Схема компенсаційного стабілізатора



Параметри схеми:

$R1 = 1 \text{ кОм}$, $R2 = 200 \text{ Ом}$, $R3 = 1 \text{ Ом}$, $R4 = 1 \text{ Ом}$, $RL = 0-20 \text{ кОм}$,

Рисунок 5.3 – Схема лабораторного стенду, що дозволяє дослідити схеми стабілізаторів

Вхідні сигнали для всіх схем задаються від джерела $U1$, а вихідні знімаються з контрольної точки $U2$. Зміна вихідного опору RL здійснюється регулятором « $U2(RL)$ » при замкнутому ключі $S3$ (рис. 5.3).

Струм стабілітрона знімається у вигляді напруги на резисторі $R3 = 1$ Ом між контрольними точками GND та $X1$, струм навантаження – на $R4 = 1$ Ом між $U2$ та $X2$.

5.3 Порядок виконання роботи

Перед початком експериментів підготуйте стенд до роботи, та проконтролюйте підключення стенду до мережі живлення. При формуванні схем експериментів використовуються ключі тільки групи I, а внутрішній генератор G використовується у режимі формування постійної напруги.

5.3.1 Дослідження параметричного стабілізатора

5.3.1.1 Зібрати схему (рис. 5.1) та зняти зовнішню характеристику $U_n = f(I_n)$ при номінальній вхідній напрузі $U_{ex} = 10$ В. Струм навантаження змінюється від мінімального до максимального за допомогою регулятора « $U2(RL)$ » (див. додаток 1), при цьому треба фіксувати струм стабілітрона й напругу на навантаженні. Дані вимірювань занести в таблицю 5.1.

Таблиця 5.1 – Зовнішня характеристика параметричного стабілізатора

I_n , мА						
I_{cm} , мА						
U_n , В						

5.3.1.2 Зняти залежність $U_n = f(U_{ex})$ при струмі навантаження (задається викладачем від 1 до 8 мА), змінюючи вхідну напругу в межах від 7 В до 10,5 В регулятором « $U1$ ». Дані вимірювань занести в табл. 5.2.

Таблиця 5.2 – Вплив зміни вхідної напруги на вихідну

U_{ex} , В	7	8	9	10	10,5
U_n , В					

5.3.2 Дослідження компенсаційного стабілізатора

Зібрати схему (рис. 5.2) та повторити виміри за пунктами 5.3.1.1 й 5.3.1.2 для компенсаційного стабілізатора. Дані вимірювань занести у відповідні таблиці, при цьому струм стабілітрона не фіксувати.

5.4 Обробка результатів експериментів й оформлення звіту

5.4.1 Для параметричного стабілізатора відповідно до табл. 5.1 побудувати зовнішню $U_n = f(I_n)$ та зворотну характеристику робочої ділянки вольт-амперної характеристики стабілітрона $U_{cm} = f(I_{cm})$, враховуючи рівність напруг на стабілітроні й навантаженні $U_{cm} = U_n$. Графіки розташувати у відповідних квадрантах.

За нахилом зовнішньої характеристики і характеристики стабілітрона визначити вихідний опір стабілізатора $R_{вих}$ і динамічний опір стабілітрона r_d .

5.4.2 Побудувати залежність $U_n = f(U_{ex})$ відповідно до табл. 5.2. За графіком розрахувати коефіцієнт стабілізації K_{cm} при номінальній вхідній напрузі $U_{ex} = 10$ В.

5.4.3 Побудувати відповідно до таблиці п. 5.3.2 зовнішню характеристику компенсаційного стабілізатора. Визначити за нахилом даної характеристики вихідний опір стабілізатора.

5.4.4 Побудувати відповідно до таблиці п. 5.3.2 залежність $U_n = f(U_{ex})$ при $I_n = const$. За графіком визначити коефіцієнт стабілізації при номінальній вхідній напрузі $U_{ex} = 10$ В.

Питання для самоперевірки

- 1 Перелічіть основні параметри стабілізаторів і характеристики, які використовуються для їх вимірів.
- 2 Перелічіть основні параметри напівпровідникового стабілітрона. Який параметр визначає його якісні показники в схемі параметричного стабілізатора?
- 3 Поясніть принцип роботи параметричного стабілізатора напруги.
- 4 Поясніть, як можна експериментально визначити коефіцієнт стабілізації й вихідний опір стабілізатора.
- 5 Поясніть роботу компенсаційного стабілізатора, наприклад, при зменшенні вхідної напруги.
- 6 Опишіть роботу компенсаційного стабілізатора при $U_{вх} = const$ і зміні струму навантаження.
- 7 Приведіть порівняльний аналіз якісних показників параметричних і компенсаційних стабілізаторів на основі проведених експериментів.

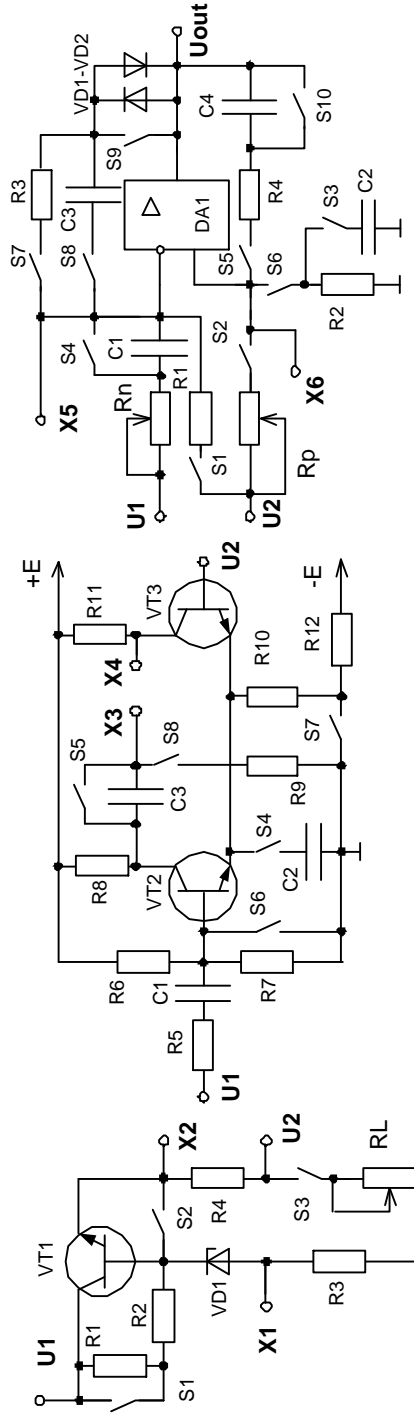
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Горбачев Г.Н., Чаплыгин Е.Е. Промышленная электроника. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 320с.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электроника. – М.: Высш. шк., 1991. – 610с.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.: Высш. шк., 1982. – 495с.
4. Расчет электронных схем. Учеб. пособие для вузов /Г.И. Изъюрова, Г.В. Королев, В.А. Теревох и др. – М.: Высшая школа, 1987. – 353с.
5. Руденко В.С, Сенько В.И., Трифонюк В.В. Основы промышленной электроники. – К.: Вища шк., 1985. – 400с.
6. Андронік Буняк. Електроніка та мікросхемотехніка: навчальний посібник для вищих учбових закладів. – Київ – Тернопіль: 2001. – 382 с.
7. Скаржепа В.А., Луценко А.Н. Электроника и микросхемотехника в 2 частях. /Под. общ. ред. А.А. Краснопоршиной. – К.: ВШ, 1989. – 431с.
8. Шабатура Ю.В., Бандак М.І., Присяжнюк В.В. Електроніка та мікросхемотехніка ч.2. – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 144с.

ДОДАТОК 1

Разработано на кафедре "Промышленная и биомедицинская электроника"

F U1 U2(RL) Rp Rn



U1 U2 Uout X1 X2 X3 X4 X5 X6 GND

S1 S10 S10 S10 S10 S10 S10 S10 S10 S10

S9 "ИТЛ" S10 S10 S10 S10 S10 S10 S10 S10 S10

U1 U2 Uout X1 X2 X3 X4 X5 X6 GND

ЗМІСТ

Вступ	3
Лабораторна робота № 1. Підсилювальний каскад на транзисторі	6
Лабораторна робота № 2. Підсилювачі постійного струму	11
Лабораторна робота № 3. Аналогові схеми на операційних підсилювачах	18
Лабораторна робота № 4. Імпульсні схеми на операційних підсилювачах	25
Лабораторна робота № 5. Напівпровідникові стабілізатори	32
Перелік літератури	37
Додаток 1	38

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторних робіт з курсу
«Аналогова схемотехніка» для студентів спеціальностей
«Електронні системи» і «Фізична та біомедична електроніка»

Українською мовою

Укладачі **КОРОЛЬ Євген Ігорович**
БУТОВА Ольга Анатоліївна

Відповідальний за випуск **Є.І. Сокол**
Роботу рекомендував до друку **В.Т. Долбня**

Редактор _____
Коректор _____

План 2011, поз.
Формат 60x84 1/16. Папір офсетн. Друк – ризографія.
Гарнітура – Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,95.
Обл. – вид. арк. 3,2. Наклад 50 прим. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХП».
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2000р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ «ХП», м. Харків, вул. Фрунзе, 21

Друкарня НТУ «ХП».
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21