

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Кафедра транспортного зв'язку

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

**до практичних занять і курсового проектування
з дисциплін**

***«КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА»,
«СХЕМОТЕХНІКА ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»***

Харків – 2019

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до

друку на засіданні кафедри транспортного зв'язку 12 березня 2019 р., протокол № 7.

Рекомендовано для студентів усіх форм навчання з освітніх програм «Телекомунікації та радіотехніка» і «Мережеві технології та комп'ютерна техніка».

Укладач

доц. С. В. Родіонов
І

Рецензент

доц. Л. А. Клименко

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять та курсового проектування
з дисциплін

*«КОМП'ЮТЕРНА ЕЛЕКТРОНІКА»,
«СХЕМОТЕХНІКА ЗАСОБІВ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ»*

Відповідальний за випуск Родіонов С. В.

Редактор Третьякова К. А.

Підписано до друку 02.04.19 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк. арк. 2,25. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет
залізничного транспорту,
61050, Харків-50, майдан Фейєрбаха, 7.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

З М І С Т

1 Контрольні завдання до практичних занять.....	4
1.1 Завдання на контрольну роботу 1	4
1.2 Завдання на контрольну роботу 2	7
Контрольні питання.....	12
2 Завдання на курсовий проект.....	14
3 Методичні вказівки до виконання курсового проекту.....	15
Список літератури.....	25
Додатки.....	26

1 КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

1.1 Завдання на контрольну роботу 1

Тема: Розрахунок і аналіз аналогових схем на операційних підсилювачах

Задача 1

Задано схеми:

- 1) інвертувальний операційний підсилювач (ОП) (рисунок 1.1);
- 2) неінвертувальний ОП (рисунок 1.2);
- 3) підсумовувальний ОП (рисунок 1.3);
- 4) різницевий ОП (рисунок 1.4).

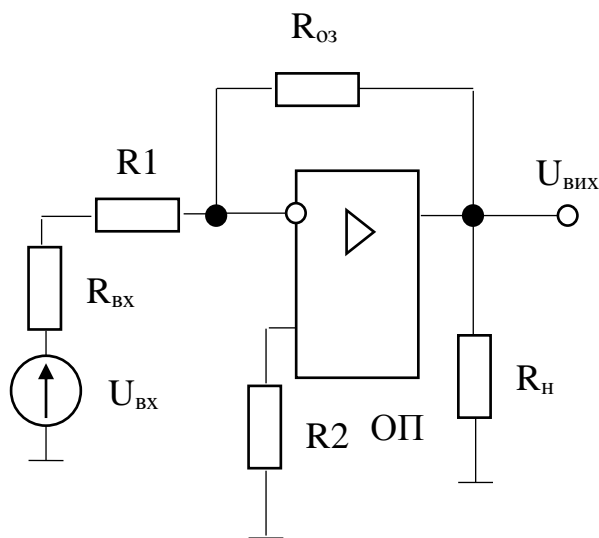


Рисунок 1.1

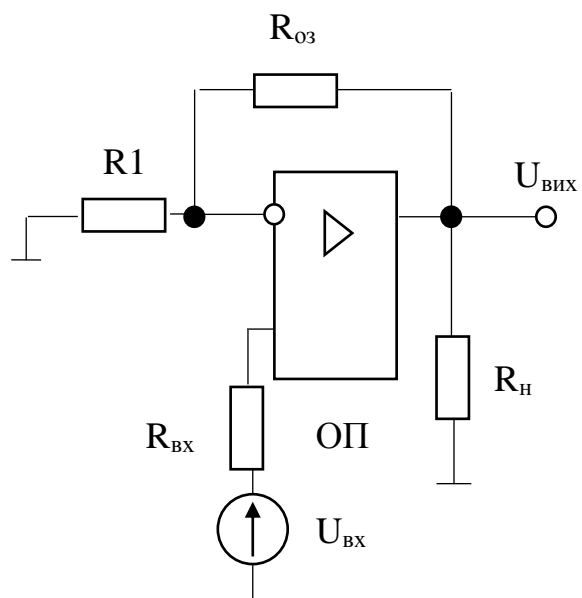


Рисунок 1.2

Для приведених варіантів схем зробити розрахунки.

1.1 Заданий інвертувальний ОП (рисунок 1.1) має $K_{\Pi} = 25$, $R_{\Pi} = 25$ кОм, $R_{ВН} = 50$ Ом. ОП вибрати типу 140УД5А, у якого $K_{ОП} \geq 12\,500$, $R_{ВХОП} \geq 1$ МОм, $R_{ВІХОП} < 154$ Ом.

Визначити опір резисторів R_1 , R_2 , $R_{ОЗ}$, вхідний і вихідний опори схеми.

1.2 Заданий неінвертувальний ОП (рисунок 1.2) має $K_{\Pi} = 25$, $R_{\Pi} = 25$ кОм, $R_{ВН} = 5$ Ом. ОП вибрати типу 140УД5А, у якого $K_{ОП} \geq 12\,500$, $R_{ВХОП} \geq 1$ МОм, $R_{ВІХОП} < 150$ Ом.

Визначити вхідний і вихідний опори схеми.

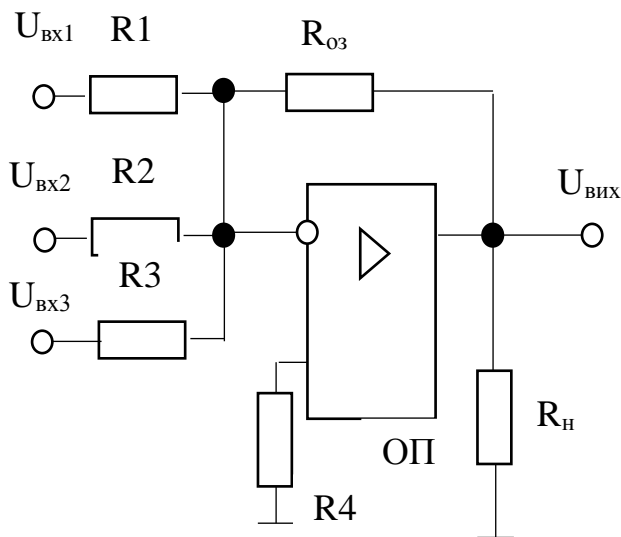


Рисунок 1.3

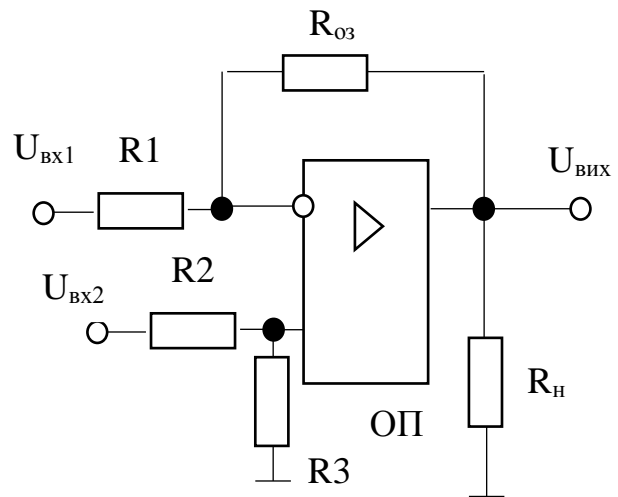


Рисунок 1.4

1.3 Заданий підсумовувальний ОП (рисунок 1.3) має $R_1 = R$, $R_2 = 0,5 R$; $R_3 = 2 R$, $R_{O3} = R$, $R_H = 10 R$.

Визначити залежність вихідної напруги $U_{ВИХ}$ від вхідних напруг $U_{ВХ1}$, $U_{ВХ2}$, $U_{ВХ3}$. Пояснити призначення резистора R_4 . З якої умови вибирається його величина?

1.4 Заданий підсумовувальний ОП (рисунок 1.3) має $R_{O3} = 150 \text{ кОм}$.

Визначити опір резисторів R_1 , R_2 , R_3 , щоб забезпечити таку залежність вихідної напруги:

$$U_{ВИХ} = - (2U_{ВХ1} + 3U_{ВХ2} + 5U_{ВХ3}).$$

1.5 Заданий різницевий ОП (рисунок 1.4) має $U_{ВХ1} = 0,2\text{В}$, $U_{ВХ2} = -0,1\text{В}$, $R_{O3} = R_3 = 120 \text{ кОм}$, $R_1 = R_2 = 10 \text{ кОм}$.

Визначити чому дорівнює $U_{ВИХ}$ у схемі.

1.6 Заданий різницевий ОП (рис. 4) має $R_1 = R_2 = 10 \text{ кОм}$, $R_{O3} = R_3 = 120 \text{ кОм}$, $R_{ВХОП} = \infty$, $K_{ОП} = \infty$.

Визначити вхідний опір на входах різницевого ОП.

1.7 Як видно із задачі 1.5, різницевий ОП (рисунок 1.4) має істотний недолік – різні вхідні опори по інвертувальних і неінвертувальних входах.

Побудувати схему, яка запобігає цьому недоліку і збільшує вхідні опори.

Задача 2

Розробити схему ОП (з поясненнями), що реалізує на виході вираз

$$U_{\text{вих}} = 10U_{\text{вх1}} + U_{\text{вх2}} - 4U_{\text{вх3}} - 2U_{\text{вх4}}.$$

Задача 3

Розробити і проаналізувати (на графіках) схему такого вигляду: два інтегратори на ОП приєднані послідовно. На вхід першого подається

$$U_{\text{вх1}} = 1\text{В}, K_1 = K_2 = 1, C_1 = C_2 = 1 \text{ мкФ}.$$

Визначити:

- 1) параметри схеми;
- 2) напругу на виходах кожного інтегратора;
- 3) напругу на виході схеми $U_{\text{вих2}}$ при $t = 1; 5; 10$ с;
- 4) побудувати графіки залежностей $U_{\text{вх1}}(t)$, $U_{\text{вх2}}(t)$, $U_{\text{вих}}(t)$.

Проаналізувати результати і навести власні висновки по графіках.

Задача 4

Визначити параметри інтегросуматорного пристрою (рисунок 1.5) при таких умовах:

- ОП К140УД24;
- $U_{\text{вх1}} = 0,2$ В, $U_{\text{вх2}} = -0,3$ В, $U_{\text{вх3}} = 0,05$ В;
- час інтегрування $t_i = 10$ с;
- $U_{\text{вихmax}} = 10$ В.

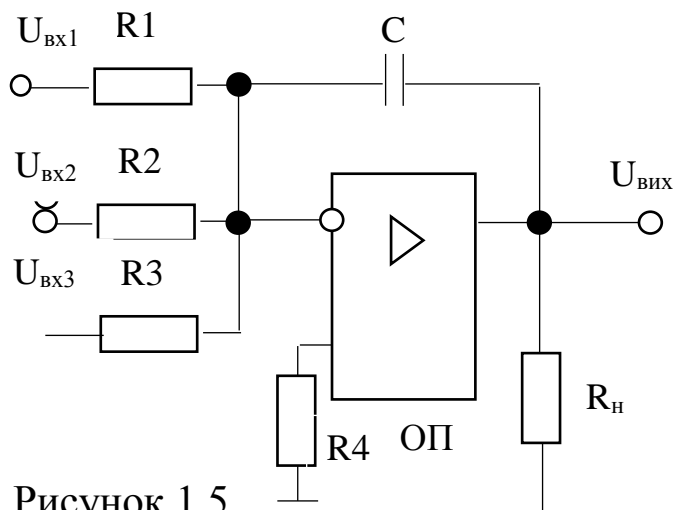


Рисунок 1.5

Задача 5

На входи підсумовувального диференціатора (рисунок 1.6) подано напруги:

- $U_{ВХ1} = 0,002\sin \omega t$;

- $U_{ВХ2} = 3В$;

- $U_{ВХ3} = 0.01t$.

Визначити напругу за умови $C_1 = C_2 = C_3 = 0,1$ мФ, $R = 68$ кОм, $\omega = 10 \pi$.

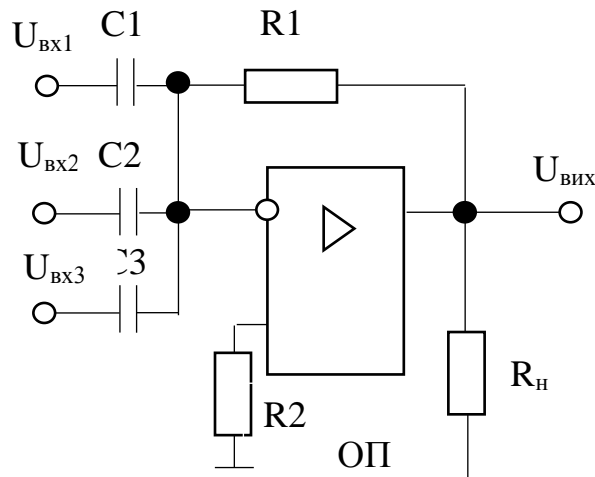


Рисунок 1.6

1.2 Завдання на контрольну роботу 2

Тема: Розрахунок і аналіз тригерних пристроїв

Задача 1

Дати визначення і скласти таблиці переходів для:

- асинхронних RS-тригерів;
- синхронних RS-, D-, T-, JK-тригерів.

Для кожного виду подати структуру тригера і його умовне графічне зображення.

Задача 2

2.1 Побудувати асинхронний RS-тригер з прямими входами на інтегральній мікросхемі (ІМС) К155ЛА1 (два чотиривхідних логічних елементи (ЛЕ) І-НІ в одному корпусі). Для побудованої схеми визначити:

- необхідну кількість корпусів ІМС;
- максимальну робочу частоту, якщо середній час затримки 1 ЛЕ $t_{затр} = 50$ нс.

2.2 Побудувати D-тригер з прямими входами на ІМС К155ЛА3 (чотири двовхідних ЛЕ І-НІ в одному корпусі). Для побудованої схеми визначити:

- необхідну кількість корпусів ІМС;
- максимальну робочу частоту, якщо середній час затримки 1 ЛЕ $t_{затр} = 40$ нс.

Задача 3

Задано двоступінчастий тригер (MS-тригер) із внутрішньою затримкою (рисунок 1.7).

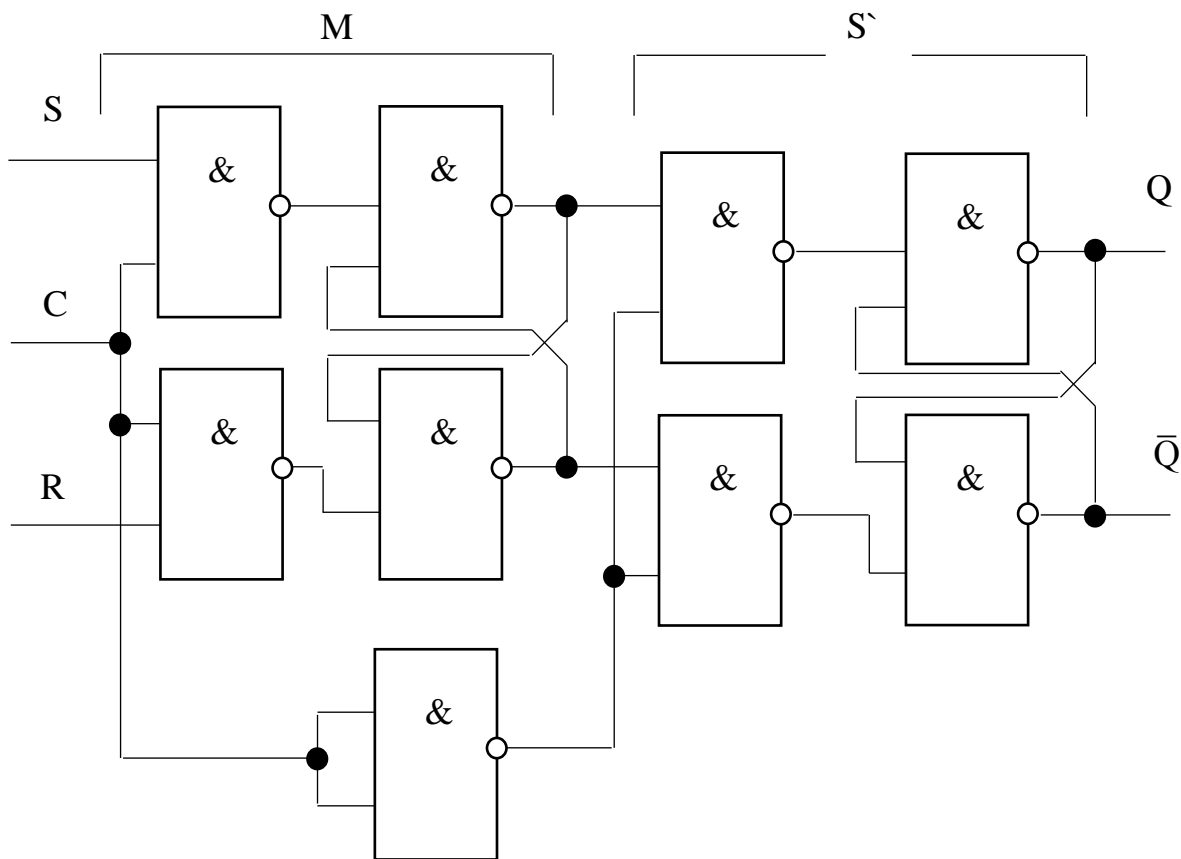


Рисунок 1.7

Необхідно визначити:

- 1) тип тригера;
- 2) стан тригера Q_{n+1} за умови:
 - а) $Q_n = 0, S = 1, R = C = 0$;
 - б) $Q_n = 0, S = C = 1, R = 0$;
 - в) $Q_n = 0, S = R = 1, C = 0$;

3) при яких значеннях сигналу С відбувається запис інформації в основний тригер (М), а при яких – у допоміжний (S);

4) як із заданого тригера одержати JK-тригер і як зміниться його стан за умови: $Q_n = 0, S = C = R = 1$;

5) максимальну робочу частоту тригера, якщо середній час затримки 1 ЛЕ $t_{зсер} = 50$ нс, а тривалість тактового імпульсу $t_T = 200$ нс. Як буде працювати тригер, якщо тривалість тактового імпульсу буде дорівнювати $t_T = 140$ нс. Пояснити причину.

Задача 4

Заданий JK-тригер типу К155ТВ1 (рисунок 1.8).

Необхідно:

1) пояснити, які функції виконує дана схема і призначення її входів; чому входи R і S – інверсні, а J і K – прямі;

2) перетворити дану ІМС у такі тригери:

- асинхронний TV-тригер;
- синхронний TV-тригер;
- синхронний T-тригер;
- асинхронний RS-тригер;
- синхронний RS-тригер;
- синхронний RST-тригер;
- D-тригер.

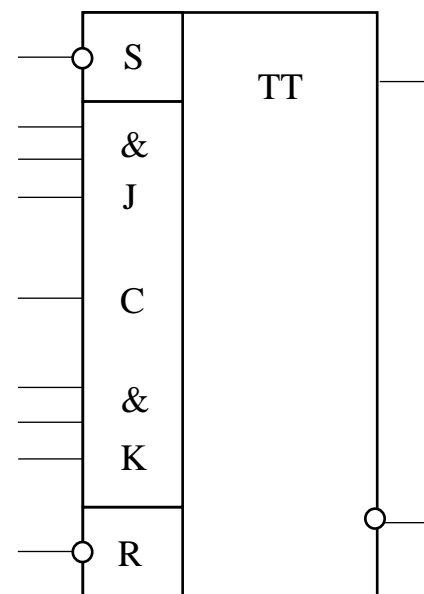


Рисунок 1.8

Задача 5

Провести синтез тригерної структури на базі універсальних JK- і D-тригерів за заданою вхідною логікою.

1 Задано універсальний JK- тригер типу К155ТВ1. Необхідно:

- визначити структуру тригера;
- за заданою таблицею відповідності розробити двовхідний тригерний пристрій (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1

X_{1n}	X_{2n}	Q_{n+1}
0	0	0
0	1	Q_n
1	0	$\overline{Q_n}$
1	1	0

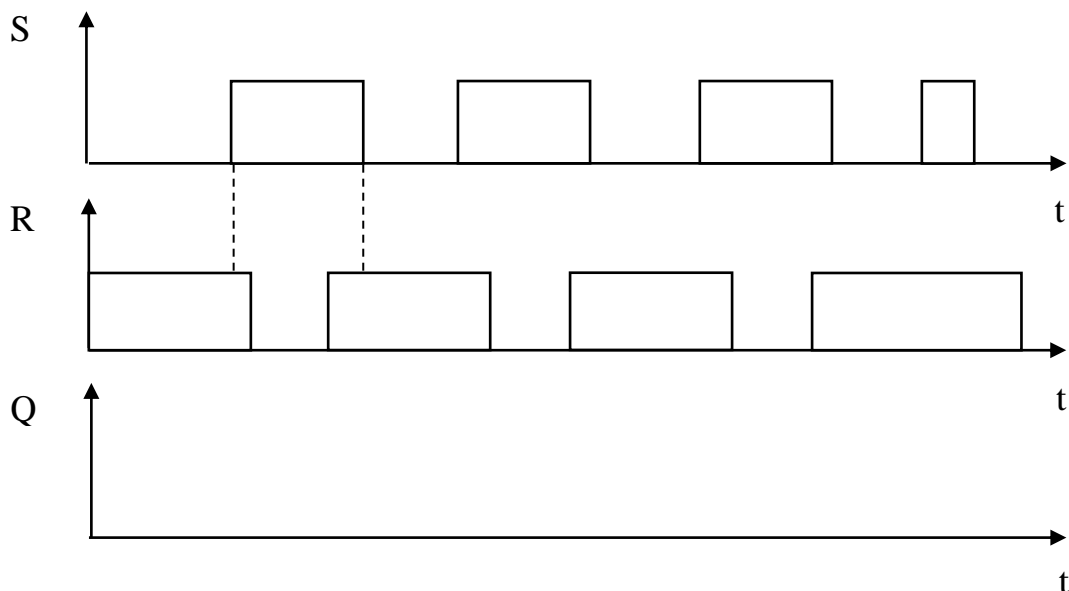
2 За заданою вхідною логікою на основі D-тригера розробити двохвідний тригерний пристрій (таблиця 1.2).

Таблиця 1.2

X_{1n}	X_{2n}	Q_{n+1}
0	0	0
0	1	Q_n
1	0	$\overline{Q_n}$
1	1	1

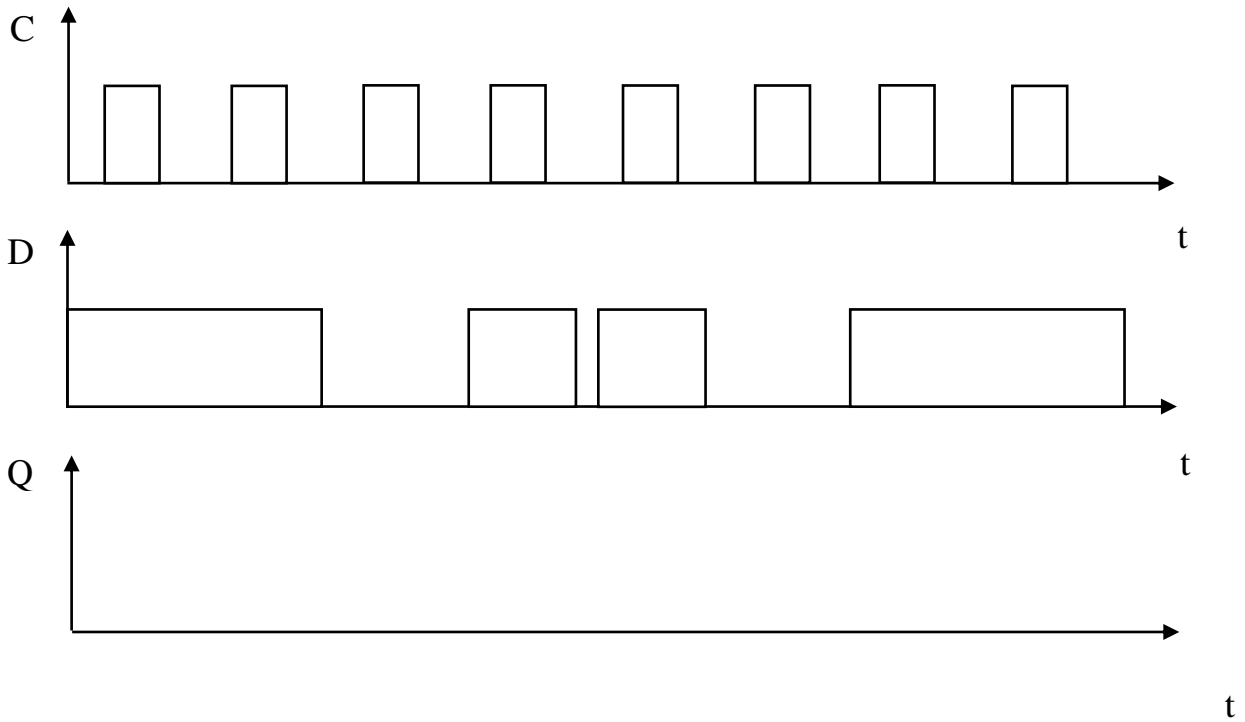
Задача 6

Для асинхронного RS-тригера побудувати часові діаграми. Пояснити, на яких логічних елементах побудовано даний тригер.



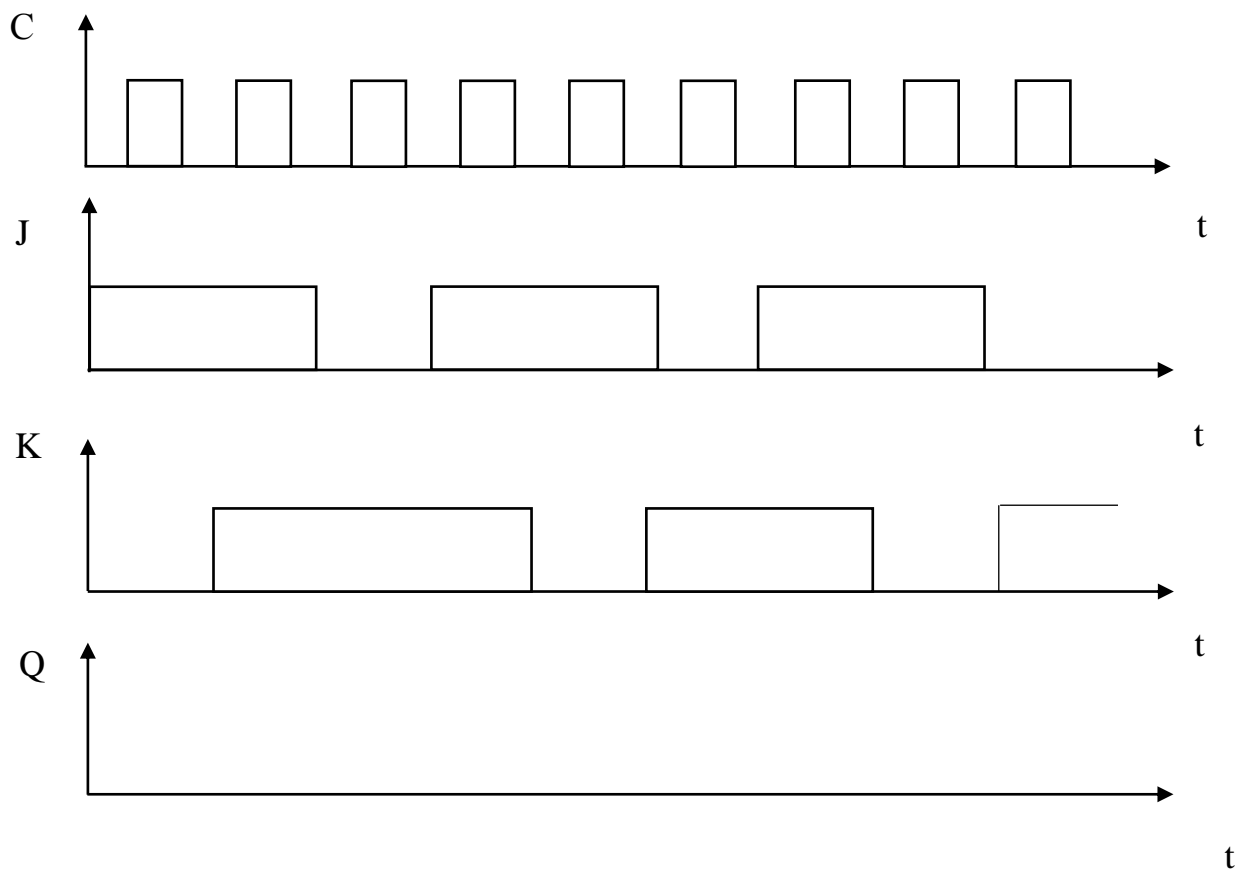
Задача 7

Для D-тригера побудувати часові діаграми. Пояснити, по якому фронту (передньому чи задньому) синхроімпульсу відбувається спрацювання схеми і чому.



Задача 8

Для синхронного JK-тригера скласти таблицю переходів, на основі якої побудувати часові діаграми.



Задача 9

Заданий RS-тригер з інверсними входами. Навести структуру тригера і його часові діаграми (рисунок 1.9).

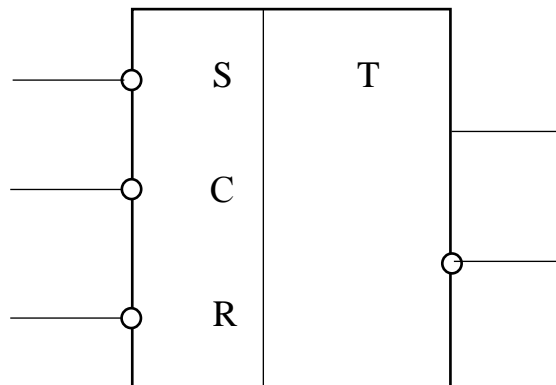


Рисунок 1.9

Контрольні питання

I Аналогова схемотехніка

- 1 Характеристика сигналів електронних пристроїв.
- 2 Підсилювачі змінного струму. Класифікація і характеристики.
- 3 Режими роботи підсилювачів.
- 4 Способи здійснення режиму роботи підсилювального каскаду.
- 5 Резисторні каскади на біполярних транзисторах. Електрична схема призначення елементів. Частотні характеристики каскаду.
- 6 Зворотні зв'язки в підсилювачах. Вплив зворотного зв'язку на основні технічні характеристики підсилювачів.
- 7 Вихідні каскади підсилювачів.
- 8 Міжкаскадні зв'язки у підсилювачів.
- 9 Підсилювачі постійного струму.
- 10 Операційні підсилювачі. Структура, основні параметри і характеристики.
- 11 Функціональні пристрої на операційному підсилювачі.

II Цифрова схемотехніка

- 1 Призначення і загальні відомості про логічний ІМС.
- 2 Класифікація ІМС.

- 3 Характеристика логічних ІМС.
- 4 Основні параметри ІМС.
- 5 Елемент ТТЛ з простим інвертором.
- 6 Елемент ТТЛ із складним інвертором.
- 7 Варіанти схем ТТЛ.
- 8 Логічні елементи базису ЕЗЛ.
- 9 МДП-логічні елементи. Загальні відомості. Побудова інвертора.
- 10 Базові елементи на МДП-транзисторах.
- 11 МДП-логічні елементи з транзисторами, що доповнюють.
- 12 Загальні відомості про тригерні пристрої. Класифікація тригерних пристроїв.
- 13 Асинхронні RS-тригери.
- 14 Синхронні RS-тригери.
- 15 D-тригери.
- 16 T-тригери.
- 17 JK-тригери.
- 18 DV-тригери.
- 19 MS-тригерні пристрої. RS -тригер з інвертором.
- 20 MS-тригерні пристрої. RS -тригер із забороняючими зв'язками.
- 21 MS-тригерні пристрої. RS -тригер з різнополярним керуванням.
- 22 Запам'ятовувальні елементи на біполярних транзисторах.
- 23 Запам'ятовувальні елементи на МДП-структурах.
- 24 Автоколивальний мультівібратор на логічних елементах.
- 25 Чекальний мультівібратор на логічних елементах.
- 26 Автоколивальний мультівібратор зі схемою з твердим самозбудженням.
- 27 Принцип використання ОП для створення генераторних схем.
- 28 Автоколивальний мультівібратор на ОП.
- 29 Автоколивальний мультівібратор зі змінюваною шпаруватістю (рос. «скважность»).
- 30 Чекальний мультівібратор на ОП.
- 31 Принципи дії ГЛІН. Параметри, принципи побудови.
- 32 Схема ЦАП з розрядно-взваженими резисторами.
- 33 Схема ГЛІН з негативним зворотним зв'язком.

34 ЦАП в інтегральному виконанні.

35 Схема АЦП із безпосереднім перетворенням у часовий інтервал (схема однокантного інтегрування).

36 Схема АЦП, побудована за методом подвійного інтегрування.

37 Схема АЦП з порозрядним кодуванням.

38 Паралельні АЦП.

39 Схема ЦАП з матрицею R-2R.

2 ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

Тема: Розроблення аналогових і цифрових пристроїв на інтегральних мікросхемах

Завдання 1. Розрахунок операційного підсилювача на інтегральних мікросхемах. Вихідні дані для розрахунку.

1 Розрахувати трикаскадний електронний підсилювач, побудований на операційних підсилювачах.

2 Варіант розрахунку і вихідних даних вибирається за номером запису в навчальному журналі (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1

Пара- метри	Варіанти									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P_H , Вт	0,5	1,0	1,2	0,7	0,4	0,55	1,5	2,3	2,9	0,85
R_H , кОм	0,45	0,55	0,7	0,3	0,25	0,65	0,9	0,35	0,75	0,8
K_y	300	400	500	250	600	150	350	250	450	550
R_{BX} , кОм	0,7	0,9	0,8	0,5	0,2	0,25	0,6	0,3	0,15	0,4
f_{BX} , Гц	400	400	400	400	400	400	400	400	400	400

Завдання 2. Розроблення тригерного пристрою на логічних елементах І-НІ (АБО-НІ) для реалізації двовхідної функції, функціонування якого задано таблицею переходів. Побудувати функціональну схему пристрою на основі двоступінчастого тригера на обраних логічних елементах, а також на інтегральних мікросхемах К155ТВ1.

Визначити повний час роботи пристрою і максимальну частоту, а також мінімальну тривалість і максимальну частоту тактових сигналів.

Варіанти завдань вибираються відповідно до номера в навчальному журналі (таблиця 2.2)

Таблиця 2.2

X_1	X_2	Значення виходу пристрою для кожного варіанта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	Q_{t-1}	1	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	1	0	0	Q_{t-1}	0
0	1	1	0	1	0	\bar{Q}_{t-1}	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1
1	0	0	\bar{Q}_{t-1}	0	1	Q_{t-1}	1	1	0	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}
1	1	\bar{Q}_{t-1}	1	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	1	1

3 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

Курсовий проект з дисциплін «Комп'ютерна електроніка» та «Основи схемотехніки» виконується у вигляді рішення двох самостійних завдань, що охоплюють частини аналогової і цифрової схемотехніки. У першому завданні виконується розрахунок підсилювача на інтегральних мікросхемах, у другому – розрахунок тригерного пристрою. До кожного завдання приводиться методика його вирішення.

У ході проектування студенти виконують текстові і графічні документи. Текстовим документом є пояснювальна записка, у якій розкрито функціональну і принципову схеми розроблюваних пристроїв, їхній розрахунок і обґрунтування. До графічних документів відносяться електричні, функціональні і принципові схеми розроблюваних пристроїв.

Порядок оформлення має відповідати існуючим стандартам, застосовуваним до конструкторської документації й описаним у рекомендованій літературі та додатках цих методичних вказівок.

Методика виконання завдання 1

На сьогодні розроблені потужні операційні підсилювачі з вихідним струмом до 1 А та вихідною напругою до 19 В, які можна використовувати як вихідні каскади електронного підсилювача слідкувальної системи. Схема трикаскадного підсилювача наведена на рисунку 3.1.

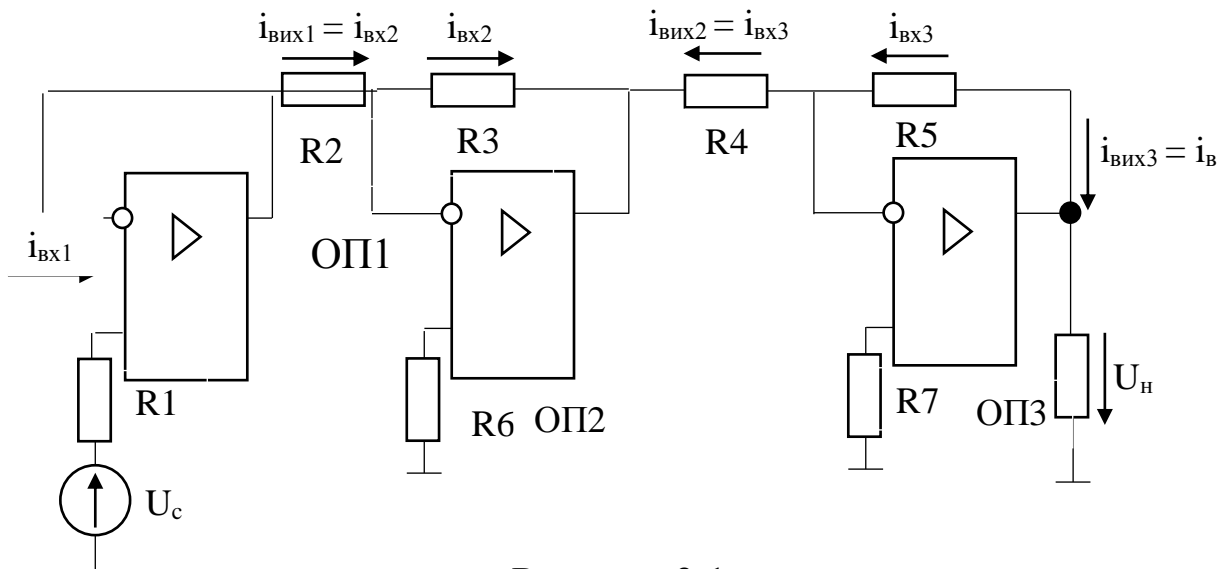


Рисунок 3.1

Вхідний каскад виконано з використанням операційного підсилювача ОП1 і функціонує як повторювач напруги і підсилювач струму. Це забезпечує функціонування датчика в режимі холостого ходу. Сигнал датчика U_c подається на неінвертувальний вхід ОП1, а на інвертувальний вхід ОП подається вихідна напруга ОП1 $U_{вих1}$. Напруга на неінвертувальному вході $U_{н1}$ визначається за формулою:

$$U_{н1} = U_c \cdot \frac{r_{вх1}}{R_1 + r_{вх1}} \approx U_c, \quad (3.1)$$

де $r_{вх1}$ – вхідний опір ОП1;

R_1 – внутрішній опір датчика, який у багато разів менше $r_{вх1}$.

Оскільки напруги на входах операційного підсилювача практично рівні, то

$$U_c \approx U_{H_1} = U_{\text{вих}_1}. \quad (3.2)$$

Вхідний струм $i_{\text{вх}_1}$, операційного підсилювача ОП1 обчислюється за формулою

$$i_{\text{вх}_1} = \frac{U_c}{r_{\text{вх}_1} + R_1} \approx \frac{U_c}{r_{\text{вх}_1}}. \quad (3.3)$$

Величину вхідного струму можна зменшити, якщо використовувати операційний підсилювач ОП1 з великим вхідним опором порядку одиниць мегаомів. Вихідний сигнал операційного підсилювача ОП1 $U_{\text{вих}_1}$, подається через резистор R_2 до входу операційного інвертувального підсилювача ОП2 другого каскаду. Оскільки на входах ОП2 потенціал близький до потенціалу корпусу, то $i_{\text{вих}_1}$ – вихідний струм першого каскаду – розраховується так:

$$i_{\text{вих}_1} = \frac{U_{\text{вих}_1}}{R_2}. \quad (3.4)$$

Тоді коефіцієнт підсилення струму першого каскаду K_{i1} буде:

$$K_{i1} = \frac{i_{\text{вих}_1}}{i_{\text{вх}_1}} = \frac{r_{\text{вх}_1}}{R_2}. \quad (3.5)$$

Звідси випливає, що для підвищення K_i доцільно задавати R_2 близьким до $R_{\text{н вх}}$ – мінімально припустимого опору навантаження обраного типу операційного підсилювача ОП1. Відношення $\frac{r_{\text{вх}_1}}{R_{\text{н min}}}$ для більшості малопотужних операційних підсилювачів лежить у діапазоні $10^2 - 10^3$. Таким чином, вхідний каскад забезпечує роботу датчика сигналу U_c з малими струмами навантаження і підсилює струм у сотні разів.

Другий каскад підсилює і напругу, і струм. Коефіцієнт підсилення напруги K_{u2} другого каскаду визначається за формулою

$$K_{u_2} = \frac{u_{\text{ВИХ}_2}}{u_{\text{ВХ}_2}} = \frac{u_{\text{ВИХ}_2}}{u_{\text{ВИХ}_1}} = -\frac{R_3}{R_2}, \quad (3.6)$$

а коефіцієнт підсилення струму K_{i_2} другого каскаду –

$$K_{i_2} = \frac{i_{\text{ВИХ}_2}}{i_{\text{ВХ}_2}} = \frac{\frac{u_{\text{ВИХ}_2}}{R_4}}{\frac{u_{\text{ВИХ}_1}}{R_2}} = |K_{u_2}| \frac{R_2}{R_4} = \frac{R_3}{R_4} \quad (3.7)$$

Аналогічно функціонує третій – вихідний каскад підсилювача, що використовує операційний підсилювач ОПЗ. Коефіцієнти підсилення напруги і струми третього каскаду розраховуються так:

$$K_{u_3} = \frac{u_{\text{ВИХ}_3}}{u_{\text{ВХ}_3}} = \frac{u_{\text{В}}}{u_{\text{ВИХ}_2}} = -\frac{R_5}{R_4}; \quad (3.8)$$

$$K_{i_3} = \frac{i_{\text{Вих}_3}}{i_{\text{ВХ}_3}} = \frac{i_{\text{Н}}}{i_{\text{ВХ}_3}} = \frac{\frac{u_{\text{Н}}}{R_{\text{Н}}}}{\frac{u_{\text{Вих}_2}}{R_4}} = |K_{u_3}| \frac{R_4}{R_{\text{Н}}}. \quad (3.9)$$

Загальний коефіцієнт підсилення напруги підсилювача

$$K_u = \frac{u_{\text{Н}}}{u_{\text{с}}} = K_{u_1} * K_{u_2} * K_{u_3} = \frac{R_3}{R_2} \cdot \frac{R_5}{R_4}. \quad (3.10)$$

Коефіцієнт підсилення струму

$$K_i = \frac{i_{\text{Н}}}{i_{\text{ВХ}_1}} = K_{i_1} \cdot K_{i_2} \cdot K_{i_3} = \frac{r_{\text{ВХ}_1}}{R_2} \cdot \frac{R_3}{R_4} \cdot \frac{R_5}{R_{\text{Н}}}. \quad (3.11)$$

З формул (3.10) і (3.11) випливає, що коефіцієнти підсилення напруги розраховуються тільки значеннями опорів резисторів, розміщених у колі з негативним зворотним зв'язком, є стабільними і можуть бути задані з високою точністю. З формули (3.10) можна одержати таке співвідношення між відносним збільшенням коефіцієнта підсилення підсилювача $\frac{\Delta K_u}{K_u}$ і відносним збільшенням опорів резисторів:

$$\left| \frac{\Delta K_u}{K_u} \right| \leq \left| \frac{\Delta R_2}{R_2} \right| + \left| \frac{\Delta R_3}{R_3} \right| + \left| \frac{\Delta R_4}{R_4} \right| + \left| \frac{\Delta R_5}{R_5} \right| . \quad (3.12)$$

Для визначення коефіцієнта підсилення K_u з точністю ± 3 дБ, тобто з точністю $(+0,41 ; - 0,3)$, варто задати

$$\left| \frac{\Delta R_2}{R_2} \right| = \left| \frac{\Delta R_3}{R_3} \right| = \left| \frac{\Delta R_4}{R_4} \right| = \left| \frac{\Delta R_5}{R_5} \right| < 0.075 . \quad (3.13)$$

Тому як резистори R_2, R_3, R_4, R_5 , варто застосовувати резистори п'ятипроцентної точності виготовлення з номінальними значеннями з ряду E24 кращих чисел.

Доцільно задати $K_{u2} = K_{u3} = \sqrt{K_{ui}}$, де K_u – коефіцієнт підсилення підсилювача, отриманий при синтезі слідкувальної системи за умови одержання необхідної якості керування.

У схемі підсилювача на операційних підсилювачах мало позначаються їхні дрейфи, якщо коефіцієнти підсилення напруги окремих каскадів менше 10 - 20. Якщо $\sqrt{K_u} > 20$, то доцільно додати ще один проміжний каскад. Тоді коефіцієнти підсилення напруги трьох каскадів варто задати однаковими і рівними $K_{u2} = K_{u3} = K_{u4} = \sqrt[3]{K_{ui}}$.

Відповідно до викладеного розрахунок підсилювача на операційних підсилювачах ведеться за такою методикою:

- визначають амплітуду напруги в навантаженні U_{Hmax} :

$$U_{Hmax} = \sqrt{2 \cdot P_H \cdot R_H} , \quad (3.14)$$

де P_H – потужність, що підводиться до навантаження з опором R_H ;

- знаходять амплітуду струму I_{Hmax} у навантаженні:

$$I_{Hmax} = \frac{U_{Hmax}}{R_H} ; \quad (3.15)$$

- підбирають потужний операційний підсилювач, у якого максимальна вихідна напруга $U_{вихmax}$ більше U_{Hmax} , а максимальний вихідний струм $I_{вихmax}$ більше I_{Hmax} .

Як такі операційні підсилювачі можна застосовувати операційні підсилювачі К154УД7 і К1408УД11, а також малопотужні операційні підсилювачі ОП1 і ОП2, які з економічних міркувань можна брати одного типу. Доцільно використовувати операційні підсилювачі з великим вхідним опором у $10^5 - 10^6$ Ом і малою величиною напруги дрейфу;

- обчислюють потрібні коефіцієнти підсилення напруги другого та вихідного каскаду:

$$|K_{u_2}| = |K_{u_3}| = \sqrt{K_u}; \quad (3.16)$$

- задають величину опорів $R_2 = R_4$, яка має бути в 1,5-2 рази більше мінімального опору навантаження для обраного типу операційних підсилювачів ОП2 і ОП3. Значення $R_2 = R_4$ беруть з ряду E24 номінальних значень опорів;

- визначають величини опорів R_3 і R_5 :

$$R_3 = R_2 \cdot |K_{u_2}|;$$

$$R_5 = R_4 \cdot |K_{u_3}|;$$

- розраховують коефіцієнти підсилення струму K_{i1} , K_{i2} , K_{i3} , K_i за формулами (3.5), (3.7), (3.9) і (3.11);

- обчислюють коефіцієнт підсилення потужності підсилювача $K_p = K_u \cdot K_i$;

- знаходять амплітуди вхідної напруги і струму підсилювача:

$$U_{Vx_{max}} = \frac{U_{H_{max}}}{K_u}; \quad (3.17)$$

$$I_{Vx_{max1}} = \frac{I_{n_{max}}}{K_i}. \quad (3.18)$$

- визначають верхні частоти смуги перепускання каскадів:

$$f_{V_1} = f_{11}; \quad (3.19)$$

$$f_{B_2} = \frac{f_{12}}{K_{u_2}}; \quad (3.20)$$

$$f_{B_3} = \frac{f_{13}}{K_{u_3}}, \quad (3.21)$$

де f_{11} , f_{12} , f_{13} – частоти одиничного посилення відповідно операційних підсилювачів ОП1, ОП2, ОП3.

Ці частоти повинні бути більше частоти джерела живлення датчика.

Приклад розрахунку підсилювача на інтегральних мікросхемах

1 Вихідні дані для розрахунку:

- потужність у навантаженні $P_H = 0,8$ Вт;
- опір навантаження $R_H = 200$ Ом;
- коефіцієнт посилення напруги $K_u = 300$;
- вихідний опір датчика $R_o = R_1 = 1000$ Ом;
- діапазон експлуатаційних температур $T = 223$ К - 323 К;
- похибка стабілізації напруги $\frac{\Delta U_{\Pi}}{U_{\Pi}} = \pm 0,05$;
- частота сигналу датчика $f_{вх} = 400$ Гц.

2 Визначимо амплітуди напруги і струму в навантаженні:

$$U_{H_{\max}} = \sqrt{2 \cdot P_H \cdot R_H} = \sqrt{2 \cdot 0,8 \cdot 200} = 17,9 \text{ В.}$$

$$I_{H_{\max}} = \frac{U_{H_{\max}}}{R_H} = \frac{17,9}{200} = 0,0895 \text{ А.}$$

Для вихідного каскаду використовуємо операційний підсилювач К1408УД1, для якого існують такі параметри: $U_{\text{вихmax}} = 19$ В, коефіцієнт посилення напруги диференціального сигналу $K_u = 7 \cdot 10^4$, напруга зсуву нуля $U_{\text{см}} = 8 \cdot 10^{-3}$ В, вхідні струми 40 нА, частота одиничного посилення $f_1 = 0,5$ МГц, напруга джерела живлення ± 27 В, споживаний мікросхемою струм $I_{\text{сп}} = 5$ мА, вхідний опір $r_{\text{вхоп}} = 10^6$ Ом.

Для формування вхідного і проміжного каскадів вибираємо операційний підсилювач К140УД6 з такими параметрами:

$U_{\text{вихmax}} = 11 \text{ В}$, $I_{\text{вихmax}} = 0,025 \text{ А}$, коефіцієнт підсилення напруги $K = 7 \cdot 10^4$, напруга джерела живлення $U_{\text{живл}} = \pm 15 \text{ В}$, частота одиничного посилення $f_1 = 10^6 \text{ Гц}$, вхідний опір $r_{\text{вх}} = 10^6 \text{ Ом}$, споживаний струм $I_{\text{сп}} = 2,8 \text{ мА}$.

3 Знаходимо коефіцієнти підсилення вихідного і проміжного каскадів:

$$K_{u3} = K_{u2} = \sqrt{K_u} = \sqrt{300} = 17,3.$$

4 Визначаємо мінімально припустимий опір навантаження підсилювача типу К140УД6:

$$R_{H\text{min}} = \frac{U_{\text{вихmax}}}{I_{\text{вихmax}}} = \frac{11}{0.025} = 440 \text{ Ом}.$$

5 Якщо опір буде дорівнювати $R_2 = R_4 = 2 \text{ кОм}$, то він повинен бути більше $R_{H\text{min}}$ і відповідати номінальним значенням ряду Е24.

6 Обчислюємо опори резисторів R_3 і R_5 :

$$R_3 = R_5 = R_2 \cdot K_{u2} = R_4 \cdot K_{u3} = 2000 \cdot 17,3 = 34,6 \text{ кОм}.$$

Беремо з ряду Е24 найближчі номінальні значення: $R_3 = 35 \text{ кОм}$, а $R_5 = 33 \text{ кОм}$. Вибір різних значень R_3 і R_5 наблизить значення коефіцієнта підсилення напруги до заданого значення:

$$K_u = \frac{R_3}{R_2} \cdot \frac{R_5}{R_4} = \frac{36000}{2000} \cdot \frac{33000}{2000} = 297.$$

7 Знаходимо коефіцієнт підсилення струму:

$$K_{i1} = K_u \frac{r_{\text{вх}}}{R_2} = 7 \cdot 10^4 \cdot \frac{10^6}{2 \cdot 10^3} = 3,5 \cdot 10^7;$$

$$K_{i2} = \frac{R_3}{R_4} = \frac{36 \cdot 10^3}{2 \cdot 10^3} = 18;$$

$$K_{i_3} = |K_{U_3}| \frac{R_4}{R_n} = \frac{R_5}{R_n} = \frac{33 \cdot 10^3}{200} = 165;$$

$$K_i = K_{i_1} \cdot K_{i_2} \cdot K_{i_3} = 1.04 \cdot 10^{11} .$$

8 Визначаємо коефіцієнт підсилення потужності підсилювача:

$$K_p = K_u \cdot K_i = 297 \cdot 1.04 \cdot 10^{11} = 3.08 \cdot 10^{13}.$$

9 Розраховуємо верхні частоти смуги пропускання каскадів підсилювача:

$$f_{B_1} = \frac{f_{11}}{K_{U_1}} = \frac{10^6}{1} = 10^6 \text{ Гц};$$

$$f_{B_2} = \frac{f_{12}}{K_{U_2}} = \frac{10^6}{18} = 56 \cdot 10^3 \text{ Гц};$$

$$f_{B_3} = \frac{f_{13}}{K_{U_3}} = \frac{5 \cdot 10^3}{16.5} = 30 \cdot 10^3 \text{ Гц}.$$

10 Знаходимо амплітуду вхідної напруги і вхідного струму підсилювача:

$$U_{BX_{\max}} = \frac{U_{H_{\max}}}{K_U} = \frac{17.8}{297} = 0.06 \text{ В} .$$

$$I_{BX_{\max}} = \frac{I_{H_{\max}}}{K_i} = \frac{0.089}{1.04 \cdot 10^{11}} = 8.6 \cdot 10^{-13} \text{ А}.$$

Методика виконання завдання 2

1 Відповідно до свого порядкового номера вибирають номер варіанта і функцію значення виходу. Таблиця переходів тригера для вихідних сигналів x_1 і x_2 наведена нижче (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1

t – 1		t
x_1	x_2	Q_1
0	0	0
0	1	Q_{t-1}
1	0	\overline{Q}_{t-1}
1	1	0

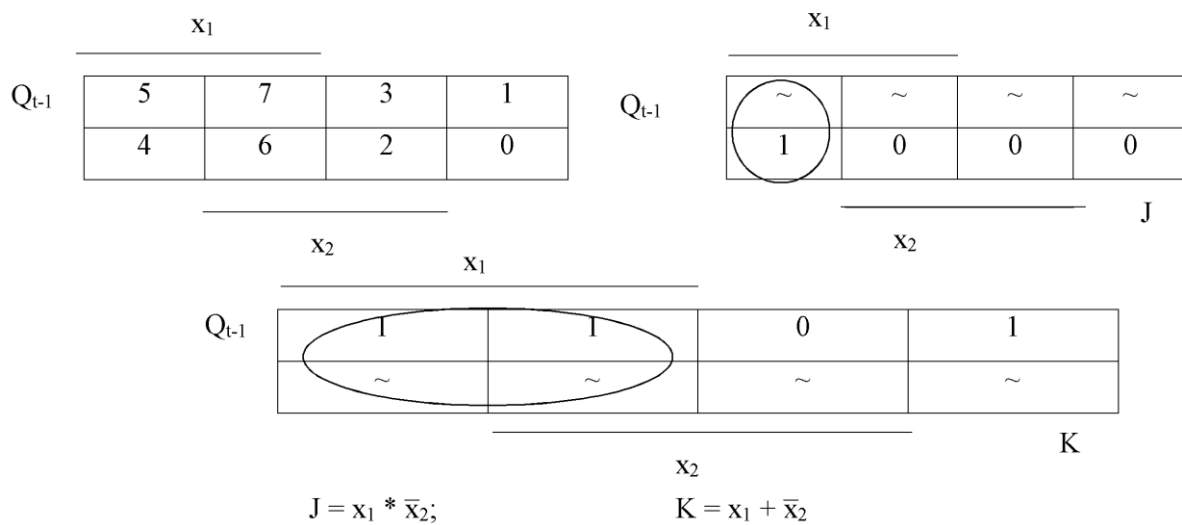
2 Таблиця переходів роботи заданого пристрою з урахуванням вихідних даних подана нижче (таблиця 3.2)

Таблиця 3.2

x_1	x_2	Q_{t-1}	Q_t	J	K
0	0	0	0	0	~
0	0	1	0	~	1
0	1	0	0	0	~
0	1	1	1	~	0
1	0	0	1	1	~
1	0	1	0	~	1
1	1	0	0	0	~
1	1	1	0	~	1

3 За допомогою карт Карно знаходять мінімальну форму функцій J і K.

Мінімізація функцій



4 Приводять функції J і K до вигляду, зручного для реалізації на логічних елементах типу І-НІ (рисунок 3.2)

$$J = \overline{\overline{x_1 * \overline{x_2}}}; \quad K = \overline{\overline{\overline{x_1 + \overline{x_2}}} = \overline{\overline{x_1 * x_2}}$$

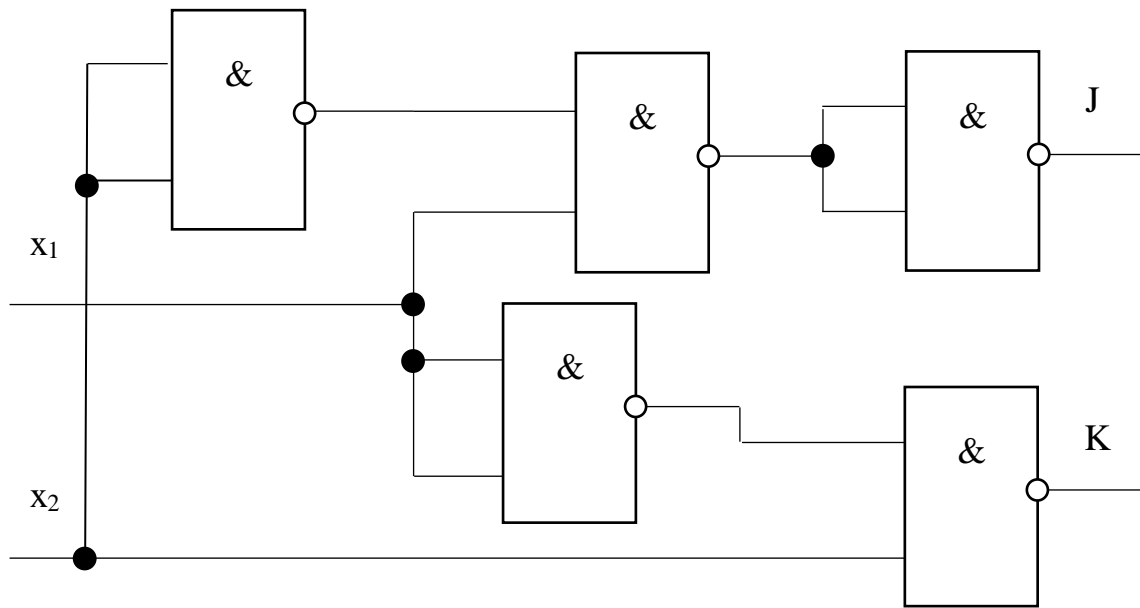


Рисунок 3.2

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1 Буняк А. М. Електроніка та мікросхемотехніка : навч. посібник. Київ; Тернопіль, 2001. 382 с.

2 Леонов С. Ю., Гладких Т. В., Загарій Г. І. та ін. Автоматизоване проектування складних систем у комп'ютерній системотехніці : навч. посібник. Харків : Нове слово, 2012. Ч. 1. 287 с.

3 Матвієнко М. П. Пристрої цифрової електроніки : навч. посібник; М-во освіти і науки України, Конотоп. ін-т Сумського держ. ун-ту. Київ : Ліра-К, 2015. 392 с.

4 Матвієнко М. П. Комп'ютерна логіка : навч. посібник. Київ : Ліра-К, 2015. 288 с.

5 Козар Л. М., Коновалов Е. В., Лапко А. О. та ін; за заг. ред. Козара Л. М. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладання та оформлення : метод. посібник з додержання вимог нормоконтролю у студентській навчальній звітності. 3-є вид., перероб. та доп. Харків :УкрДАЗТ, 2014. 58 с.

ДОДАТКИ

Додаток А. Параметри деяких вітчизняних ІМС

Таблиця А.1

Тип мікро-схеми	КР1407 УД1	КР1407 УД2	КР1407 УД3	КР1407 УД4	КР1408 УД1	КР1408 УД2	КР1408 УД1
К, тис.	10	50	10	3	70	50	20
$\pm U_B$, В	3-12	1,2-13,2	2-12	1,5-6	20-40	5-20	5-15
I_B , мА	8	0,1	2	2	4	3	6
$\pm e_{cm}$, мВ	10	5	5	5	8	4	15
$TKe_{cm}, \frac{мкВ}{К}$	50	-	20	-	-	-	-
I_{BX} , нА	10^4	150	5000	2000	40	200	1
ΔI_{BX} , нА	$2 \cdot 10^3$	50	1000	500	10	70	0,2
$\pm U_{ДФ}$, В	2,5	2,5	2,5	2,5	20	-	10
$\pm U_{СФ}$, В	4	10	4	-	21	-	10
$M_{СФ}$, дБ	70	70	75	70	80	70	-
f_I , МГц	20	3	5	1	0,5	0,8	-
$V, \frac{В}{мкс}$	10	0,5	5	1	2	0,7	4
$\pm U_{ВИХ}$, В	3	10	3	0,65	20	-	12
R_H , кОм	1	2	2	0,25	2	-	2
Зарубіжний аналог	-	-	-	-	-	μА 747С	СА 3140

Продовження таблиці А.1

Тип мікро- схеми	КР140 УД1 А/Б	КР140 УД2	КР140 УД5 А/Б	КР140 УД6	КР140 УД7	КР140 УД8	КР140 УД9
К, тис.	0,9/2	30	1,5/2,5	50	50	30	30
$\pm U_B$, В	6,3/12,6	9-18	6-13	5-20	5-40	15	9-18
I_B , мА	6/12	8	10	3	3	5	8
$\pm e_{cm}$, мВ	7	5	8/7	8	4	50	5
TKe_{cm} , $\frac{мкВ}{К}$	20	30	45/6	20	6	50	20
I_{BX} , нА	$\frac{5 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^3}$	700	$\frac{1 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^3}$	50	200	0,2	300
ΔI_{BX} , нА	$1,5 \cdot 10^3$	200	$\frac{300}{1000}$	15	50	0,1	100
$\pm U_{ДФ}$, В	1,5	4	3	30	20	6	4
$\pm U_{СФ}$, В	3/6	6	6	11	15	10	7
$M_{СФ}$, дБ	60	70	50/60	70	70	70	80
f_L , МГц	3/8	1	5/10	1	0,8	1	1
V , $\frac{В}{мкс}$	0,2/0,5	0,2	3/6	2	0,5	2	0,5
$\pm U_{ВИХ}$, В	2,8/5,7	10	5	12	11	10	10
R_H , кОм	5	1	5	1	2	2	1
Зарубіжний аналог	μA 702	-	-	МС 1456	μA 741	μA 740	-

Продовження таблиці А.1

Тип мікро- схеми	КР140 УД10	КР140 УД11	КР140 УД12 1,5/15 мкА	КР140 УД13	КР140 УД14	КР140 УД17	КР140 УД20
К, тис.	50	30	50/100	0,01	50	150	25
$\pm U_B$, В	5-18	5-18	2-18	12-18	5-20	3-18	5-20
I_B , мА	10	8	0,03/0,2	2	1	5	3
$\pm e_{cm}$, мВ	5	10	5	0,05	5	0,25	5
TKe_{cm} , $\frac{мкВ}{К}$	50	50	3	0,5	20	1,3	2
I_{BX} , нА	500	500	10/50	0,5	5	10	100
ΔI_{BX} , нА	150	200	3/15	0,2	1	5	30
$\pm U_{ДФ}$, В	4	10	10	10	13	15	10
$\pm U_{СФ}$, В	6	11	12	10	13	13	12
$M_{СФ}$, дБ	70	70	70	90	85	100	70
f_i , МГц	15	15	0,3/1	0,01	0,5	0,4	0,5
V , $\frac{В}{мкс}$	30	50	0,1/0,8	-	0,1	0,1	0,3
$\pm U_{ВИХ}$, В	12	12	10	1	12	12	11
R_H , кОм	2	2	5/1	100	1	2	1
Зарубіжний аналог	-	LM 318	μA 776	-	LM 108	OP 07E	μA 747

Продовження таблиці А.1

Тип мікро-схеми	КР153 УД1	КР153 (К553) УД2	КР153 (К553) УД3	КР153 УД4	КР153 УД5	КР153 УД6	КР154 УД1
К, тис.	15	20	25	5	500	50	100
$\pm U_B$, В	9-18	5-18	9-18	3-9	5-16	5-18	4-18
I_B , мА	6	6	4	0,7	3,5	3	0,15
$\pm e_{cm}$, мВ	7,5	7,5	2	5	2	2	5
TKe_{cm} , $\frac{мкВ}{К}$	30	30	15	50	10	15	30
I_{BX} , нА	1500	1500	200	400	100	75	40
ΔI_{BX} , нА	500	500	50	150	20	10	20
$\pm U_{ДФ}$, В	5	30	5	2	5	30	10
$\pm U_{СФ}$, В	8	12	8	5	13	12	10
$M_{СФ}$, дБ	65	70	80	70	100	80	80
f_i , МГц	1	1	1	0,7	0,2	0,7	1
V , $\frac{В}{мкс}$	0,2	0,5	0,2	0,1	0,01	0,5	10
$\pm U_{ВИХ}$, В	10	10	10	4	10	10	11
R_H , кОм	2	2	2	5	2	2	2
Зарубіжний аналог	μA 709	LM 101	μA 709A	-	μA 725	LM 101A	HA 2700

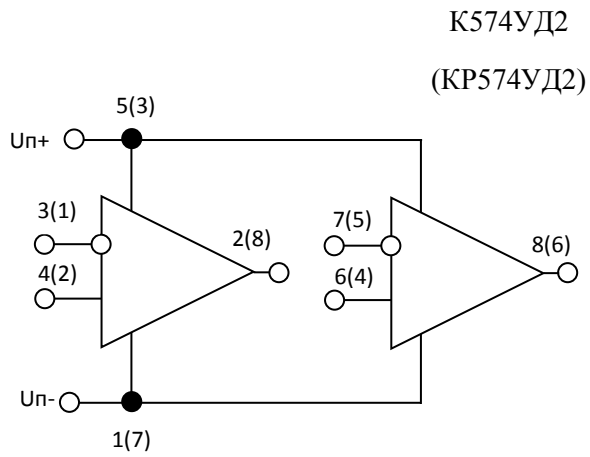
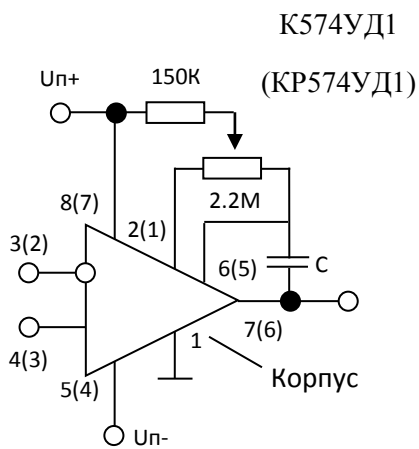
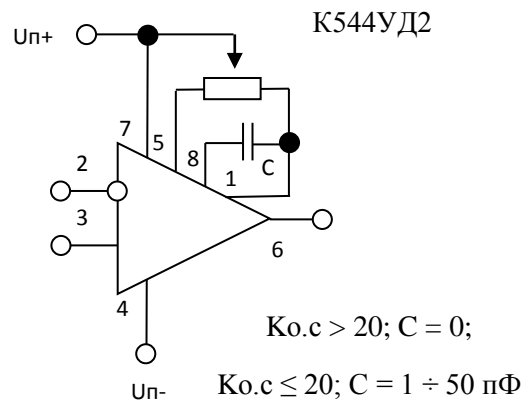
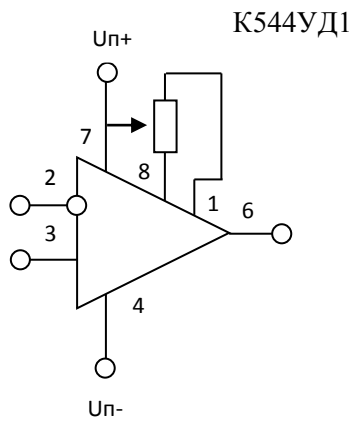
Продовження таблиці А.1

Тип мікро- схеми	КР154 УД2	КР154 УД3	КР154 УД4	КР157 УД1	КР157 УД2	КМ551 УД1	КР551 УД2
К, тис.	10	8	8	50	50	500	5
$\pm U_B$, В	13,5- 16,5	5-18	5-17	15	-	15	5-16,5
I_B , мА	6	7	7	9	7	5	10
$\pm e_{cm}$, мВ	2	10	6	5	10	2	5
$TKe_{cm}, \frac{мкВ}{К}$	20	30	50	-	-	10	20
I_{BX} , нА	100	200	1200	500	500	125	2000
ΔI_{BX} , нА	20	50	300	150	150	35	1000
$\pm U_{ДФ}$, В	10	10	-	-	-	5	5
$\pm U_{СФ}$, В	10	10	-	-	-	13	8
$M_{СФ}$, дБ	-	80	70	70	-	100	70
f_I , МГц	15	15	30	0,5	-	0,8	1
$V, \frac{В}{мкс}$	75	80	200	0,5	0,5	0,01	0,25
$\pm U_{ВИХ}$, В	10	10	10	12	13	10	10
R_H , кОм	2	2	-	0,02	0,3	2	2
Зарубіжний аналог	-	AD 509	HA 2520	-	-	μA 725	TBA 931

Продовження таблиці А.1

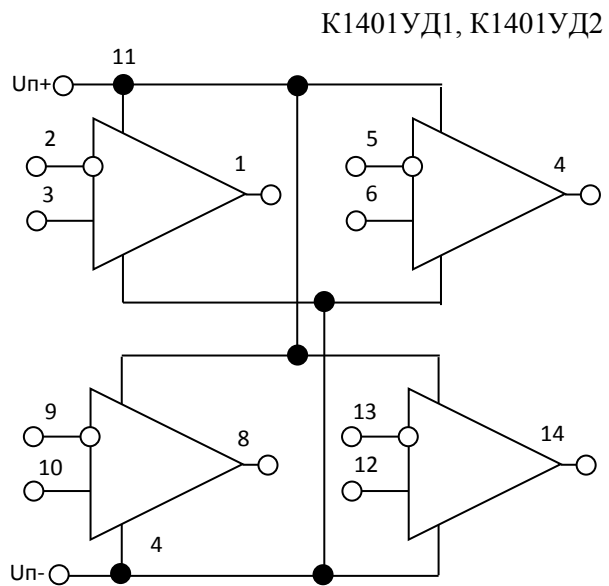
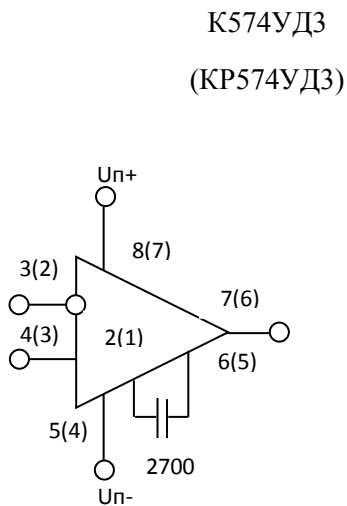
Тип мікро- схеми	КР544 УД1	КР544 УД2	КР574 (КР574) УД1	КР574 (КР574) УД2	КР574 (КР574) УД3	К1401 УД1	КР1401 УД2
К, тис.	30	20	50	25	20	2	25
$\pm U_B$, В	8-16,5	5-17	15	15	3-16,5	-	2-15
I_B , мА	3,5	7	8	10	7	8	3
$\pm e_{cm}$, мВ	50	50	50	50	5	5	5
$TKe_{cm}, \frac{мкВ}{К}$	50	50	50	-	-	30	30
I_{BX} , нА	0,5	0,5	0,5	1	0,5	150	150
ΔI_{BX} , нА	0,2	0,1	0,2	0,5	0,2	-	30
$\pm U_{ДФ}$, В	10	10	10	10	-	-	-
$\pm U_{СФ}$, В	10	10	30	-	-	-	-
$M_{СФ}$, дБ	70	70	80	60	-	-	70
f_I , МГц	1	15	10	2	5	2,5	1
$V, \frac{В}{мкс}$	2	20	50	10	30	0,5	0,5
$\pm U_{ВИХ}$, В	10	10	10	10	10	12	12
R_H , кОм	2	2	2	-	-	-	2
Зарубіжний аналог	μA 749	CA 3130	AD 513	TL 0837	-	-	-

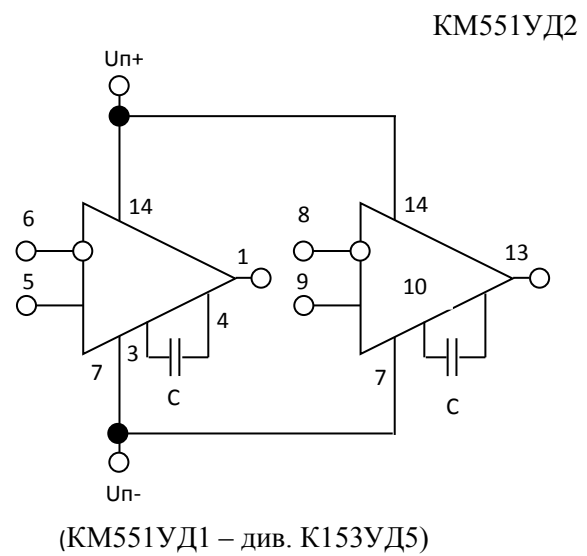
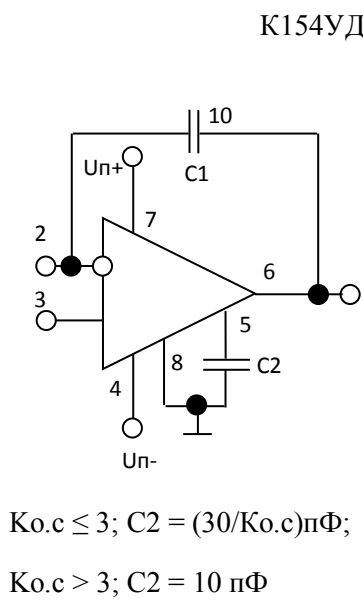
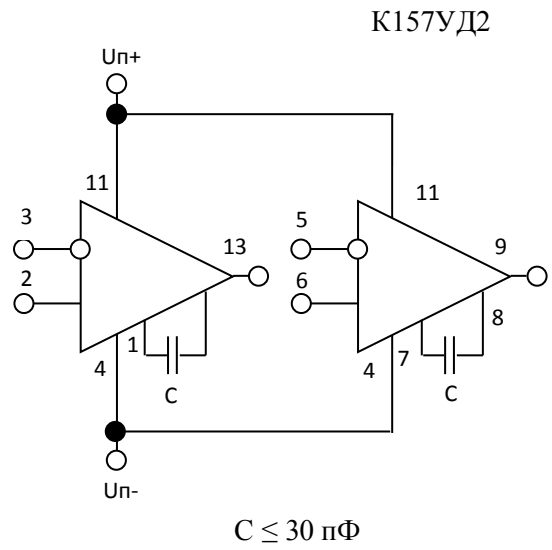
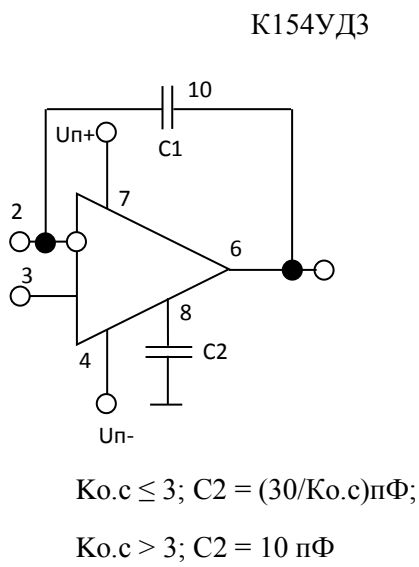
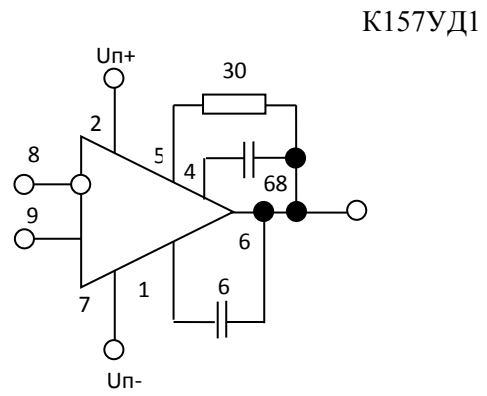
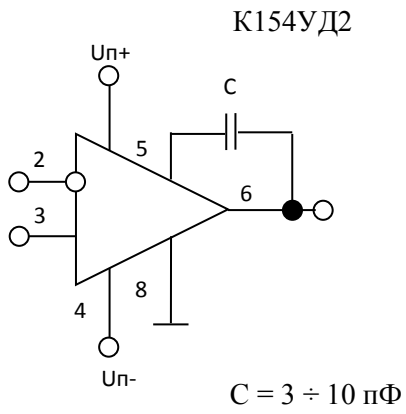
Додаток Б. Графічне зображення окремих вітчизняних ІМС

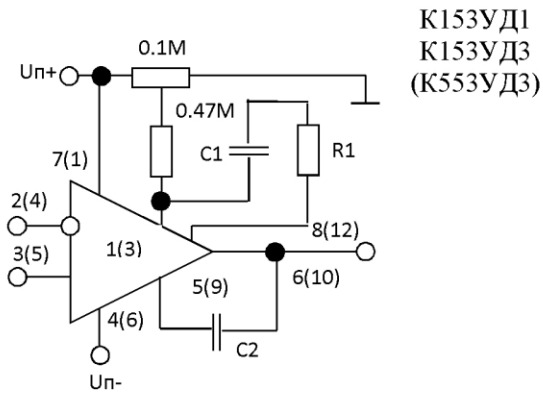


$K_{o.c} \leq 6; C \approx (30/K_{o.c}) \text{ пФ};$

$K_{o.c} > 6; C \approx 5 \text{ пФ}$

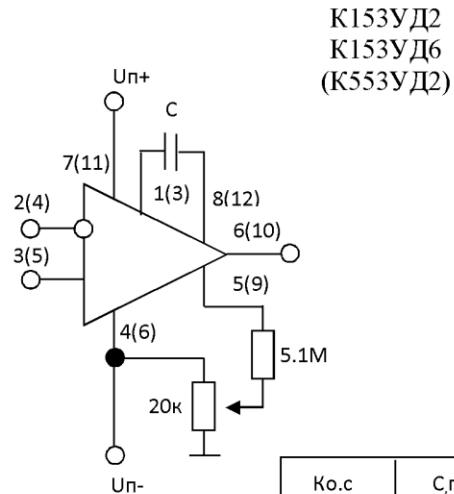






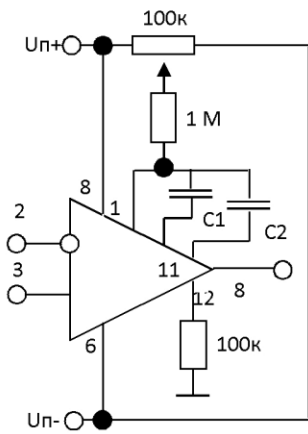
K153YD1
K153YD3
(K553YD3)

Ko.c	R ₁ , kOM	C ₁ , пФ	C ₂ , пФ
1	1,5	5,1	200
10	1,5	0,51	20
100	1,5	0,11	3
1000	0	0,01	3



K153YD2
K153YD6
(K553YD2)

Ko.c	C, пФ
1	30
10	5
100	3



K153YD4

$$10 \geq K_{o.c} \geq 1$$

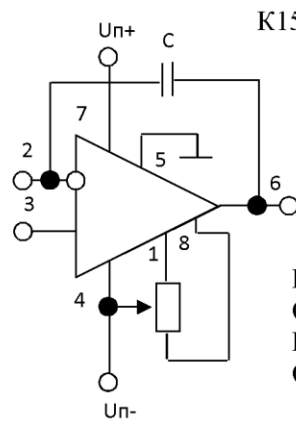
$$C_1 = (100/K_{o.c}) \text{ пФ}$$

$$C_2 = (50/K_{o.c}) \text{ пФ}$$

$$K_{o.c} \geq 10$$

$$C_1 = 15 \text{ пФ}$$

$$C_2 = 5.1 \text{ пФ}$$



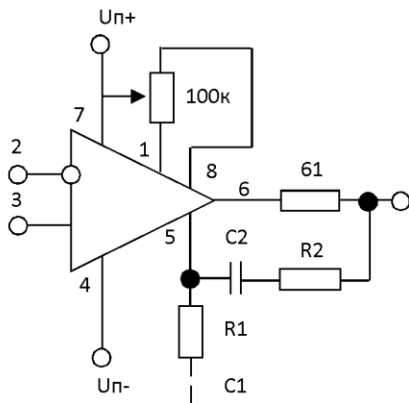
K154YD1

$$K_{o.c} \geq 3$$

$$C = 5.9 \text{ пФ}$$

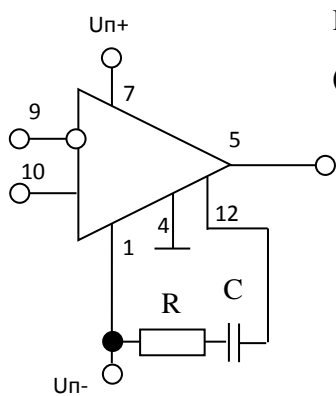
$$K_{o.c} > 3$$

$$C = 0$$

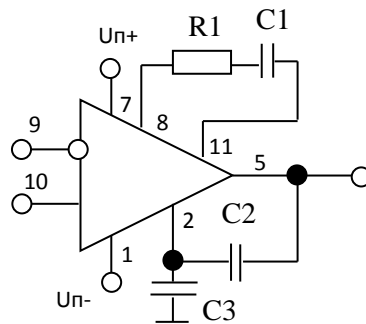


K153YD5
KM551Y

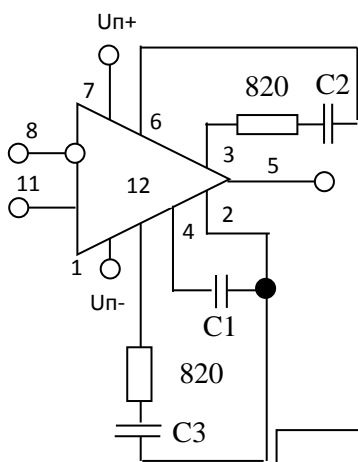
Ko.c	R ₁ , OM	C ₁ , нФ	R ₂ , OM	C ₂ , нФ
1	10	47	39	22
10	27	47	270	1.5
100	47	10	-	-
1000	470	1	-	-



K14YD1
(1YU401)

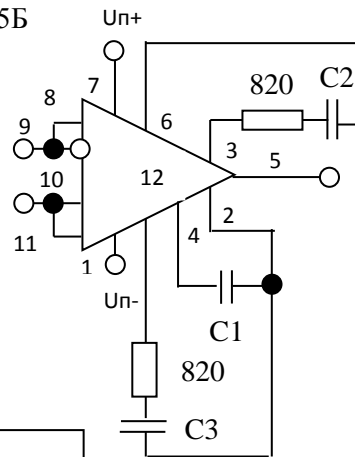


Ко.с	R,кОм	C,нФ	Ко.с	R ₁ ,Ом	C ₁ ,пФ	C ₂ , пФ	C ₃ ,пФ
1	0.02	10	1	470	15	2.2	15
10	0.2	1	10	470	6.8	1	15
100	2	0,1	100	470	6.8	0.47	6.8

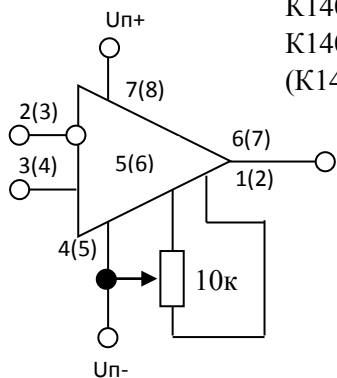


K140YD5A

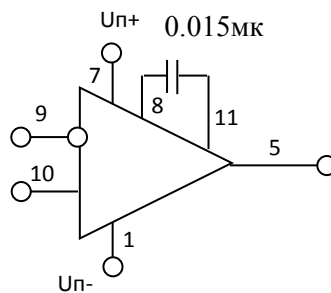
K140YD5B



Ко.с	K140YD5A(УД5Б)		
	C ₁ , пФ	C ₂ , пФ	C ₃ , пФ
1	51(15)	10(15)	10(13)
>10	0	0	430

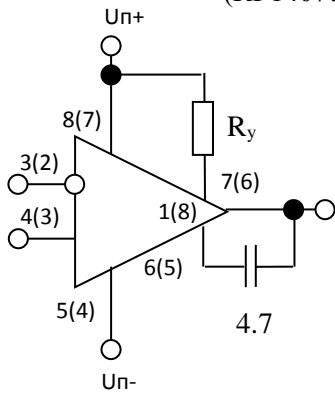


K140YDE
K140YD7
(K140YD8)



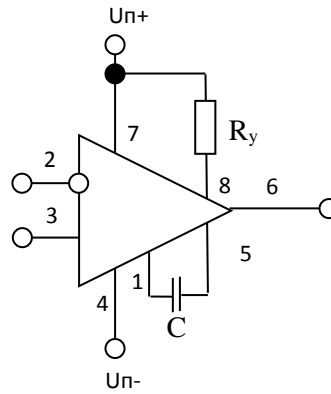
K140YD9

K1407УД1
(КР1407УД1)



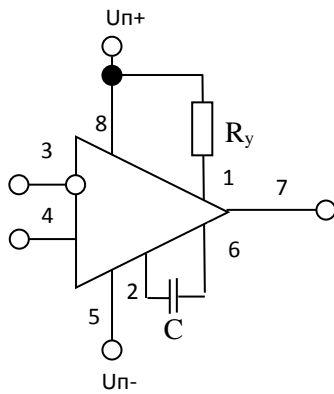
$R_y = 10 \div 33 \text{ кОм}$

K1407УД2



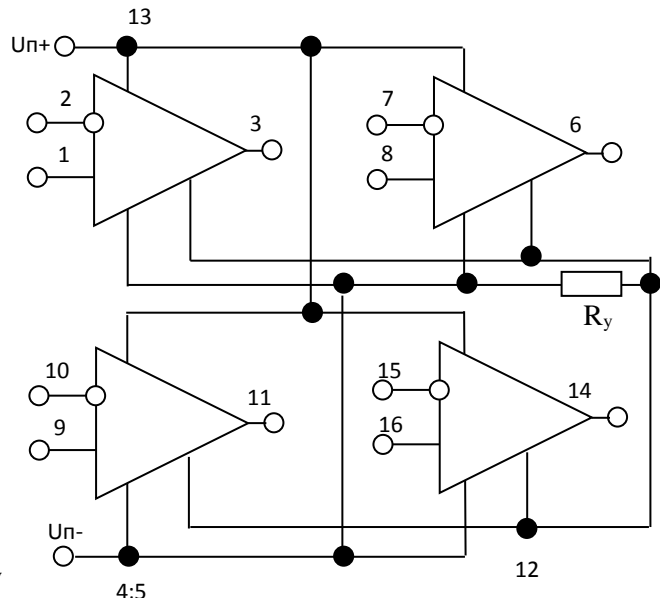
$I_y = 10^{-8} \div 10^{-3} \text{ А}; \quad R_y = (2U_{п} - 0.7 \text{ В})/I_y$

K1407УД3
КР1407УД3



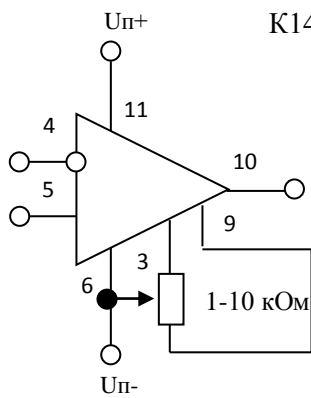
$I_y = 0.01 \div 0.15 \text{ мА}; \quad R_y = (2U_{п} - 0.7 \text{ В})/I_y$

КФ1407УД4



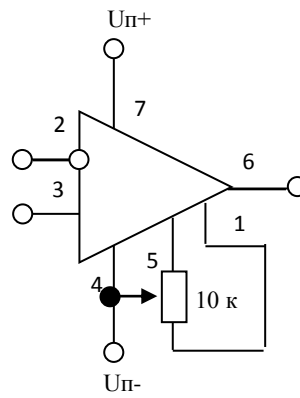
$I_y = 5 \div 100 \text{ мА}; \quad R_y = (2U_{п} - 1 \text{ В})/I_y$

K1408УД1



(K1408УД2- см. K140УД20)

K1409УД1



Додаток В. Додаткові варіанти для виконання завдань

Таблиця В.1 – Варіанти виконання завдання 2

t - 1		t									
X ₁	X ₂	Значення виходу для кожного варіанта									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	0	0	1	0	1	\bar{Q}_{t-1}	0	0	Q_{t-1}	Q_{t-1}	1
0	1	1	0	Q_{t-1}	0	0	1	0	1	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}
1	0	\bar{Q}_{t-1}	0	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	0	1	\bar{Q}_{t-1}	1	Q_{t-1}
1	1	0	\bar{Q}_{t-1}	0	0	0	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	0	1
t - 1		t									
X ₁	X ₂	Значення виходу для кожного варіанта									
		11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0	0	Q_{t-1}	0	1	Q_{t-1}	0	1	\bar{Q}_{t-1}	1	0	1
0	1	1	Q_{t-1}	0	0	0	Q_{t-1}	0	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}
1	0	0	0	\bar{Q}_{t-1}	1	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	Q_{t-1}	Q_{t-1}	0
1	1	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	1	0	0	0	\bar{Q}_{t-1}
t - 1		t									
X ₁	X ₂	Значення виходу для кожного варіанта									
		21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0	0	1	0	\bar{Q}_{t-1}	1	0	0	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}
0	1	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	0	1	0	0	0	1	Q_{t-1}
1	0	0	\bar{Q}_{t-1}	1	0	0	1	1	\bar{Q}_{t-1}	Q_{t-1}	0
1	1	0	0	0	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	\bar{Q}_{t-1}	0	1	0	0

Таблиця В.2 – Варіанти виконання завдання 1

Варіанти	R_H , кОм	P_H , Вт	K_{II}	R_{BX} , кОм	f_{BX} , Гц
1	0,45	0,55	300	0,4	400
2	0,1	0,62	400	0,43	400
3	0,48	0,25	500	0,7	400
4	0,43	0,7	250	0,4	400
5	0,45	0,41	30	0,8	400
6	0,41	0,55	350	0,2	400
7	0,47	0,35	400	0,6	400
8	0,41	0,65	450	0,3	400
9	0,44	0,61	500	0,7	400
10	0,45	0,45	550	0,8	400
11	0,48	0,45	400	0,5	400
12	0,45	0,61	450	0,4	400
13	0,49	0,38	350	0,9	400
14	0,43	0,51	600	0,1	400
15	0,53	0,42	650	0,5	400
16	0,43	0,51	500	0,2	400
17	0,5	0,35	550	0,9	400
18	0,32	0,45	450	0,5	400
19	0,45	0,52	620	0,3	400
20	0,28	0,28	700	0,5	400
21	0,44	0,48	550	0,3	400
22	0,32	1,6	450	0,4	400
23	0,52	0,33	350	0,2	400
24	0,52	0,52	600	0,9	400
25	0,47	0,44	750	0,6	400
26	0,52	0,47	450	0,3	400
27	0,41	0,88	250	0,1	400
28	0,55	0,45	700	0,7	400
29	0,3	1,1	300	0,32	400
30	0,25	0,9	400	0,28	400
31	0,42	0,74	500	0,35	400
32	0,15	0,55	450	0,5	400
33	0,38	0,48	550	0,45	400

Додаток Г. Приклад оформлення титульного аркуша

УКРАЇНСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ
Факультет інформаційно-керуючих систем та технологій
Кафедра транспортного зв'язку

**РОЗРОБЛЕННЯ АНАЛОГОВИХ І ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ
НА ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМАХ**

Пояснювальна записка та розрахунки до курсового проекту
з дисципліни «Комп'ютерна схемотехніка»

Виконав:

Студент _ курсу, групи _____
Освітньої програми

Переверів:

к.т.н.,

доцент _____

Національна шкала: _____

Кількість балів: _____

Оцінка ECTS: _____

Харків 20__

