

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Київський національний університет будівництва і архітектури

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт № 5–9
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальностями 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

Київ 2024

ББК 32.973-01

К45

Укладачі: В.Ю. Луценко, канд. техн. наук, доцент;
М.В. Волчков, асистент

Рецензент Г.М. Голенков, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний за випуск А.В. Заприво́да, канд. техн. наук,
доцент

*Затверджено на засіданні кафедри автоматизації
технологічних процесів, протокол № 6 від 13 грудня 2023 року.*

В авторській редакції.

Електроніка та мікросхемотехніка : методичні вказівки до
К45 виконання лабораторних робіт № 5–9 / уклад.: В.Ю. Луценко,
М.В. Волчков. – Київ : КНУБА, 2024. – 36 с.

Містять зміст, теоретичні відомості про будову, принцип дії, параметри та основні характеристики операційних підсилювачів та елементів цифрової електроніки, а також порядок оформлення і вказівки до виконання лабораторних робіт в середовищі Electronics Workbench з використанням віртуальних вимірювальних засобів.

Призначено для студентів спеціальностей 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

ЗМІСТ

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ.....	4
Лабораторна робота №5. Дослідження операційного підсилювача.	5
Лабораторна робота №6. Дослідження суматора на основі ОП.....	13
Лабораторна робота №7. Дослідження роботи компаратора.	19
Лабораторна робота №8. Дослідження логічних елементів.	24
Лабораторна робота №9. Дослідження RS тригера.....	30
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	35

ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Без знань та вмінь застосовувати методи дослідження операційних підсилювачів та комбінаційних цифрових схем неможливе проєктування сучасних систем автоматизації в будівельній та інших галузях, тому вивчення теоретичних основ та практичних методів дослідження елементів аналогової та цифрової електроніки є важливим кроком в отриманні інженерної кваліфікації.

Метою виконання лабораторних робіт є закріплення знань, наданих студентам під час вивчення курсу «Електроніка та мікросхемотехніка». Лабораторні роботи направлені на розвиток у студентів навичок самостійної роботи з використання засобів вимірювання електричних сигналів, з проєктування пристроїв на основі напівпровідникових приладів та мікросхем цифрової техніки.

Перед виконанням лабораторної роботи студент зобов'язаний вивчити теоретичні відомості щодо теми лабораторної роботи. Кожній лабораторній роботі передуює розділ, який вміщує необхідні теоретичні відомості, але під час підготовки рекомендується також використовувати матеріали підручника та лекційних занять.

У процесі виконання лабораторних робіт треба керуватися порядком виконання робіт, наданим в даних методичних вказівках.

Звіт про виконання кожної лабораторної роботи має містити необхідні теоретичні відомості, схеми, результати проведених вимірювань, графіки, що вказані в пункті «Порядок виконання роботи кожної лабораторної роботи».

Оформлені відповідним чином звіти з лабораторних робіт захищаються. Студент має відповісти на запитання викладача щодо теоретичних відомостей теми лабораторної роботи, змісту отриманих результатів вимірювань та побудованих графіків.

Тематика лабораторних робіт відповідає програмі курсу «Електроніка та мікросхемотехніка» для спеціальностей 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Лабораторна робота № 5

Дослідження операційного підсилювача

Мета роботи – вивчити принцип дії та схеми ввімкнення операційних підсилювачів з інвертованим та неінвертованим входами.

1. Короткі теоретичні відомості

Принцип дії операційного підсилювача

Операційні підсилювачі (ОП) відносяться до підсилювачів постійного струму з великим коефіцієнтом підсилення, які виконані за схемою диференційних підсилювачів постійного струму та мають диференційний вхід (два вхідних виводи) і один спільний вивід. Умовне позначення ОП зображено на рис. 5.1, один із входів ($U_{\text{вхн}}$) називається неінвертованим, а другий ($U_{\text{вхі}}$) – інвертованим.

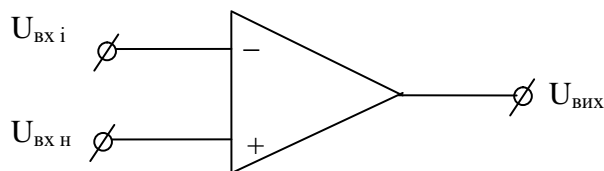


Рис. 5.1. Умовно-графічне позначення операційного підсилювача

У процесі подачі сигналу на неінвертований вхід приріст вихідного сигналу збігається за знаком (фазою) з приростом вхідного сигналу. Якщо ж сигнал подається на інвертований вхід, то приріст вихідного сигналу має протилежний знак (протилежний за фазою) порівняно з приростом вхідного сигналу. Інвертований вхід використовується для введення в ОП зовнішніх негативних зворотних зв'язків (НЗЗ).

В основі ОП лежить диференційний каскад, застосований у якості вхідного каскаду підсилювача. Вихідним каскадом ОП, як правило, служить емітерний повторювач, котрий забезпечує потрібну навантажуючу властивість всієї схеми. Оскільки коефіцієнт підсилення за напругою емітерного повторювача близький до одиниці, необхідне значення коефіцієнту підсилення досягається завдяки допоміжним диференційним каскадам.

Коефіцієнт підсилення операційних підсилювачів досягає 10^4 - 10^6 . У зв'язку з цим ОП вмикаються з використанням глибокого негативного зворотного зв'язку. Властивості такого підсилювача майже не залежать від зовнішніх впливів та параметрів ОП і визначаються головним чином параметрами кола зворотного зв'язку.

Найголовнішими характеристиками ОП є його амплітудні (передаточні) характеристики. Їх надають у вигляді кривих, котрі відносяться до інвертованого та неінвертованого входів. Характеристики знімаються у разі подачі сигналу на один з входів за нульового сигналу на іншому. Кожна з кривих складається з горизонтальних та нахилених ділянок.

Горизонтальні ділянки кривих відповідають режиму повністю відкритого (насиченого) або закритого транзистора вихідного каскаду (емітерного повторювача). У разі зміни напруги вихідного сигналу на цих ділянках вихідна напруга підсилювача залишається без змін і визначається напругами $U_{+вих\ max}$ та $U_{-вих\ max}$. Вказані значення максимальних вихідних напруг близькі до напруги E_k джерел живлення.

Передаточні характеристики ОП.

Нахилений ділянці відповідає пропорційна залежність вихідного сигналу напруги від вхідного. Кут нахилу визначається коефіцієнтом підсилення $K_{\Pi} = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta U_{вх}}$. Значення K_{Π} залежить від типу ОП і може складати від кількох сотень до кількох сотень тисяч і більше.

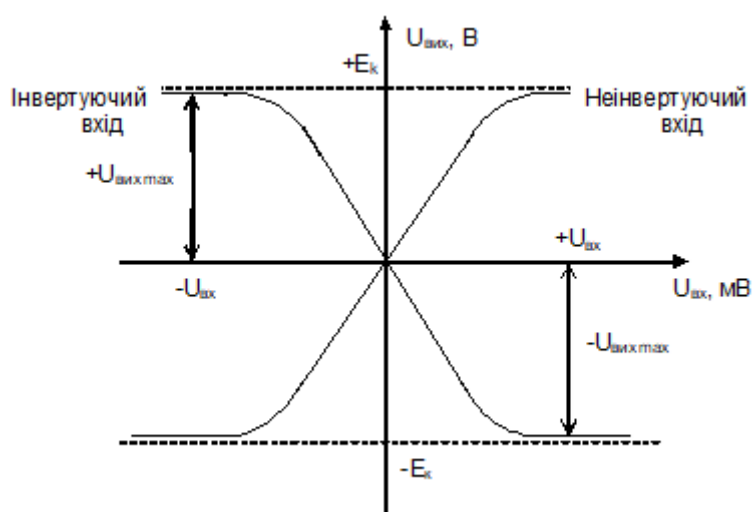


Рис. 5.2. Передаточні характеристики ОП

Великі величини K_{Π} дозволяють у разі обхвату таких підсилювачів глибоким НЗЗ отримувати схеми з властивостями, котрі залежать від параметрів кола НЗЗ. Криві, приведені на рис. 5.2, проходять через нуль. Стан, коли $U_{\text{вих}}=0$ у разі $U_{\text{вх}}=0$, називається балансом операційного підсилювача. Але для більшості випадків реальних ОП спостерігається розбаланс.

Передаточна характеристика у разі розбалансу

У разі $U_{\text{вх}}=0$, вихідна напруга ОП може бути більшою або меншою від нуля (рис. 5.3). Напруга $U_{\text{зм}}$, за якої $U_{\text{вх}}=0$, називається напругою зміщення нуля. Це напруга, яку необхідно подати на вхід ОП для створення балансу $U_{\text{зм}} = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{K_{\text{ПОП}}}$. Основною причиною розбалансу є розкид параметрів елементів підсилювача (власне транзисторів). Залежність від температури параметрів ОП викликає температурний дрейф вихідної напруги, оскільки вхідний опір каскаду кінцевий, то у разі розбалансу з'являються вхідні струми зміщення. За наявності вхідної напруги зміщення і вхідних струмів зміщення, схеми на ОП доводиться доповнювати елементами, котрі призначені для їхнього початкового балансування. Балансування відбувається поданням на один з входів ОП деякої додаткової напруги і введення резисторів у його вхідні ланцюги.

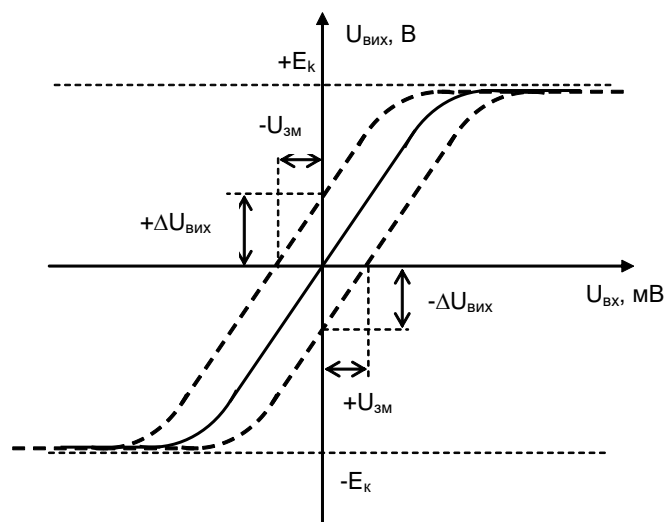


Рис. 5.3. Передаточні характеристики ОП у разі розбалансу

Інвертуючий підсилювач

Інвертуючий підсилювач – це підсилювач, який змінює знак вихідного сигналу відносно вхідного, створюється введенням по інвертованому входу ОП, за допомогою резистора R_{33} , паралельного НЗЗ по напрузі. Вхідний сигнал подається через резистор R_1 на інвертуючий вхід ОП (рис. 5.4).

Коефіцієнт підсилення по напрузі інвертуючого підсилювача з паралельним ЗЗ $K_{ПІ} = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$ визначається параметрами тільки пасивної частини схеми $K_{ПІ} = -\frac{R_{33}}{R_1}$. Якщо $R_{33}=R_1$, тоді $K_{ПІ} = -1$, ОП стає інвертуючим повторювачем сигналу.

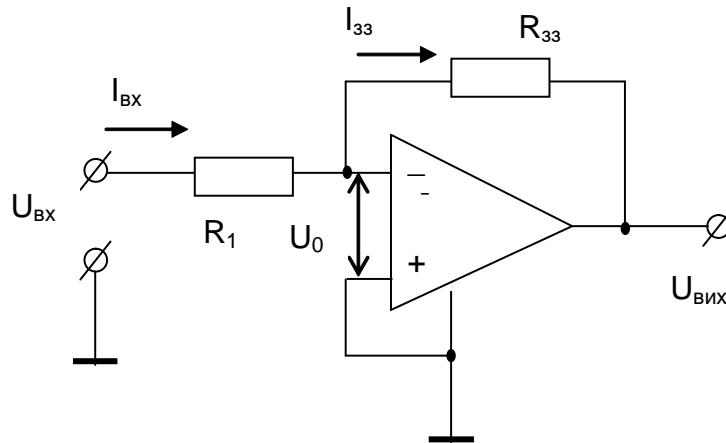


Рис. 5.4. Схема інвертуючого підсилювача

Неінвертуючий підсилювач

Неінвертуючий підсилювач має послідовний НЗЗ по інвертуючому входу (вхідний сигнал подається на неінвертуючий вхід ОП). Схема неінвертуючого підсилювача представлена на рис. 5.5.

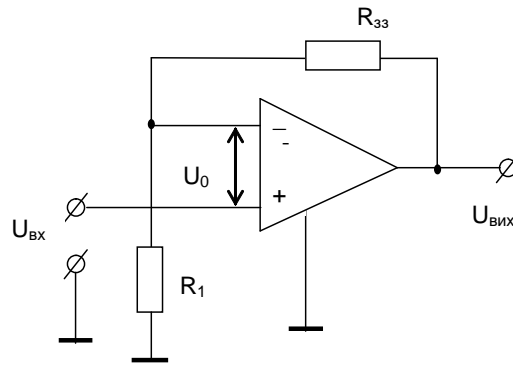


Рис. 5.5. Схема неінвертуючого підсилювача

Вхідна напруга кола зв'язана з вихідною напругою кола таким відношенням:

$$U_{\text{вх}} = U_{\text{вих}} \frac{R_1}{R_1 + R_{33}},$$

звідки коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача:

$$K_{\text{ПН}} = 1 + \frac{R_{33}}{R_1}.$$

У випадку, коли $R_{33}=0$ та $R_1=\infty$, виникає коло повторювача з $K_{\text{П}}=1$ (рис. 5.6). Неінвертуючий та інвертуючий підсилювачі використовують у вигляді високостабільних підсилювачів різного призначення.

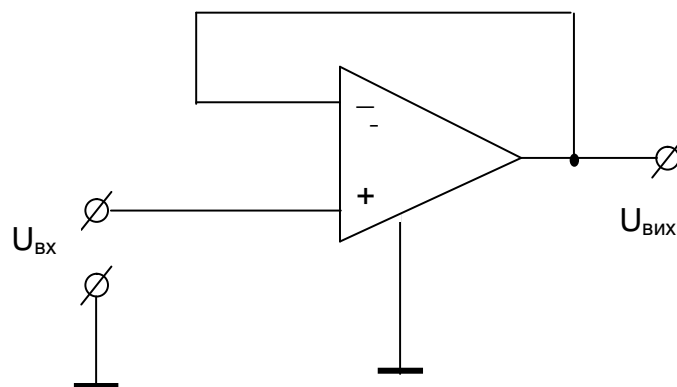


Рис. 5.6. Схема повторювача на ОП

2. Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- лінійний операційний підсилювач;
- функціональний генератор;
- осцилограф;
- резистори.

2.1. Дослідження інвертуючого підсилювача.

2.1.1. Складіть схему інвертуючого підсилювача відповідно до рис. 5.7.

2.1.2. Встановіть параметри функціонального генератора і осцилографа до рис. 5.8 і 5.9 відповідно.

2.1.3. Замалюйте осцилограми.

2.1.4. Зніміть і побудуйте залежність діючого значення

$U_{\text{вих}} = f(U_{\text{вх}})$ для частоти $f = 1$ кГц.

2.1.5. За допомогою осцилографа визначте $U_{\text{вихmax}}$, за якого з'являються нелінійні спотворення.

2.1.6. Визначить, як впливає включення-виключення від'ємного зворотного зв'язку на підсилювальні властивості ОП.

2.1.7. Зніміть і побудуйте залежність коефіцієнта підсилення від частоти вхідного сигналу. Визначити частоту зрізу за умови $K_{\text{П}} = 0,707 K_{\text{П0}}$.

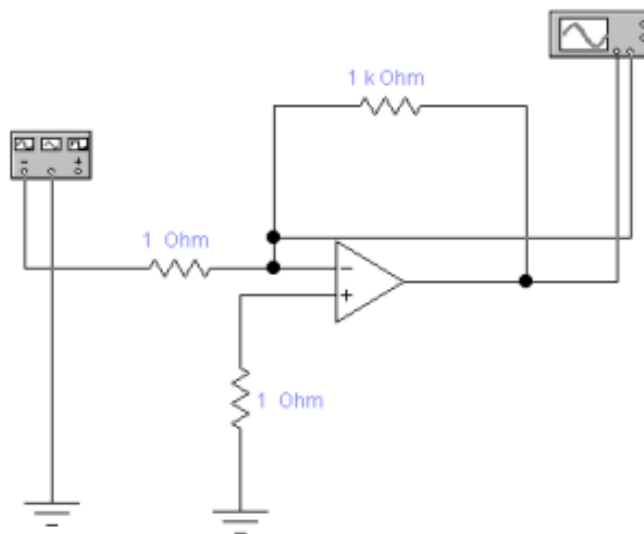


Рис. 5.7. Схема інвертуючого підсилювача

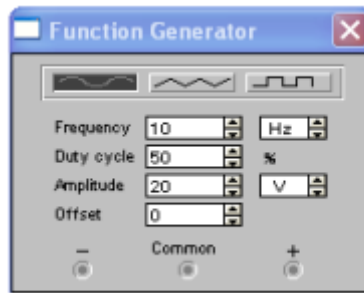


Рис. 5.8. Параметри функціонального генератора



Рис. 5.9. Параметри осцилографа

2.2. Дослідження роботи неінвертуючого підсилювача.

2.2.1. Складіть схему неінвертуючого підсилювача відповідно до рис. 5.10.

2.2.2. Встановіть параметри функціонального генератора і осцилографа відповідно до рис. 5.8 і 5.11.

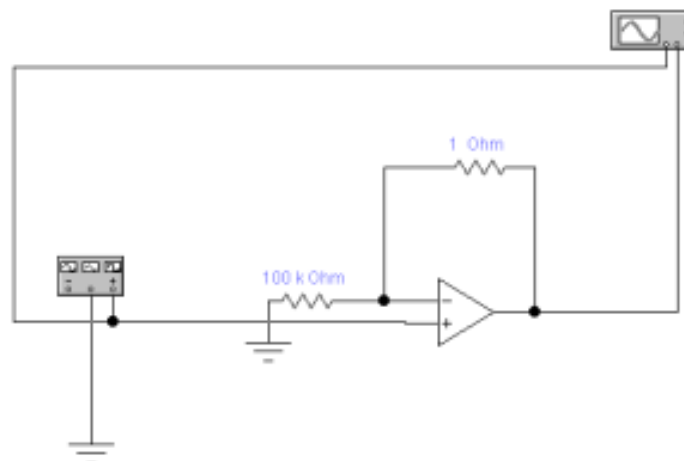


Рис. 5.10. Схема неінвертуючого підсилювача



Рис. 5.11. Параметри осцилографа

2.2.3. Замалюйте осцилограми.

Виконайте для даної схеми ті ж дослідження (пункти 2.1.4–2.1.7), що і для інвертуючого підсилювача.

2.3. Дослідження роботи повторювача на операційному підсилювачі.

2.3.1. Складіть схему повторювача напруги відповідно до рис. 5.12.

2.3.2. Встановіть параметри функціонального генератора і осцилографа відповідно до рис. 5.8 і 5.11.

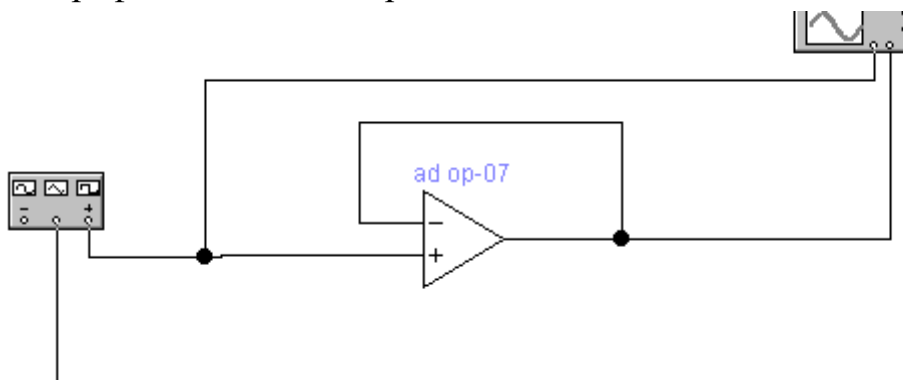


Рис. 5.12. Схема повторювача напруги

2.3.4. Замалюйте осцилограми.

Виконайте для даної схеми ті ж дослідження (пункти 2.1.4–2.1.7), що і для інвертуючого підсилювача.

2.4. Аналіз параметрів ОУ

2.4.1. Розрахувати значення K_{Π} для інвертуючого – K_{Π} , неінвертуючого – $K_{\Pi\Pi}$ підсилювачів та повторювача – $K_{\Pi\Pi}$.

$$K_{\Pi} = \frac{R_{33}}{R_1}$$

$$K_{\Pi\Pi} = \frac{R_{33}}{R_1} + 1$$

2.4.2. Визначити глибину від'ємного зворотного зв'язку.

$$\begin{cases} \beta_I = \frac{R_1}{R_{33}} \\ \beta_H = \frac{R_1}{R_1 + R_{33}} \end{cases}.$$

2.4.3. Розрахуйте для інвертуючого підсилювача вхідний і вихідний опір:

$$R_{ВХІ} = R_1,$$

$$R_{ВИХІ} = \frac{R_{ВИХОП}}{1 + \beta_I}.$$

2.4.4. Розрахуйте для неінвертуючого підсилювача вхідний і вихідний опір:

$$R_{ВХН} = R_{ВХОП} (1 + \beta_H K_{ПН}),$$

$$R_{ВИХН} = \frac{R_{ВИХОП}}{1 + \beta_H K_{ПН}}.$$

2.5. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Який принцип роботи і коефіцієнт посилення інвертуючого підсилювача?
2. Який принцип роботи і коефіцієнт посилення неінвертуючого підсилювача?
4. У яких електронних пристроях застосовується ОП?
5. Що таке частотна характеристика ОП?
6. Що таке амплітудна характеристика ОП?

Лабораторна робота №6

Дослідження суматора на основі ОП

Мета роботи – дослідити принцип роботи і властивості суматора на основі ОП.

Короткі теоретичні відомості

Схема суматора, виконана на основі інвертуючого посилювача, представлена на рис. 6.1.

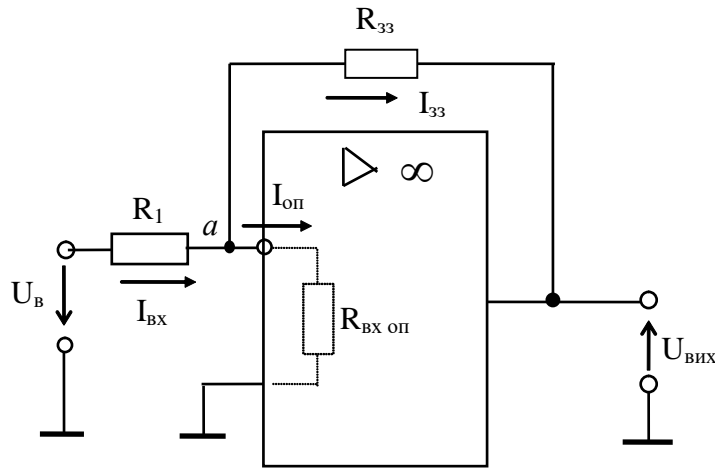


Рис.6.1. Схема інвертуючого підсилювача

Згідно з першим законом Кірхгофа для вузла a маємо:

$$I_{\text{вх}} = I_{33} + I_{\text{оп}}$$

Аналіз схеми значно полегшується, якщо припустити, що ОП ідеальний. Оскільки у ідеального операційного підсилювача $R_{\text{вх оп}} \rightarrow \infty$, отже:

$$I_{\text{оп}} = 0 \text{ и } I_{\text{вх}} = I_{33}$$

Враховуючи, що $U_{\text{вх}} = R_1 I_{\text{вх}}$ та $U_{\text{вих}} = -R_{33} I_{33}$, отримуємо співвідношення:

$$\frac{U_{\text{вх}}}{R_1} = -\frac{U_{\text{вих}}}{R_{33}} \quad (1)$$

Коефіцієнт підсилення кола:

$$K_{\text{УОО}} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = -\frac{R_{33}}{R_1} \quad (2)$$

На основі інвертуючого підсилювача можна побудувати суматор. На рис. 6.2 надана схема такого суматора з числом паралельних гілок на вході рівним кількості сигналів призначених для складання. Опір резисторів приймають однаковими: $R_{33} = R_1 = R_2 = \dots = R_n \ll R_{\text{вх оп}}$.

Для суматора вхідний струм дорівнює суммі струмів кожного з плечей:

$$I_{\text{вх}} = I_1 + I_2 = -I_{33} \quad (3)$$

Як і в схемі рис. 6.1, струм зворотного зв'язку:

$$I_{33} = -\frac{U_{вих}}{R_{33}}.$$

Вхідні струми:

$$I_1 = \frac{U_{вх1}}{R_1}; I_2 = \frac{U_{вх2}}{R_2}.$$

З (3) слідує (враховуючи, що $R_1=R_2$):

$$\frac{U_{вх1} + U_{вх2}}{R} = -\frac{U_{вих}}{R_{33}}. \quad (4)$$

Звідси знайдем вихідну напругу суматора:

$$U_{вих} = -(U_{вх1} + U_{вх2}) \frac{R_{33}}{R}. \quad (5)$$

У загальному випадку:

$$U_{вих} = -\left(\frac{R_{33}}{R_1} U_{вх1} + \frac{R_{33}}{R_2} U_{вх2} + \dots + \frac{R_{33}}{R_n} U_n \right). \quad (6)$$

Знак мінус показує, що разом з сумуванням виконується інвертування полярності сигналів. Співвідношення (6) відображає рівноправну вагову участь складових всіх сум. Сумування може відбуватися у відповідності з ваговими коефіцієнтами для кожного зі складових.

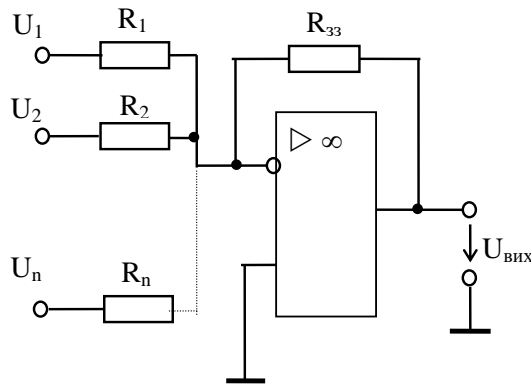


Рис. 6.2. Схема суматора на ОП

2. Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- лінійний операційний підсилювач;
- функціональний генератор;
- осцилограф;
- резистори.

- 2.1. Дослідження суматора на операційному підсилювачі.
- 2.1.1. Складіть схему суматора відповідно до рис. 6.3.
- 2.1.2. Встановіть параметри функціонального осцилографа відповідно до рис. 6.4 .

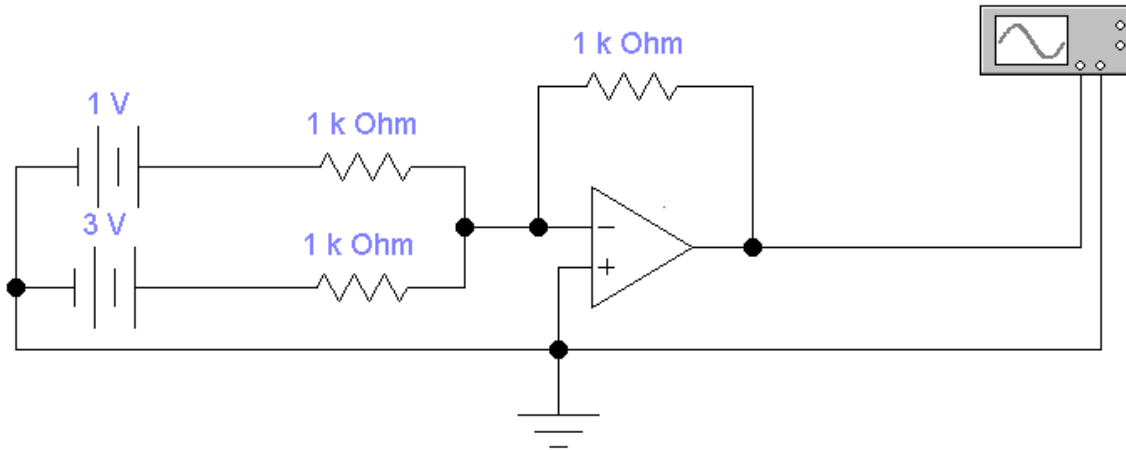


Рис. 6.3. Схема суматора

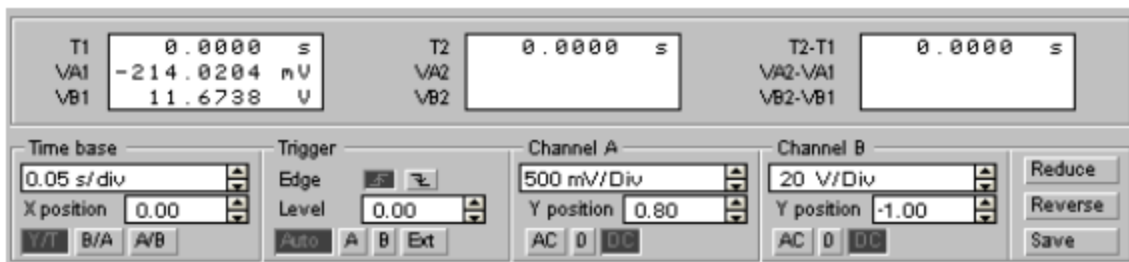


Рис. 6.4. Параметри осцилографа

2.1.3. Подаючи на входи суматора різні напруги від джерел, зняти значення вихідної напруги. Результати вимірювань внести в табл. 6.1.

Таблиця 6.1

Результати дослідження суматора постійних напруг

U_1	U_2	$U_{\text{вих}}$
1	2	$R_1=1\text{k}\Omega$; $R_2=1\text{k}\Omega$; $R_3=1\text{k}\Omega$;
3	1	
5	4	
7	3	
9	6	

2.1.4. Змініть значення R1 та R2 (R1=1кОм; R2=500Ом). Повторіть пункт 2.1.3. Результати вимірювань внести в табл. 6.2.

Таблиця 6.2

Результати дослідження суматора постійних напруг

U_1	U_2	$U_{\text{вих}}$
1	2	R1=1кОм; R2=0,5кОм; R3=1кОм;
3	1	
5	4	
7	3	
9	6	

2.1.5. Складіть схему суматора відповідно до рис. 6.5.

2.1.6. Параметри джерел змінної напруги встановіть відповідно до рис. 6.6.

2.1.7. Змінюючи амплітудні значення джерел змінної напруги, визначити амплітуду вихідної напруги. Результати вимірювань внести в табл. 6.3. Замалюйте осцилограми.

Таблиця 6.3

Результати дослідження суматора змінних напруг

A_1	A_2	$A_{\text{вих}}$
1	2	R1=1кОм; R2=1кОм; R3=1кОм;
3	1	
5	4	
7	3	
9	6	

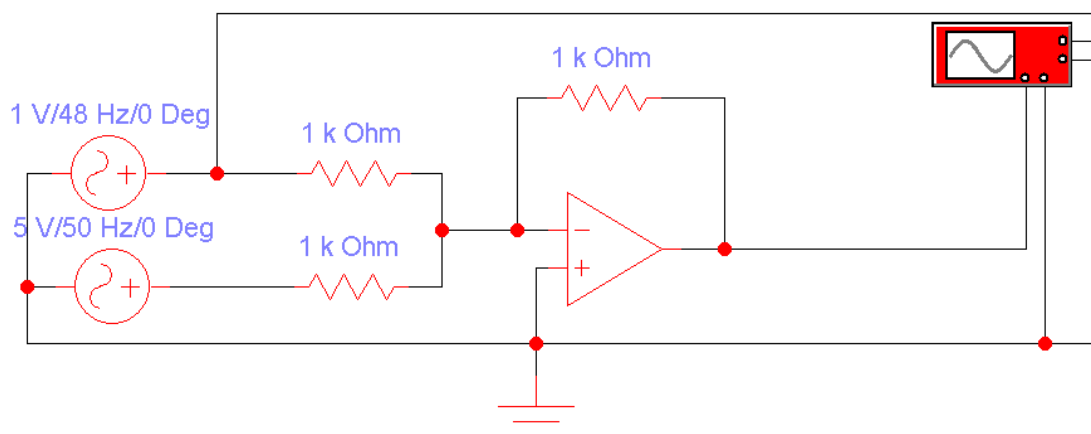


Рис. 6.5. Схема суматора

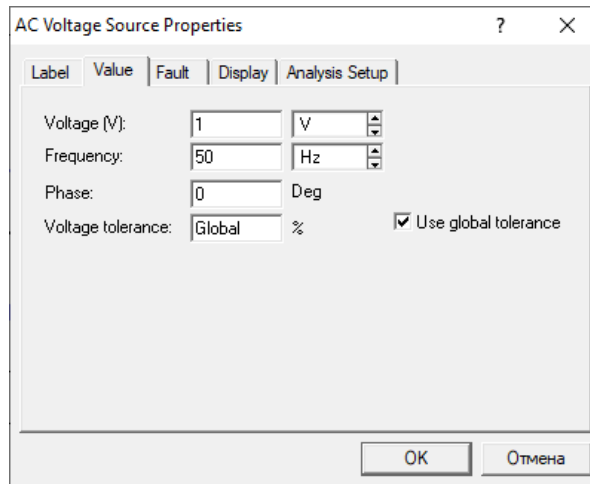


Рис. 6.6. Параметри джерел змінної напруги

2.1.8. Змініть значення R1 та R2 (R1=1кОм; R2=500Ом). Повторіть пункт 2.1.7. Результати вимірювань внести в табл. 6.4. Замалюйте осцилограми.

Таблиця 6.4

Результати дослідження суматора змінних напруг

A ₁	A ₂	A _{вих}
1	2	R1=1кОм; R2=0,5кОм; R3=1кОм;
3	1	
5	4	
7	3	
9	6	

2.1.9. Встановіть наступні значення амплітуд та частот для джерел змінної напруги: A₁=1В; f₁=49Гц; A₂=5В; f₂=50Гц; (R1=1кОм; R2=1кОм; R3=3кОм;). Замалюйте осцилограми биття.

3. Зробити висновки.

Контрольні запитання

1. Який принцип роботи суматора?
2. З яких елементів складається суматор?
3. Як впливає значення опорів вхідних резисторів на результат?
4. Як відбувається додавання гармонійних сигналів?
5. Що таке биття і як воно виникає?

Лабораторна робота №7

Дослідження роботи компаратора

Мета роботи – дослідити принцип роботи і властивості компаратора на основі ОП.

1. Короткі теоретичні відомості

В імпульсній техніці знаходять широке використання ОП в інтегральному виконанні. Рівні вхідного сигналу ОП в імпульсному режимі роботи перевищують значення, яке відповідає лінійній області амплітудної характеристики. В зв'язку з цим вихідна напруга ОП в процесі роботи визначається або напругою $U_{+вих\ max}$, або $U_{-вих\ max}$.

Розглянемо роботу ОП в імпульсному режимі на прикладі компаратора, який виконує порівняння вимірюваної напруги $U_{вх}$ з опорною напругою. Опорна напруга представляє собою незмінну за розміром напругу позитивної або негативної полярності, вхідна напруга змінюється в часі.

У разі досягнення вхідною напругою рівня опорної напруги проходить зміна полярності напруги на виході ОП, наприклад, з $U_{+вих\ max}$ до $U_{-вих\ max}$. У разі $U_{оп}=0$, компаратор виконує фіксацію моменту переходу вхідної напруги через нуль. Компаратор часто називають нуль-органом, оскільки перемикання проходить при $U_{вх} - U_{оп}=0$.

Компаратори знайшли широке використання в системах автоматичного керування та у вимірювальній техніці, а також для побудови різноманітних вузлів імпульсної та цифрової дії (зокрема, аналогово-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі).

Схема компаратора зображена на рис. 7.1, його передавальна характеристика – на рис. 7.2. На рис. 7.3 представлена схема компаратора з вхідним розподільвачем напруги.

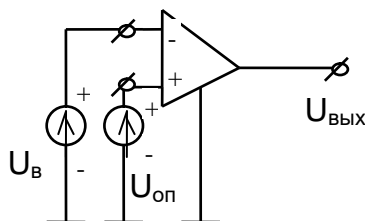


Рис. 7.1. Схема компаратора на ОП

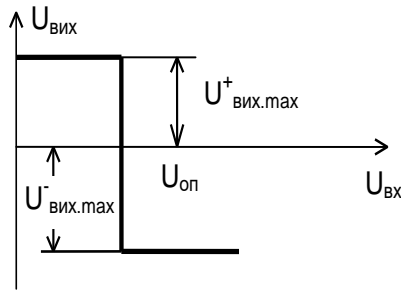


Рис. 7.2. Передавальна характеристика компаратора на ОП

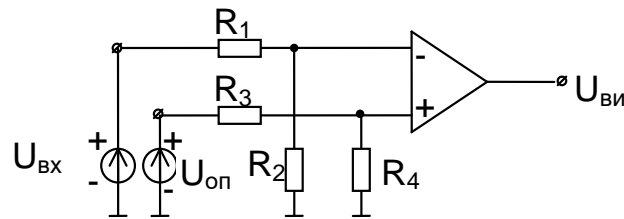


Рис. 7.3. Схема компаратора на ОП з вхідним розподільвачем напруги

На рис.7.1 наведена найпростіша схема компаратора на ОП. Її характеризує симетричне підключення вимірюваної та опорної напруги до входів ОП. Різниця напруг $U_{вх} - U_{оп}$ є вхідною напругою U_0 ОП, що визначає передавальну характеристику компаратора (рис. 7.2).

У разі $U_{вх} < U_{оп}$ напруга $U_0 < 0$ і $U_{вих} = U_{+вих\ max}$. Зміна полярності вихідної напруги відбувається під час переходу вхідної вимірюваної напруги через значення $U_{оп}$. Зважаючи на велике значення коефіцієнта підсилення ОП, ця зміна носить ступінчастий характер при $U_0 = U_{вх} - U_{оп} = 0$.

Якщо джерела вхідної та опорної напруги в схемі змінити місцями чи змінити полярність їх підключення, то виникне інверсія передавальної характеристики компаратора. Схему на рис. 7.1 можна використовувати, якщо вимірювана та опорна напруга не перевищують допустимих паспортних значень вхідних напруг ОП. В протилежному випадку вони підключаються до ОП за допомогою розподільвачів напруги (рис. 7.3).

2. Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- лінійний операційний підсилювач;
- функціональний генератор;
- осцилограф;
- резистори.

2.1. Дослідження характеристик детектора нульового рівня з подачею сигналу на неінвертуючий вхід ОП.

2.1.1. Складіть схему, зображену на рис. 7.4. Отримайте та замалюйте осцилограми вхідного і вихідного сигналів. Визначте граничне значення вхідної напруги $U_{вх}$.

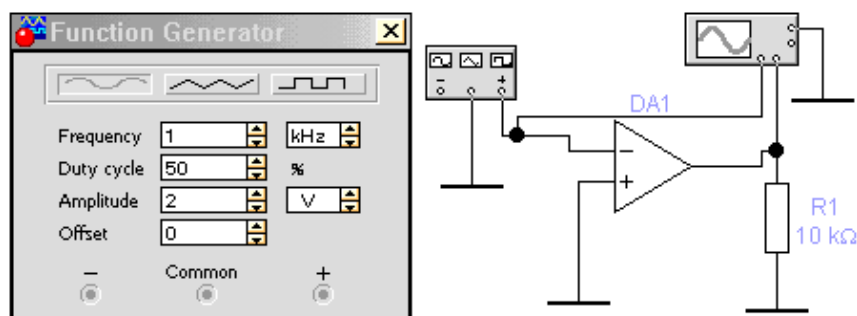


Рис. 7.4. Детектор нульового рівня з подачею сигналу на неінвертуючий вхід ОП

2.2. Дослідження характеристик детектора нульового рівня з подачею сигналу на інвертуючий вхід ОП.

2.2.1. Складіть схему, зображену на рис. 7.5. Замалюйте осцилограми вхідного і вихідного сигналів. Визначте граничне значення вхідної напруги $U_{вх}$.

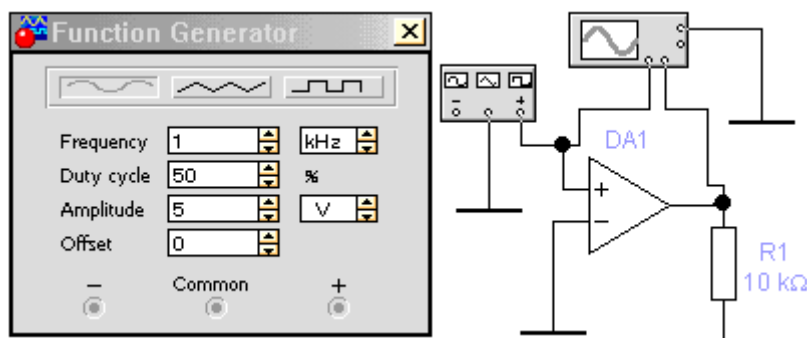


Рис. 7.5. Детектор нульового рівня з подачею сигналу на інвертуючий вхід ОП

2.3. Дослідження характеристик компаратора з позитивною опорною напругою.

2.3.1. Складіть схему, зображену на рис. 7.6. Замалюйте осцилограми вхідного і вихідного сигналів. Визначте граничне значення вхідної напруги $U_{вх}$.

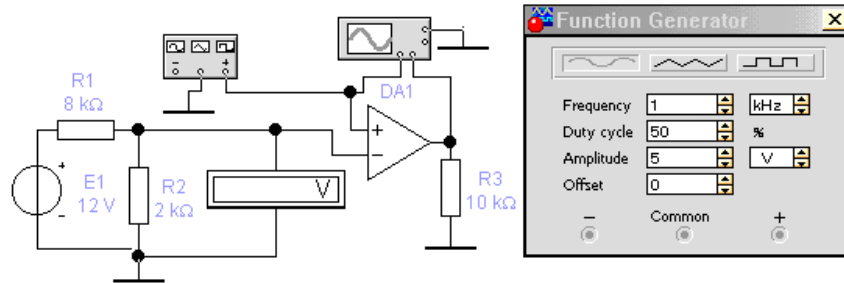


Рис.7.6. Компаратор з позитивною опорною напругою

2.4. Дослідження характеристик компаратора з від'ємною опорною напругою.

2.4.1. Складіть схему, зображену на рис. 7.7. Замалюйте осцилограми вхідного і вихідного сигналів. Визначте граничне значення вхідної напруги $U_{вх}$.

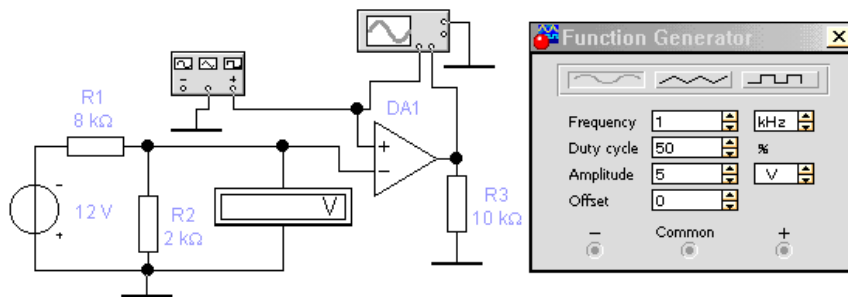


Рис.7.7. Компаратор з від'ємною опорною напругою

2.5. Дослідження характеристик компаратора з опорною напругою, що задається стабілітроном.

2.5.1. Складіть схему, зображену на рис. 7.8. Замалюйте осцилограми вхідного і вихідного сигналів. Визначте граничне значення вхідної напруги $U_{вх}$ і порівняйте його з напругою стабілізації стабілітрона.

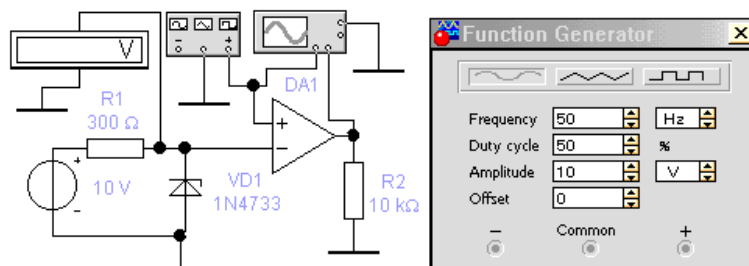


Рис.7.8. Компаратор з опорною напругою, що задається стабілітроном

2.6. Дослідження характеристик компаратора з фіксацією вихідної напруги.

2.6.1. Складіть схему, зображену на рис. 7.9. Замалюйте отримані осцилограми вхідного і вихідного сигналів. За осцилограмами визначте рівні вихідної напруги і порогову напругу.

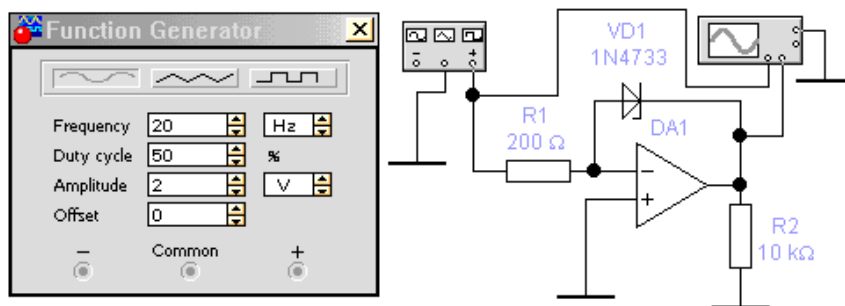


Рис. 7.9. Компаратор з фіксацією вихідної напруги

2.6.2. У схемі рис. 7.9 змініть напрямок включення стабілітрона на зворотний. Повторіть операції п. 2.6.1.

2.7. Дослідження характеристик компаратора з фіксованою зоною вхідної напруги.

2.7.1. Складіть схему, зображену на рис. 7.10. Замалюйте отримані осцилограми вхідного і вихідного сигналів. Визначте порогові напруги Униж і Уверх.

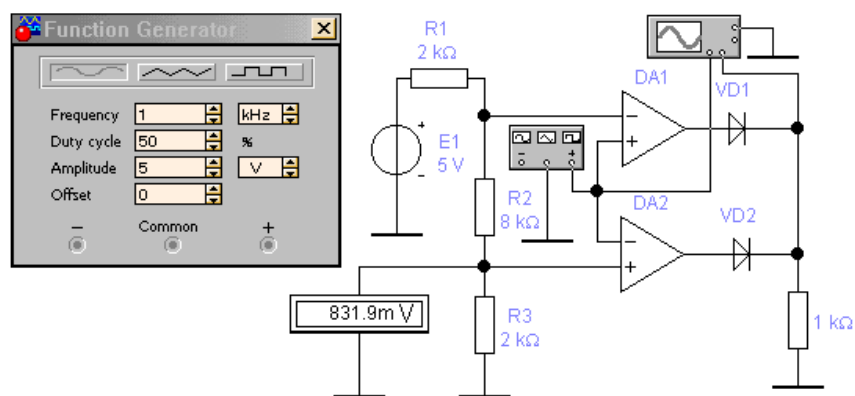


Рис. 7.9. Компаратор з фіксованою зоною вхідної напруги

Контрольні запитання

1. Які особливості застосування ОП в схемах компараторів?
2. Чим визначається точність завдання порогів вхідної напруги в схемах детекторів рівня?
3. На чому заснована робота компаратора з фіксованою зоною вхідної напруги?

Лабораторна робота № 8 Дослідження логічних елементів

Мета роботи – експериментально дослідити роботу логічних елементів.

1. Короткі теоретичні відомості

Базовим елементом пристроїв цифрової електроніки є інтегральні логічні елементи, що реалізують певну логічну функцію. Логічні елементи представляють собою сукупність електронних ключів, які виконані у вигляді інтегральної схеми. Така схема має у загальному вигляді n входів і m виходів (рис. 8.1).

$X_1 \dots X_n$ – інформаційні значення вхідних сигналів, які можуть приймати значення «0» або «1». $y_1 \dots y_m$ – інформаційні значення вихідних сигналів, які також приймають значення «0» або «1». Під «1» розуміють високий рівень напруги (напруга існує), під «0» – низький (напруга відсутня).

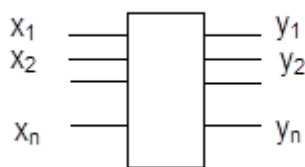


Рис. 8.1. Логічний елемент

Кожний логічний елемент виконує певну логічну функцію, тобто кожній комбінації сигналів на вході відповідає певна комбінація сигналів на виходах. Для наочного уявлення логічну функцію, виконану елементом, представляють у вигляді таблиць вхідних та вихідних сигналів (таблиця істинності).

Функціонально повний набір комбінаційних логічних елементів утворюють елементи, які виконують функції **І**, **АБО**, **НІ**.

1.1. Логічний елемент **І** виконує функцію логічного множення. Одиниця з'являється на виході елемента **І** лише тоді, коли на усіх його входах будуть одиниці (схема збігу). В іншому випадку на виході логічного елемента **І** буде нуль. Умовне позначення логічного елемента **І** показано на рис. 8.2.

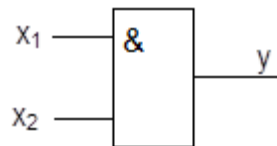


Рис. 8.2. Логічний елемент **І**

1.2. Логічний елемент **АБО** виконує функцію логічного додавання. Одиниця з'являється на виході логічного елемента **АБО** в тому випадку, якщо хоча б на одному з його входів є одиниця (схема збору). В іншому випадку на виході логічного елемента **АБО** буде нуль. Умовне позначення логічного елемента **АБО** надано на рис. 8.3.

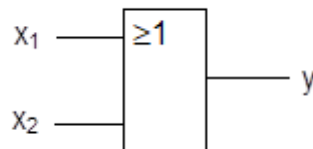


Рис. 8.3. Логічний елемент **АБО**

1.3. Логічний елемент **НІ** виконує функцію логічного заперечення. Значення сигналу на його виході завжди протилежне значенню сигналу на його вході (схема інверсії). Умовне позначення логічного елемента **НІ** наведено на рис. 8.4 (коло **о** в умовному позначенні елемента говорить про те, що виконується операція інверсії сигналу).

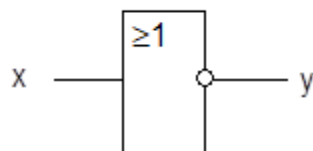


Рис. 8.4. Логічний елемент **НІ**

У загальному випадку розглянуті логічні елементи можуть мати не два, а більше входів.

Широке застосування знаходять логічні елементи, які послідовно виконують декілька логічних функцій, наприклад: **I-НІ**, **АБО-НІ**, **I-АБО-НІ** та ін. Умовне позначення цих елементів показано на рис. 8.5.

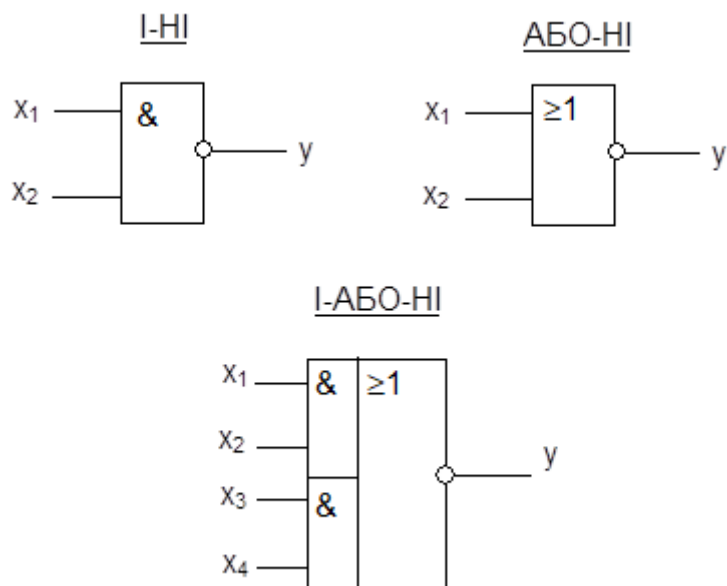


Рис. 8.5. Логічні елементи **I-НІ**, **АБО-НІ**, **I-АБО-НІ**

Доведено, що, маючи два універсальних логічних елемента **I-НІ** та **АБО-НІ**, можна реалізувати будь-яку логічну функцію.

2. Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- логічні елементи **I**, **АБО**, **I-НІ**, **АБО-НІ**;
- генератор двійкових слів;
- логічні пробники.

2.1. Дослідження елемента **I**.

2.1.1. Складіть схему, зображену на рис. 8.6.

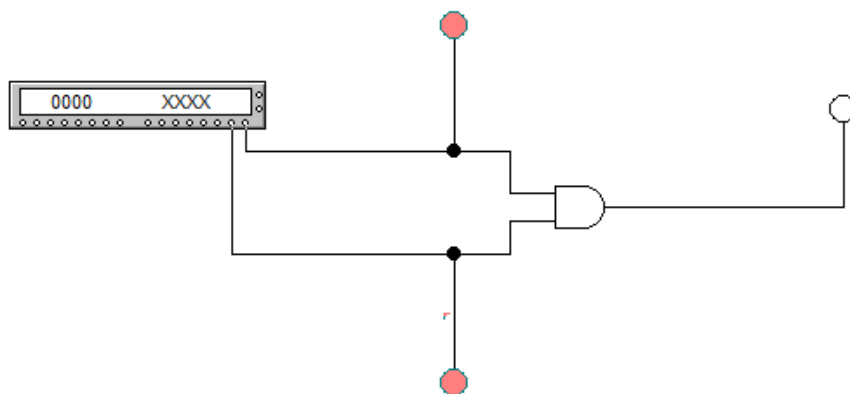


Рис. 8.6. Схема дослідження логічного елемента **I**

2.1.2. Натисніть кнопку



на панелі бібліотек компонентів та контрольно-вимірювальних приладів. З вікна логічних елементів, що з'явилося, витягніть піктограму логічного елемента AND («І»).

2.1.3. Натисніть кнопку



З вікна, що з'явилося, послідовно витягніть піктограми логічних пробників



Для розвороту логічних пробників можна скористатися кнопкою повороту на панелі функцій



2.1.4. Натисніть кнопку



панелі бібліотек компонентів та контрольно-вимірювальних приладів. З вікна індикаторів витягніть піктограму генератора слів



Подвійним клацанням кнопки миші відкрийте лицьову панель генератора слів. У лівій частині панелі генератора слів відображаються кодові комбінації у шістнадцятковому коді, а в нижній частині – у двійковому (рис. 8.7).

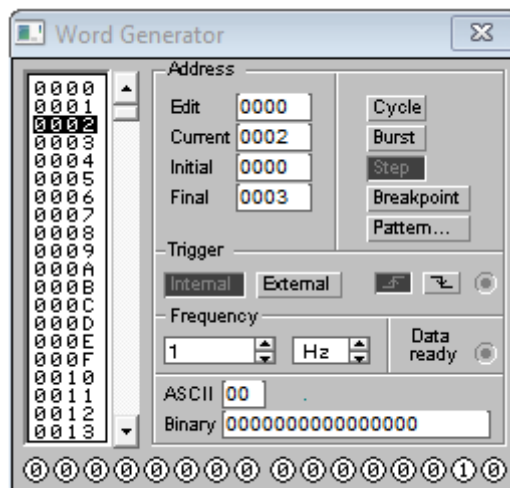


Рис. 8.7. Вікно налаштувань генератора двійкових слів

Заповніть вікно шістнадцяткового коду кодovими комбінаціями, починаючи з 0 у верхній нульовій комірці і далі з додаванням 1 в кожній наступній комірці. Для цього натисніть кнопку



у вікні попередніх налаштувань, далі увімкніть опцію Up counter та натисніть на кнопку Асерт.

У вікні Frequency встановіть частоту формування кодovих комбінацій, що дорівнює 1 Гц.

Послідовності двійкових чисел 00, 01, 10 і 11 відповідає шістнадцятковому коду – 0, 1, 2, 3. Запрограмуйте генератор на періодичне формування зазначеної послідовності чисел. Для цього наберіть у вікні Final число 0003 і натисніть кнопку Cycle.

2.1.5. Запустіть процес моделювання за допомогою вимикача. Періодично натискаючи на кнопку Step, заповніть таблицю істинності для елемента **I** (табл. 8.1).

Таблиця 8.1

Таблиця істинності елемента **I**

x_1	x_2	y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

2.2. Дослідження елемента АБО.

2.2.1. Складіть схему, зображену на рис. 8.8.

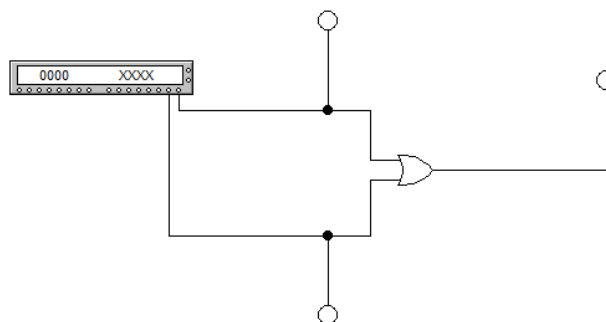


Рис. 8.8. Схема дослідження логічного елемента АБО

2.2.2. Запустіть процес моделювання за допомогою вимикача. Періодично натискаючи на кнопку Step, заповніть таблицю істинності для елемента АБО (табл. 8.2).

Таблиця істинності елемента АБО

x_1	x_2	y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

2.3. Дослідження елемента І-НІ.

2.3.1. Складіть схему, зображену на рис. 8.9.

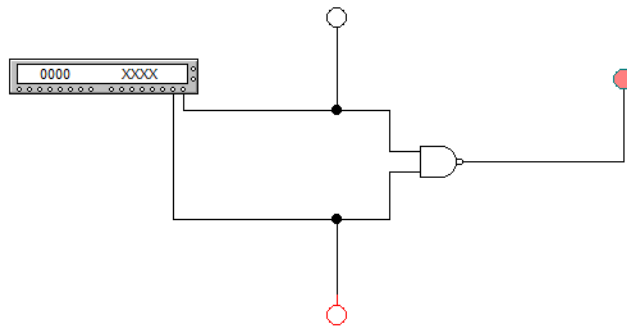


Рис. 8.9. Схема дослідження логічного елемента І-НІ

2.3.2. Запустіть процес моделювання за допомогою вимикача. Періодично натискаючи на кнопку Step, заповніть таблицю істинності для елемента І-НІ (табл. 8.3).

Таблиця 8.3

Таблиця істинності елемента І-НІ

x_1	x_2	y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

2.4. Дослідження елемента АБО-НІ.

2.4.1. Складіть схему, зображену на рис. 8.10.

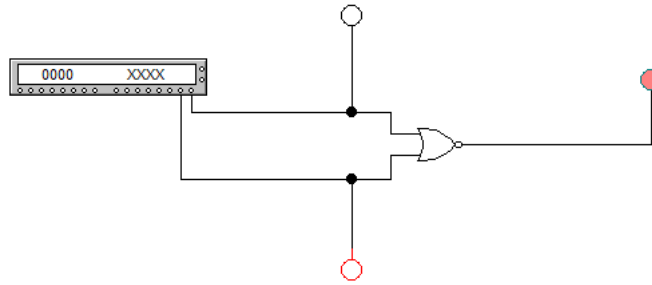


Рис. 8.10. Схема дослідження логічного елемента АБО-НІ

2.4.2. Запустіть процес моделювання за допомогою вимикача. Періодично натискаючи на кнопку Step, заповніть таблицю істинності для елемента АБО-НІ (табл. 8.4).

Таблиця 8.4

Таблиця істинності елемента АБО

x_1	x_2	y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

2.5. Зробіть висновки та узагальніть отримані результати.

Контрольні запитання

1. Що таке логічна змінна та яких значень вона може набувати?
2. Що таке логічні елементи? Які бувають логічні елементи?
3. Що таке таблиця істинності та як вона заповнюється?

Лабораторна робота № 9 Дослідження RS тригера

Мета роботи – експериментально дослідити роботу RS тригера.

1. Короткі теоретичні відомості

Тригер – це пристрій, який має два сталих стани. Тригер здатний зберігати інформацію, тобто він є елементом пам'яті. Стан тригера не змінюється після закінчення дії вхідних сигналів. Це пов'язано з тим, що стан тригера залежить не тільки від зовнішніх управляючих сигналів, а й

від сигналів кіл зворотних зв'язків. Тригери будуються на основі комбінаційних логічних елементів.

За принципом функціонування розрізняють: 1) **RS**-тригери; 2) **D**-тригери; 3) **T**-тригери; 4) **JK**-тригери та ін.

За способом управління всі наведені тригери можуть бути: 1) асинхронними, 2) синхронними, або тактуючими.

В асинхронному тригері переключення з одного стану на інший здійснюється завдяки надходженню відповідних сигналів на інформаційні входи. В тактуючих тригерах для перемикавання, крім наявності інформаційних сигналів, необхідна також наявність дозволяючого (тактуючого) сигналу на синхронізуючому вході.

Найпростішим видом тригерів є **RS**-тригер. Він може бути побудований на основі двох двовходових логічних елементів **I-III**. Схема тригера, його умовне позначення надано на рис. 9.1.

RS-тригер має два входи, які позначаються як **R**-вхід та **S**-вхід, а також два виходи – Q та \bar{Q} . Сигнали на цих входах завжди приймають протилежне значення. Найчастіше тригер використовують як комірку пам'яті. Якщо стан тригера такий, що на виході $Q = 1$, а $\bar{Q} = 0$, то вважають, що в тригер записана «1». У протилежному випадку вважають, що в тригер записаний «0». Робота тригера ілюструється таблицею станів, де вказані значення входних сигналів в деякий момент t^n та значення вихідного сигналу на виході Q в наступний момент t^{n+1} .

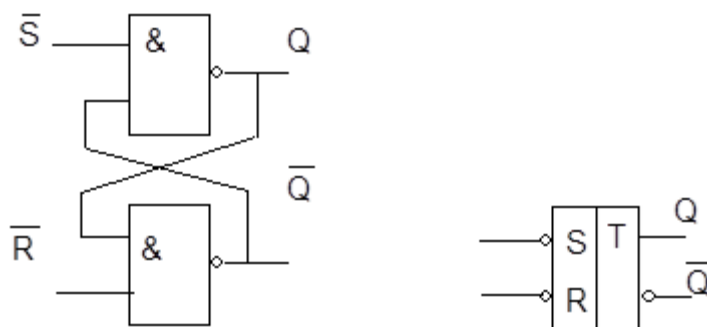


Рис. 9.1. RS-тригер

Інформаційний вхід **S** (**set** – установка) призначений для установки тригера в стан $Q = 1$. Інформаційний вхід **R** (**reset** – повернення) призначений для переведення тригера в стан $Q = 0$. Якщо на входи подані сигнали $S = 0$ та $R = 0$, тригер зберігає стан, який був на момент t^n . Комбінація сигналів на входах тригера $R = 1$ та $S = 1$ заборонена, оскільки

після закінчення дії таких вхідних сигналів тригер встановиться в стан, який визначити заздалегідь неможливо. Якщо за наданою на рис. 9.1 схемою побудувати тригер на елементах **I-НІ**, його робота буде описуватися такою ж таблицею станів, однак при цьому на його входи необхідно подавати інверсні значення вхідних сигналів (**RS**-тригер з інверсними входами). Щоб отримати звичайний **RS**-тригер, на кожному із входів необхідно поставити елемент **НІ** (рис. 9.2).

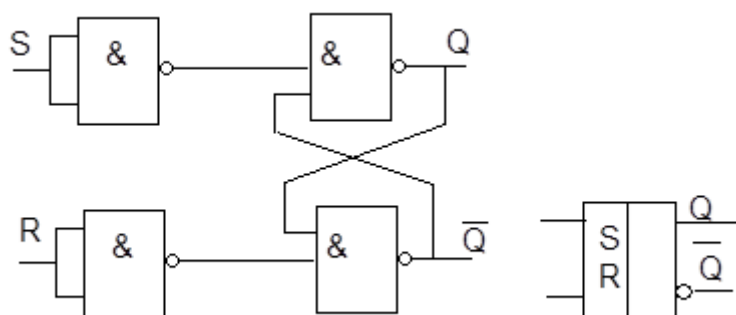


Рис. 9.2. **RS**-тригер на елементах **I-НІ**

JK-тригер. Це – універсальний тригер. За відповідного підключення він може виконувати функцію будь-якого тригера. Умовне позначення **JK**-тригера показано на рис. 9.3.

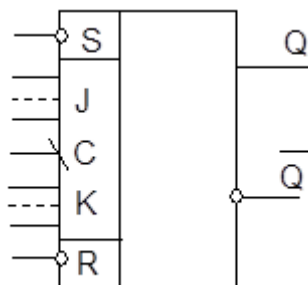


Рис. 9.3. **JK**-тригер

Робота **JK**-тригера багато в чому аналогічна роботі **RS**-тригера. При цьому роль **S** входу виконує **J**-вхід, а роль входу **R** – **K**-вхід. Основна відмінність **JK**-тригера від **RS**-тригера полягає в тому, що він не має заборонених комбінацій сигналів на входах **J** та **K**. При **J=1** та **K=1** тригер змінює свій стан на протилежний. **JK**-тригер має синхронізуючий вхід. За відсутності сигналу на синхронізуючому вході (**C=0**) тригер не реагує на сигнали, які подаються на входи **J** та **K**. За подачі на синхронізуючий вхід сигналу **C=1** тригер сприймає інформацію, яку подають на входи **J** та **K**, однак перехід тригера в новий стан відбувається лише по задньому фронту сигналу **C** (двоступінчастий тригер зі статичним керуванням записом).

Таким чином, переключення синхронного **JK**-тригера здійснюється у два етапи: 1) у разі $C=1$ відбувається запам'ятовування інформації, яка постуила на входи **J** та **K**; 2) у разі переходу сигналу на вході **C** з «1» в «0» за рахунок запам'ятованої інформації відбувається переключення тригера в новий стан. За наявності декількох входів для кожного з входів **J** та **K** вони об'єднуються функцією **I**.

Крім входів **J**, **K** та **C**, **JK**-тригер звичайно має **R** і **S** входи (входи початкового встановлення), функція яких така ж, як і в **RS**-тригері. Ці входи функціонують незалежно від синхронізуючого входу **C** і дозволяють в будь-який момент перевести тригер у стан $Q=1$ ($S=1$) або $Q=0$ ($R=1$).

Якщо на входи **J** та **K** тригера подати одиниці $J=K=1$, а на синхронізуючий вхід **C** сигнали у вигляді імпульсів напруги, то, як наслідок з розглянутого принципу роботи **JK**-тригера з синхронізуючим входом, після кожного наступного імпульсу на **C**-вході тригер буде переходити в протилежний стан (буде відбуватись поділення частоти). Такий режим відповідає роботі **T**-тригера (тригера з лічильним входом). **T**-тригери застосовуються під час побудови лічильників.

D-тригер має один інформаційний вхід (**D**-вхід) та вхід для синхронізуючого імпульсу (рис. 9.4). Загальне призначення **D**-тригера – запам'ятання сигналу, поданого на **D**-вхід, з приходом синхронізуючого імпульсу. **D**-тригер має синхронізуючий вхід, який зазвичай працює по передньому фронту (одноступінчастий тригер).

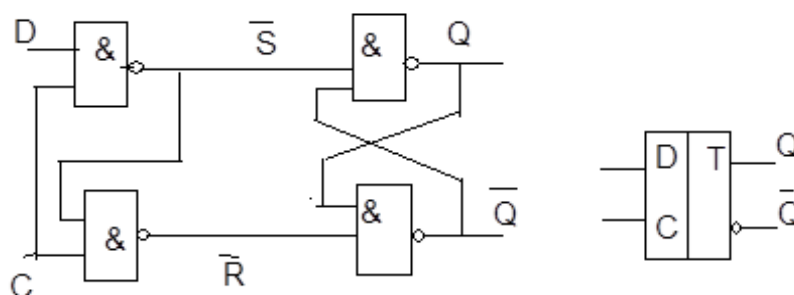


Рис. 9.4. **D**-тригер

2. Порядок виконання роботи

Перелік приладів:

- **RS**-тригер;
- логічні пробники;
- перемикачі;
- резистор.

2.1. Складіть схему, зображену на рис. 9.5.

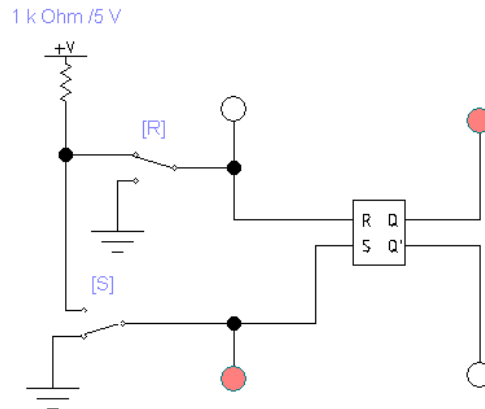


Рис. 9.5. Схема дослідження RS-тригера





2.1.1. Натисніть кнопку



панелі бібліотек компонентів та контрольно-вимірювальних приладів. З вікна цифрових мікросхем перетягніть елемент RS-тригер:



2.1.2. Послідовно витягніть елементи:

- з групи Source елемент «Заземлення» ;
- з групи Basic елементи «Підтягуючий резистор»  та «Перемикач» .
- з групи Indicators елемент «Логічний пробник» .

З вікна, що з'явилося, послідовно витягніть піктограми логічних пробників.

2.2. За замовчуванням, перемикач керується натисканням клавіші «Space» на клавіатурі ПК. Призначте клавішам «R» та «S» функцію керування перемикачем. Для цього послідовно відкрийте діалогові вікна для встановлення їхніх параметрів та перейдіть на вкладку Value. У полі Key введіть відповідне ім'я кнопки.

2.3. Експериментальним шляхом отримати таблицю переходів та внести її до звіту.

Послідовно подавайте на схемі такі вхідні сигнали:

1. $R = 0, S = 1$ – тригер встановиться у стан $Q = 1$;
2. $R = 0, S = 0$ – тригер зберігає свій стан $Q = Q_t$;

3. $R = 1, S = 0$ - тригер встановиться у стан $Q = 0$;
4. $R = 1, S = 1$ - тригер перебуває у невизначеному стані $Q = 0, Q_t = 0$.

2.4. Зробіть висновки та узагальніть отримані результати.

Контрольні запитання

1. Що таке тригер та які види тригерів бувають?
2. Як побудувати RS-тригер з логічних елементів?
3. Як отримати таблицю істинності RS-тригера?

Список літератури

1. *Воробйова О.М.* Основи схемотехніки : підручник / О.М. Воробйова, В.Д. Іванченко. – [2-ге вид.]. – Одеса : Фенікс, 2009.
2. *Колонтаєвський Ю.П.* Електроніка і мікросхемотехніка : підручник, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. А.Г. Соскова. – Київ : Каравела, 2009. – 416 с.
3. *Колонтаєвський Ю.П.* Промислова електроніка та мікросхемотехніка : теорія і практикум / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. А.Г. Соскова. – Київ : Каравела, 2003. – 368 с.
4. *Гершунский Б.С.* Основы электроники и микроэлектроники : учебник. – Київ : Вища школа, 1987. – 422 с.
5. *Забродин Ю.С.* Промышленная электроника : учебник для вузов. – Москва : Высшая школа, 1982. – 496 с.

Навчально-методичне видання

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт № 5–9
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
за спеціальностями 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка» та 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»
гетика, електротехніка та електромеханіка»

Укладачі: **Луценко** Вадим Юрійович,
Волчков Максим Володимирович

Випусковий редактор *Л.С. Тавлуй*
Комп'ютерне верстання *Т.І. Кукарєвої*

Підписано до друку 4.09.2024. Формат 60 × 84 ^{1/16}
Ум. друк. арк. 2,09. Обл.-вид. арк 2,25.
Електронний документ. Вид. № 93/III–24.

Видавець і виготовлювач
Київський національний університет будівництва і архітектури

Проспект Повітряних Сил, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.