

Міністерство освіти і науки України
Донбаська державна машинобудівна академія (ДДМА)

ЕЛЕКТРОНІКА ТА КОМП'ЮТЕРНА СХЕМОТЕХНІКА

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів денної форми навчання
спеціальності 123
«Комп'ютерна інженерія»**

Освітній рівень – бакалавр

Затверджено
на засіданні
методичної ради
Протокол №10
від 22.06.2020 р.

Краматорськ
ДДМА
2020

УДК 621.38. (075.8)

Електроніка та комп'ютерна схемотехніка : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (для студентів денної форми навчання спеціальності 123) / уклад.: С. П. Сус. – Краматорськ : ДДМА, 2020. – 47 с.

Містяться вказівки до виконання дев'яти лабораторних робіт, включаючи відомості з теорії, методику проведення експерименту та правила користування лабораторним обладнанням та приладами.

Укладач: С. П. Сус, доц.

Відп. за випуск Г. П. Клименко, проф.

ЗМІСТ

Вступ	4
Лабораторна робота 1. Дослідження перетворювачів аналогових сигналів.....	5
Лабораторна робота 2. Дослідження компараторів	9
Лабораторна робота 3. Дослідження генераторів імпульсів на транзисторах та логічних елементах.....	12
Лабораторна робота 4. Дослідження однофазних випрямлячів	15
Лабораторна робота 5. Дослідження безперервних стабілізаторів постійної напруги.....	20
Лабораторна робота 6. Дослідження комбінаційних цифрових схем.....	23
Лабораторна робота 7. Дослідження тригерів	27
Лабораторна робота 8. Дослідження лічильників та регістрів	31
Лабораторна робота 9. Дослідження аналого-дискретних перетворювачів.....	35
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	42
Додаток А. Правила роботи з універсальним лабораторним стендом	43
Додаток Б. Правила роботи з осцилографом С1-55.....	45

ВСТУП

Дані методичні вказівки складені відповідно до робочої програми курсу «Комп'ютерна схемотехніка», який викладається студентам спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія».

Мета лабораторних робіт – поглиблення знань студентів з курсу, який присвячений вивченню методики проектування різних електронних пристроїв.

Перед виконанням лабораторної роботи студент повинен вивчити теоретичний матеріал за відповідною темою, познайомитися з методикою проведення експерименту та приготувати бланк звіту. Звіт складається на окремих аркушах формату А4 або на подвійних аркушах у клітинку зі звичайного шкільного зошита. У звіті потрібно вказати номер та назву лабораторної роботи, групу, ім'я та прізвище автора, схеми дослідів, таблиці з результатами досліджень і розрахунків, осцилограми, графіки, характеристики. Закінчується звіт висновками. Захист звіту відбувається на лабораторних або на додаткових заняттях.

Ступінь готовності до виконання лабораторної роботи встановлюється викладачем на початку занять.

Усі лабораторні роботи виконуються на універсальних лабораторних стендах із застосуванням додаткових вимірювальних приладів. Крім того, будь-яка лабораторна робота може бути виконана шляхом моделювання на комп'ютері за допомогою пакетів Electronics Workbench або Proteus.

Оскільки обладнання і прилади живляться від напруги 220 В, необхідно суворо дотримуватися правил з техніки безпеки.

Категорично забороняється виконувати будь-які перемикання в апаратурі сусідніх стендів, довільне вмикання стендів та приладів, що не використовуються в роботі. Особи, які порушують дане правило, несуть матеріальну відповідальність за ремонт обладнання, що вийшло з ладу за їх виною.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

Дослідження перетворювачів аналогових сигналів

Мета роботи: вивчити принципи дії та експериментально дослідити схеми визначення модуля сигналу, пристрою вибірки-зберігання (ПВЗ) та пікового детектора (ПД).

1.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням дослідів необхідно вивчити роботу схем перетворення сигналів за літературою [3].

Схема визначення модуля сигналу наведена на рисунку 1.1.

Вказана схема складається з підсилювача (DA1) та активного випрямляча на DA2, який у залежності від полярності вхідного сигналу змінює знак коефіцієнта передачі підсилювача.

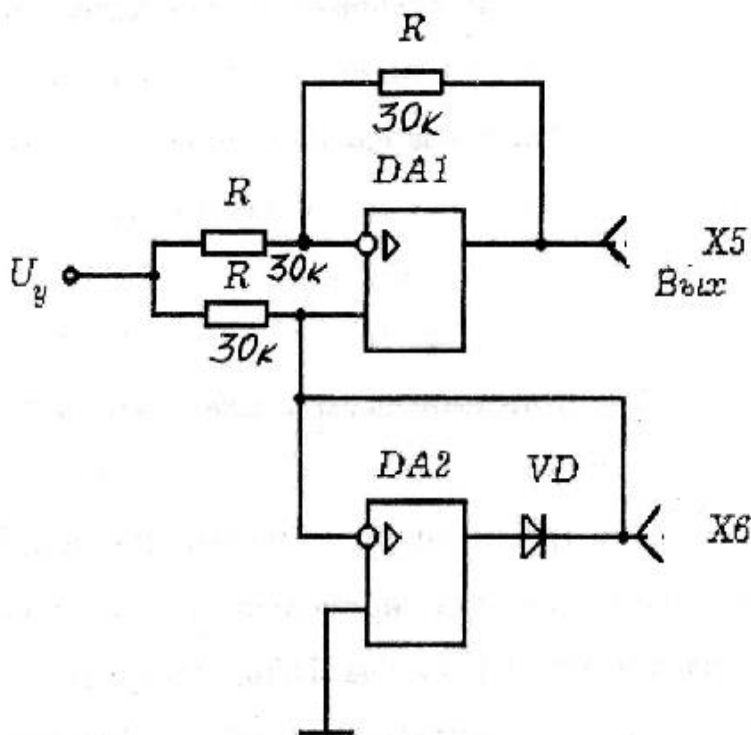


Рисунок 1.1 – Схема визначення модуля сигналу

Схема працює відповідно до алгоритму:

$$U_{вих} \begin{cases} K_U U_y & \text{при } U_y > 0; \\ -K_U U_y & \text{при } U_y < 0. \end{cases}$$

Якщо $U_y < 0$, то діод VD буде відкритим і з'єднає неінвертуючий вхід DA1 із загальною шиною через мале значення вихідного опору DA2, який працює в режимі повторювача напруги. DA1 при цьому має коефіцієнт передачі $K_u = -1$, тобто $U_{вих} = U_y$.

При $U_y > 0$ діод VD закритий і коефіцієнт передачі DA1 буде дорівнювати одиниці:

$$K_u = -1 + \left(1 + \frac{R}{R}\right) = 1,$$

тобто $U_{вих} = U_y$. Таким чином, вказана схема визначає модуль вхідного сигналу $U_{вих} = |U_y|$.

Схема пристрою вибірки-зберігання наведена на рисунку 1.2.

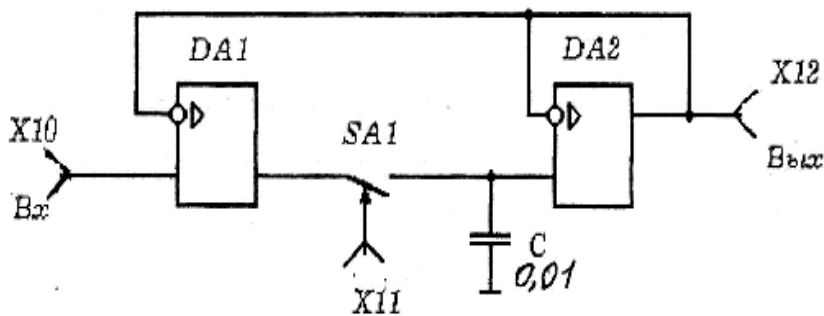


Рисунок 1.2 – Схема ПВЗ

При замиканні ключа SA1 підсилювачі DA1 та DA2 працюють як повторювачі напруги з високим вхідним та малим вихідним опором, при цьому $U_{вих} = U_{вх}$.

При розмиканні ключа SA1 $U_{вих}$ практично не змінюється до наступного замикання SA1.

Схема пікового детектора показана на рисунку 1.3.

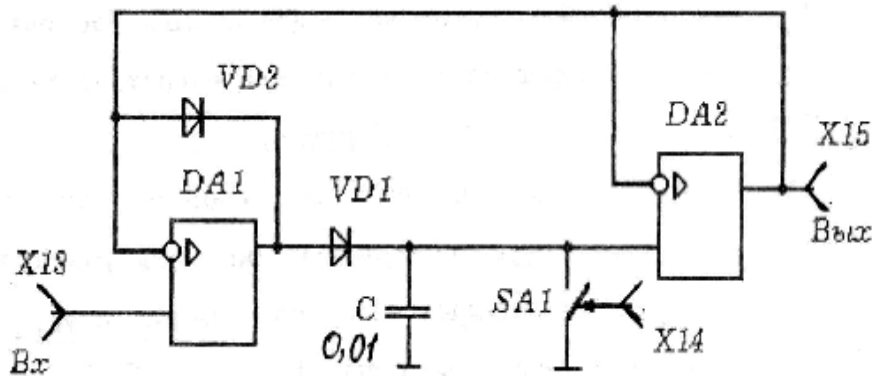


Рисунок 1.3 – Схема пікового детектора

Ця схема складається з двох каскадів на операційних підсилювачах DA1 та DA2, у яких забезпечується 100% зворотний зв'язок. Ключ SA1 призначений для розрядки конденсатора C перед черговим вимірюванням максимуму вхідного сигналу.

Наведені схеми відповідають схемам, зображеним на накладній панелі універсального стенда. Вимірювання напруги в контрольних точках здійснюється цифровим вольтметром або осцилографом. Номінали елементів показані на схемах.

1.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд відповідно до додатка А.
2. Провести дослідження схеми визначення модуля вхідного сигналу (див. рис. 4.1):

а) зняти в масштабі експериментальні передатні характеристики всієї схеми $U_{вих} = f(U_y)$ та “ідеального діода” $U_D = f(U_y)$. U_y змінюється ручкою “E1”, $U_{вих}$ вимірюється в контрольній точці X5, а U_D – у точці X6. Результати занести до таблиці 4.1;

Таблиця 1.1

$U_y, В$	- 4	- 2	- 0,7	- 0,3	+ 0,3	+ 0,7	+ 2	+ 4
$U_{вих}, В$								
$U_D, В$								

- б) побудувати в масштабі характеристики за п. 2,а.
3. Дослідити пристрій вибірки-зберігання (див. рис. 1.2):
 - а) визначити швидкість зміни вихідної напруги (точка X12) після закінчення вибірки, для цього з'єднати провідником гнізда X9 та X11, встановити ручкою “E1” $U_y = +2 В$ і за допомогою осцилографа проконтро-

лювати наявність імпульсів управління в контрольній точці X9. Після чого встановити сигнал $U_y = +4$ В і подати його провідником на вхід ПВЗ (X10), $U_{вих}$ контролювати в точці X12. Витягнути провідник з X11 і відрахувати 10 секунд. Визначити, наскільки зміниться вихідна напруга за 10 секунд і розрахувати швидкість її зміни;

б) повторити п. 3,а декілька разів для усереднення результатів експерименту;

в) розрахувати сумарний струм стікання $I_{с.т.}$, який визначає похибку зберігання сигналу, за виразом:

$$I_{с.т.} = \frac{\Delta U_{вих} C}{t_{зб}},$$

де $\Delta U_{вих}$ – усереднена зміна вихідної напруги за $t_{зб} = 10$ сек.

4. Дослідити піковий детектор (див. рис. 1.3):

а) визначити швидкість зміни вихідної напруги (точка X15) для пікового детектора та розрахувати сумарний струм стікання $I_{с.т.}$ за аналогією з пп. 3,а, 3,б та 3,в, з'єднавши перемичкою гнізда X9 та X14. U_y подавати на вхід пікового детектора (гніздо X13);

б) провести дослідження пікового детектора в динамічному режимі. Для цього з'єднати перемичками гнізда X7 з X13 та X9 з X14. Встановити $U_y = +(0,5...0,7)$ В та проконтролювати наявність імпульсів у точці X9. Накреслити в масштабі осцилографами сигналів на вході (X13) та виході (X15) пікового детектора та пояснити їх природу.

1.3 Зміст звіту

1. Схеми дослідів.
2. Результати вимірювань та розрахунки.
3. Осцилограми за п. 4,б.
4. Висновки з кожного пункту досліджень.

1.4 Контрольні питання

1. Робота схем, які досліджувалися.
2. Застосування пікових детекторів.
3. Розрахунок основних параметрів схеми вибірки-зберігання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Дослідження компараторів

Мета роботи – вивчити та дослідити роботу компараторів.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням роботи необхідно вивчити основні схеми та методику розрахунку пристроїв порівняння аналогових сигналів за літературою [1, 3].

Схема, яка досліджується, наведена на рисунку 2.1.

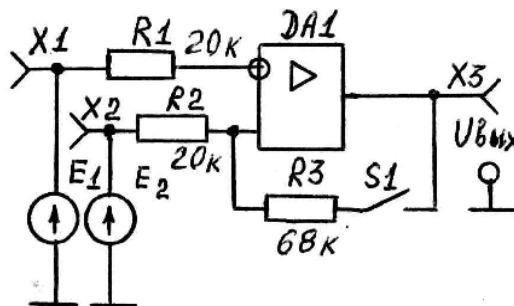


Рисунок 2.1 – Схема пристрою порівняння аналогових сигналів

На наведеній схемі операційний підсилювач DA1 працює в імпульсному (ключовому) режимі. Для цього режим $U_{вих}$ може набувати тільки двох значень – $U_{вих}^+$ та $U_{вих}^-$, причому

$$|U_{вих}^-| = U_{вих}^+ = U_{вих.макс}.$$

Якщо ключ $S1$ буде розімкнений, то для зміни вихідної напруги від $U_{вих}^-$ до $U_{вих}^+$ необхідно, щоб виконувалась умова:

$$(E2 - E1)K_{u0} > U_{вих.макс}, \quad (2.1)$$

де K_{u0} – коефіцієнт підсилення операційного підсилювача без зворотного зв'язку.

Для зміни вихідної напруги від $U_{вих}^+$ до $U_{вих}^-$ необхідно, щоб $(E1 - E2)K_{u0} > U_{вих.макс}$. Таким чином, вказана схема виконує роль пристрою порівняння напруги $E1$ та $E2$.

Якщо замкнути ключ $S1$, то в схемі з'явиться позитивний зворотний зв'язок за допомогою резистора $R3$ і схема буде виконувати роль тригера Шмідта. Коефіцієнт зворотного зв'язку

$$\beta_{3.3} = \frac{R_2}{R_2 + R_3}.$$

Якщо $\beta_{3.3} > \frac{1}{K_{u0}}$, то амплітудна характеристика схеми буде мати область неозначеності (має гістерезис). При цьому перехід від $U_{вих}^+$ до $U_{вих}^-$ і навпаки буде відбуватись при різній вихідній напрузі, яка називається напругою спрацювання $U_{сн.}$ та напругою відпускання $U_{від.}$. Вказані напруги визначаються за формулами:

$$U_{сн.} = E_2 + \frac{R_2}{R_2 + R_3} (U_{вих}^+ - E_2), \quad (2.2)$$

$$U_{від.} = E_2 + \frac{R_2}{R_2 + R_3} (U_{вих}^- - E_2). \quad (2.3)$$

Вимірювати вхідну та вихідну напруги необхідно за допомогою цифрового вольтметра.

2.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд у відповідності до додатка А (для роботи використовувати панель № 7).

2. Провести дослідження компаратора:

а) зняти та побудувати амплітудні характеристики компаратора $U_{вих} = f(E1)$ при фіксованих значеннях $E2$ (ключ $S1$ розімкнений). Регулювання $E1$ та $E2$ виконується відповідно ручками "E1" та "E2". Вимірювання напруги виконується на відповідних гніздах $X1, X2$ та $X3$. Встановити три фіксованих значення $E2$ (0, +1 та -2 В), для кожного з яких, повільно змінюючи $E1$ в обидва боки від фіксованого $E2$, визначити моменти переходу $U_{вих}$ з одного стану в інший. Отримані результати оформити в таблицю 2.1 та подати у вигляді графіків;

Таблиця 2.1

$E2, В$	0	+ 1	- 2
$E1, В$			
$U_{вих}, В$			

б) зняти та побудувати амплітудну характеристику компаратора $U_{вих} = f(E2)$ при фіксованих значеннях $E1$ аналогічно п. 2,а. Результати подати у вигляді графіків.

3. Виконати дослідження тригера Шмідта (ключ $S1$ замкнений):

а) для трьох значень $E2$ (0, +1 та -1В) зняти та побудувати амплітудні характеристики, за якими визначити $U_{сн.}$ та $U_{від.}$. Для отримання амплітудної характеристики необхідно встановити $E2$, а потім, повільно змінюючи $E1$, зафіксувати момент переходів $U_{вих}$ від $U_{вих}^-$ до $U_{вих}^+$ та навпаки. Результати звести до таблиці 2.2;

Таблиця 2.2

$E2, В$	0			+ 1			- 1		
$E1, В$		
$U_{вих}, В$		

б) аналітично розрахувати $U_{сн.}$ та $U_{від.}$ для трьох значень $E2$ (0, +1 та -1В) за формулами (2.2) та (2.3) та порівняти їх з експериментальними даними.

2.3 Зміст звіту

1. Схема пристрою порівняння сигналів.
2. Таблиці з результатами та графіки амплітудних характеристик.
3. Розрахунки за п. 3,б.
4. Висновки з кожного пункту досліджень.

2.4 Контрольні питання

1. Основні схеми пристроїв порівняння аналогових та цифрових сигналів.
2. Типи порогових пристроїв.
3. Схеми тригерів Шмідта на транзисторах та операційних підсилювачах.
4. Як експериментально визначити ширину гістерезису тригера Шмідта?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

Дослідження генераторів імпульсів на транзисторах та логічних елементах

Мета роботи – вивчити принципи дії та визначити основні параметри генераторів імпульсних сигналів.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням досліджень необхідно вивчити способи формування імпульсних сигналів прямокутної форми та схемотехніку генераторів імпульсів на транзисторах та логічних елементах за літературою [1, 3, 5].

Мультивібратором називається релаксаційний генератор імпульсів майже прямокутної форми, виконаний на підсилювальних каскадах із позитивним зворотним зв'язком.

На рисунку 3.1 подана схема мультивібратора на біполярних транзисторах.

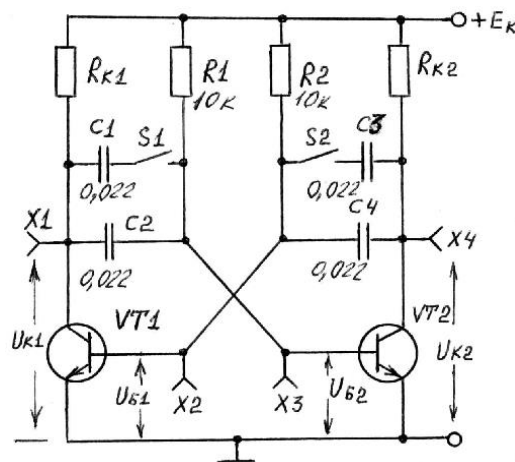


Рисунок 3.1 – Мультивібратор на біполярних транзисторах

Транзистори VT1 та VT2 працюють у ключовому режимі. Тривалість фронту імпульсу визначається часом зарядки конденсатора, тобто $t_{\phi} \approx \ln 10 R_k C$. Тривалість імпульсу визначається часом розрядки конденсатора, тобто $t_i = 0,705 RC$, якщо виконується умова $E_k \geq I_{к60} R$.

Оскільки $R_k > R$, то можна вважати, що імпульси будуть майже прямокутними, і тривалість t_i можна визначити за формулою:

$$t_i \approx 0,705 RC. \quad (3.1)$$

Тоді період повторення визначиться за формулою

$$T_i = 2t_i = 1,41 RC. \quad (3.2)$$

На рисунку 3.2 наведена схема мультивібратора на логічних елементах.

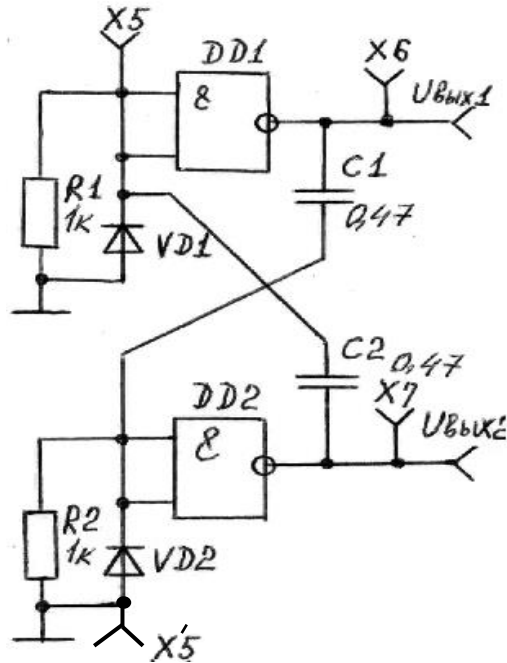


Рисунок 3.2 – Мультивібратор на логічних елементах

У цій схемі інвертори виконують роль підсилювальних каскадів. Для цієї схеми період T_i визначається за формулою (3.2).

На рисунку 3.3 наведена схема одновібратора на логічних елементах.

Одновібратор формує імпульс заданої тривалості, яка визначається за формулою (3.1).

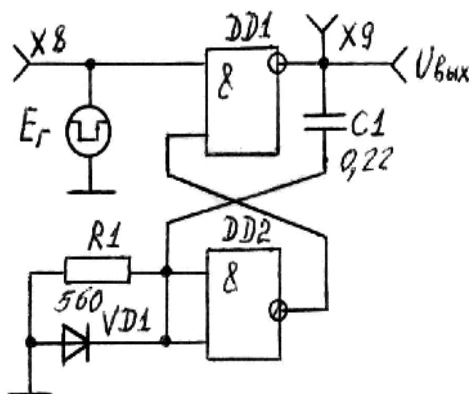


Рисунок 3.3 – Схема одновібратора

На рисунку 3.4 наведена схема генератора імпульсів на інверторах.

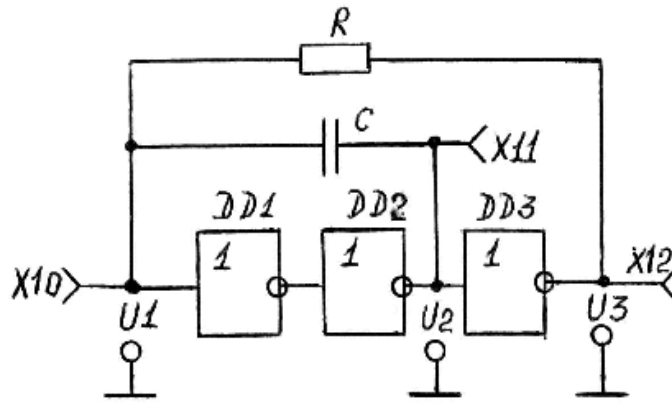


Рисунок 3.4 – Генератор імпульсів на інверторах

Генератор має позитивний зворотний зв'язок через конденсатор C та негативний зворотний зв'язок через резистор R .

При дослідженні всіх схем генераторів використовується осцилограф, який працює через комутатор сигналів (натиснути кнопки “У1–У4” та “Вкл.”). Номінальні значення елементів подані на схемах.

3.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд та осцилограф (додатки А і Б).

2. Виконати дослідження роботи мультівібратора на транзисторах (див. рис. 3.1):

а) з'єднати провідниками гнізда У1(І) з Х1, У2 з Х2, У3(ІІ) з Х4 та У4 з Х3. Використовуючи ручки стенда “У2”, “У3” та “У4”, розподілити на екрані осцилографа чотири часових діаграми;

б) намалювати в масштабі в загальних осях координат діаграми сигналів у точках Х1, Х2, Х3 та Х4 для симетричної схеми мультівібратора ($S1$ та $S2$ – увімкнені) та виміряти період T_i та амплітуду вихідних сигналів;

в) повторити п. 2,б при вимкнених $S1$ та $S2$;

г) повторити п. 2,б при $S1$ – увімкнений, а $S2$ – вимкнений. Виміряти тривалість імпульсів та період;

д) для кожного з пп. 2,б, 2,в та 2,г розрахувати період коливань за формулою (3.2).

3 Дослідити мультівібратор на логічних елементах (див. рис. 3.2):

а) зняти та намалювати в масштабі осцилограми сигналів в контрольних точках Х5, Х6 та Х7 за аналогією з п. 2,б, вимірявши період T_i ;

б) розрахувати період коливань за формулою (3.2) та порівняти його з виміряним.

4. Дослідити роботу одновібратора (див. рис. 3.3), для чого зняти осцилограми на вході (X8) і виході (X9) схеми за аналогією з п. 2,б та виміряти і розрахувати тривалість вихідного імпульсу t_i .

5. Дослідити роботу генератора імпульсів на інверторах (див. рис. 6.4), для чого зняти і накреслити в масштабі осцилограми в контрольних точках X10, X11 та X12 і виміряти параметри імпульсів.

Примітка. При моделюванні генераторів необхідно встановлювати номінали елементів, які вказані на відповідних схемах, а також брати реальні операційні підсилювачі.

3.3 Зміст звіту

1. Схеми генераторів.
2. Осцилограми дослідів за кожним генератором.
3. Розрахунки параметрів імпульсів.
4. Висновки з кожного пункту досліджень.

3.4 Контрольні питання

1. Робота мультивібратора на біполярних транзисторах.
2. Робота генераторів на логічних елементах.
3. Режими роботи генераторів імпульсів.
4. Вплив параметрів схеми на формування вихідних сигналів генераторів.
5. Методика розрахунку схем генераторів імпульсів.
6. Параметри імпульсних сигналів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Дослідження однофазних випрямлячів

Мета роботи – дослідити роботу однофазних нерегульованих та регульованих випрямлячів на різні види навантажень.

4.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням дослідів необхідно вивчити принцип роботи однофазних двонапівперіодних випрямлячів та методи регулювання вихідної постійної напруги за літературою [1, 2, 4, 5].

Схема нерегульовального випрямляча з середньою точкою наведена на рисунку 4.1.

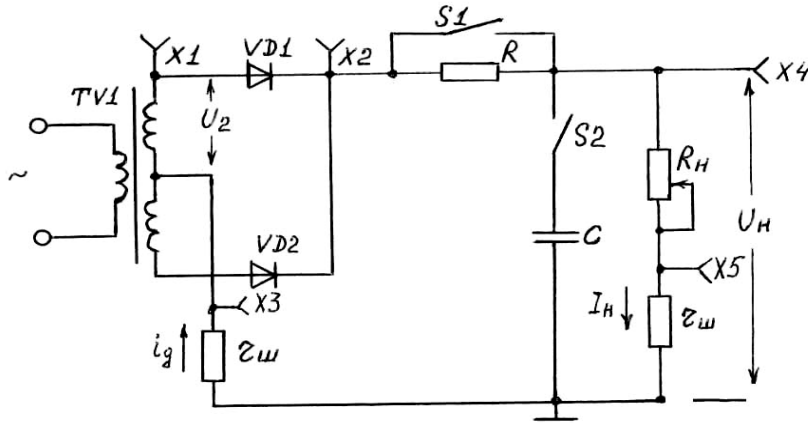


Рисунок 4.1 – Схема нерегульовального випрямляча

Середнє значення випрямленої напруги знаходиться за виразом:

$$U_{н.о} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_2(\omega t) d(\omega t). \quad (4.1)$$

Для випадку активного навантаження формула (4.1) набуде вигляду:

$$U_{н.о} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2U_{2m}}{\pi}. \quad (4.2)$$

Схема регульовального випрямляча показана на рисунку 4.2.

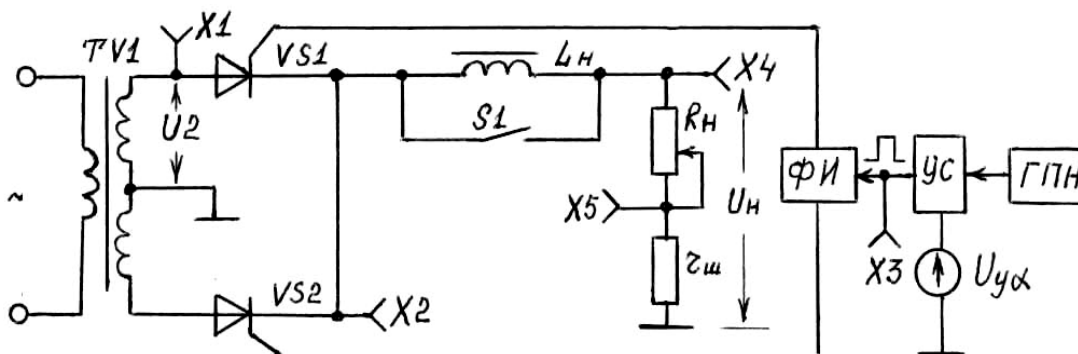


Рисунок 4.2 – Схема регульовального випрямляча

Для регулювального випрямляча середнє значення випрямленої напруги розраховується за формулою:

$$U_{н.о} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin(\omega t) d(\omega t) = U_{н.о} \frac{1 + \cos \alpha}{2}, \quad (4.3)$$

де α – кут управління.

Залежність $U_{н.о} = f(\alpha)$ називається регулюючою характеристикою.

Залежність $U_n = f(I_n)$ – зовнішньою характеристикою.

Система імпульсно-фазового управління (СІФУ), яка складається з генератора пилкоподібної напруги ГПН, вузла зрівняння УС, формувача імпульсів ФІ та джерела керуючої напруги $U_{y\alpha}$, дозволяє змінювати кут управління α від 0 до 180°. Імпульси управління можна спостерігати, приєднавши осцилограф до гнізда X3 (див. рис. 4.2).

4.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд та осцилограф (додатки А і Б).

2. Провести дослідження нерегулювального випрямляча (див. рис. 4.1):

а) зняти та побудувати зовнішні характеристики випрямляча для різних видів навантажень. U_n вимірювати в X4. Для вимірювання I_n необхідно виміряти напругу в X5 (на резисторі $r_{ш} = 1 \text{ Ом}$). I_n змінюється за допомогою “ R_n ”. Отриманні дані звести до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Параметри	Вид навантаження											
	Активне (S1 – увімкн., S2 – вимкн.)				З С-фільтром (S1 – увімкн., S2 – увімкн.)				З RC-фільтром (S1 – вимкн., S2 – увімкн.)			
$U_n, \text{ В}$												
$I_n, \text{ А}$												

б) при замкнених ключах S1 та S2 виміряти амплітудне значення струмів $I_{ом}$ та $I_{шт}$, приєднавши входи осцилографа до гнізд X3 та X5, та пояснити їх природу. Зобразити осцилограми струмів $i_o(t)$ та $i_n(t)$;

в) приєднати Y1(I) до X1, а Y3(II) до X4 і накреслити осцилограми напруги $u_2(t)$ та $u_n(t)$ при замкненому та розімкненому положеннях ключа S2. Ключ S1 повинен бути замкненим.

3. Провести дослідження регулювального випрямляча (див. рис. 4.2):

а) зняти та побудувати регулювальну характеристику (п. 4.1) при максимальному активному та активно-індуктивному навантаженнях, для чого ручку “ R_n ” поставити в крайнє праве положення. Кут управління α задається натисканням кнопки “кГц (α)”. $U_{n\alpha}$ вимірюється в контрольній точці X4. Дані занести до таблиці 4.2;

Таблиця 4.2

Вид навантаження		Кут управління $\alpha, ^\circ$						
		0	30	60	90	120	150	180
$U_{n\alpha}, \text{В}$	Активне (S1 замкнений)							
	Активно-індуктивне (S1 розімкнений)							

б) зняти та побудувати зовнішні характеристики (п. 4.1) для активного та активно-індуктивного навантажень для двох значень кута управління α за аналогією з п. 2,а. Дані звести до таблиці 4.3;

Таблиця 4.3

Вид навантаження	Кут управління $\alpha, ^\circ$			
	30		90	
	$U_n, \text{В}$	$I_n, \text{А}$	$U_n, \text{В}$	$I_n, \text{А}$
активне (S1 замкнений)				
активно-індуктивне (S1 розімкнений)				

в) встановити “ R_n ” в крайнє праве положення і зняти осцилограми в точках X1, X2, X3, X5 для активного та активно-індуктивного навантажень при $\alpha = 0, 90^\circ$ і 150° . Для цього вхід Y1(I) приєднати до гнізда X1 і засинхронізувати зображення сигналу $u_2(t)$, а вхід Y3(II) приєднувати по черзі до точок X5, X3, X2 та накреслити осцилограми в спільних осях координат, як показано на рис. 4.3 з дотриманням масштабу.

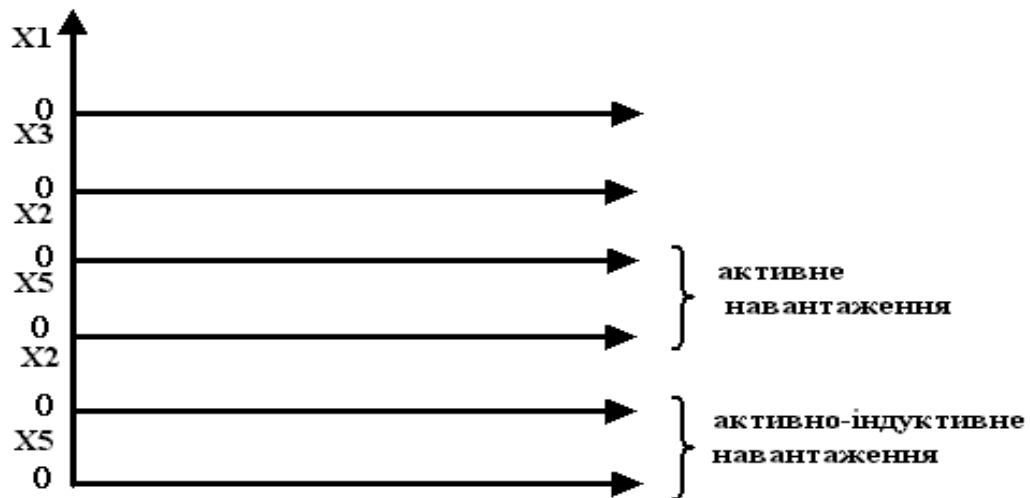


Рисунок 4.3 – Осцилограми в контрольних точках

Переконатися, що при зміні R_n можна досягти режиму переривистого струму.

Примітка. Якщо робота виконується шляхом моделювання на комп'ютері, то необхідно брати з меню реальні елементи.

Величини $L_d = 1$ Гн, а $R_n = 0...30$ Ом. Запуск тиристорів – від генератора прямокутних імпульсів.

4.3 Зміст звіту

1. Схеми випрямлячів.
2. Таблиці з результатами та графіки.
3. Осцилограми напруги та струмів у масштабі.
4. Висновки з кожного пункту досліджень.

4.4 Контрольні питання

1. Принцип дії однофазних випрямлячів.
2. Як розраховується напруга на навантаженні?
3. Що означає режим переривистого струму й як він досягається?
4. Як впливає величина R_n на режим роботи випрямлячів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5

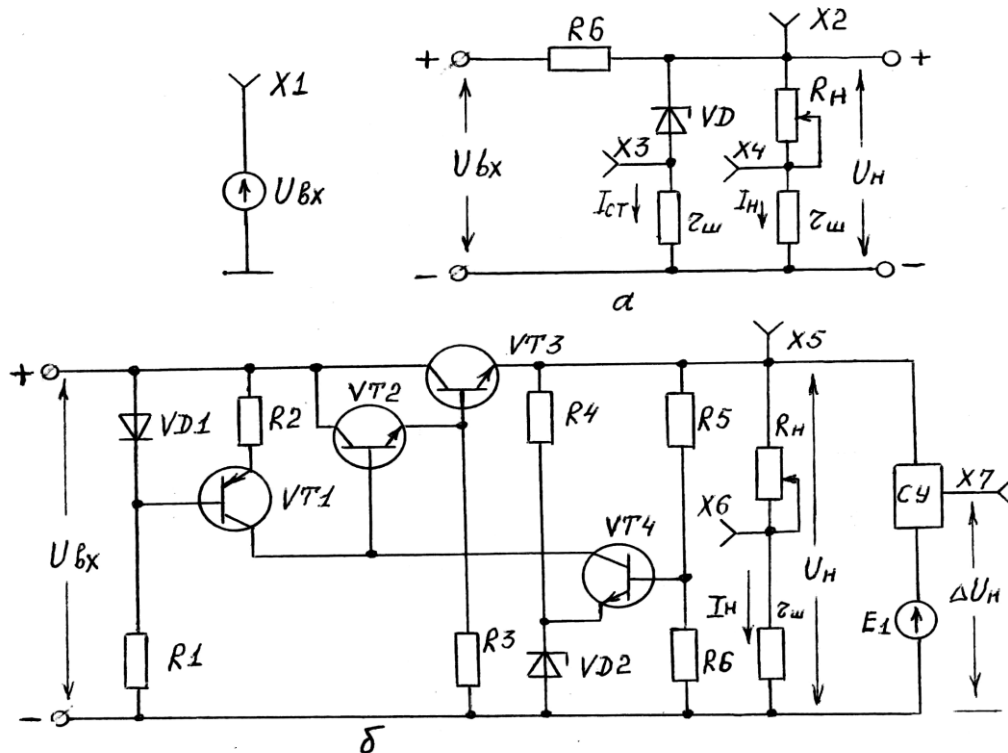
Дослідження безперервних стабілізаторів постійної напруги

Мета роботи – вивчити та дослідити роботу та основні характеристики параметричних та компенсаційних стабілізаторів постійної напруги.

5.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням дослідів необхідно вивчити принципи роботи та методику розрахунку параметричних та компенсаційних стабілізаторів за літературою [1, 2, 4].

Схеми параметричного та компенсаційного стабілізаторів наведені на рисунку 5.1



а – параметричний стабілізатор; б – компенсаційний стабілізатор

Рисунок 5.1 – Схеми стабілізаторів

Зовнішньою характеристикою стабілізатора є залежність $U_H = f(I_H)$. Величину I_H можна змінювати за допомогою R_H (див. рис. 5.1).

Коефіцієнт стабілізації визначають за виразом:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{\text{вх}} / U_{\text{вх}}}{\Delta U_{\text{н}} / U_{\text{н}}}, \quad (5.1)$$

де $U_{\text{вх}}$ та $U_{\text{н}}$ – постійна напруга відповідно на вході та виході стабілізатора;

$\Delta U_{\text{вх}}$ – зміна напруги $U_{\text{вх}}$;

$\Delta U_{\text{н}}$ – зміна напруги $U_{\text{н}}$, яка відповідає зміні напруги $\Delta U_{\text{вх}}$.

Вихідний опір стабілізатора визначається за формулою:

$$R_{\text{вих}} = \left| \frac{\Delta U_{\text{н}}}{\Delta I_{\text{н}}} \right|. \quad (5.2)$$

Вимірювання напруги здійснюється за допомогою цифрового вольтметра. Визначення всіх струмів виконується шляхом вимірювання напруги на резисторах $r_{\text{ш}} = 1$ Ом. При вимірюванні напруги $U_{\text{н}}$ для компенсаційного стабілізатора (див. рис. 5.1, б) необхідно використовувати компенсаційний метод, який дозволяє визнати незначне відхилення $\Delta U_{\text{н}}$. Вимірювання виконуються в такому порядку:

- встановити та зафіксувати мінімальний струм $I_{\text{н}}$ ручкою “ $R_{\text{н}}$ ”;
- виміряти та записати значення напруги $U_{\text{н}0}$ у точці X5;
- обернути ручку “E1”, досягти на виході СУ (точка X7) можливого мінімуму напруги $\Delta U_{\text{н}0}$ (не більше ± 50 мВ) та запам’ятати його;
- збільшуючи за допомогою ручки “ $R_{\text{н}}$ ” струм $I_{\text{н}}$, визначити відповідний приріст $\Delta U_{\text{н}}$ (контрольна точка X7), який дорівнює різниці між отриманим новим значенням $\Delta U'_{\text{н}}$ та раніше зафіксованим $\Delta U_{\text{н}}$, тобто:

$$\Delta U_{\text{н}} = \Delta U'_{\text{н}} - \Delta U_{\text{н}0}, \quad (5.3)$$

- розрахувати нове значення напруги $U_{\text{н}}$ з урахуванням знаку за виразом:

$$U_{\text{н}} = \Delta U_{\text{н}0} + \Delta U_{\text{н}}. \quad (5.4)$$

5.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд у відповідності до додатка А.
2. Провести дослідження параметричного стабілізатора (див. рис. 5.1, а):

а) зняти та побудувати зовнішню характеристику $U_n = f(I_n)$ при постійній вхідній напрузі $U_{ex} = 14\text{В}$ (точка Х1). Струм навантаження I_n змінювати від мінімального до максимального значень ручкою “ R_n ”, а вхідна напруга встановлюється ручкою “ U_{ex} ”. Одночасно фіксувати значення струму через стабілітрон I_{ct} . Отримані результати звести до таблиці 5.1;

Таблиця 5.1

$U_{ex}, \text{В}$	14		
$U_n, \text{В}$		...
$I_n, \text{мА}$		...
$I_{ct}, \text{мА}$		...

б) зняти та побудувати залежність $U_n = f(U_{ex})$ при струмі навантаження $I_n = 7 \text{ мА}$, змінюючи вхідну напругу від мінімуму до 16 В ручкою “ U_{ex} ”. Отримані дані звести до таблиці 5.2;

Таблиця 9.2

$U_{ex}, \text{В}$		...	16
$U_n, \text{В}$		...

в) за отриманими результатами визначити вихідний опір $R_{вих}$ та коефіцієнт стабілізації K_{ct} відповідно за формулами (5.1) та (5.2).

3. Провести дослідження компенсаційного стабілізатора (див. рис. 5.1, б):

а) зняти та побудувати зовнішню характеристику $U_n = f(I_n)$ за аналогією з п. 2,а. При зміні I_n необхідно підтримувати незмінним $U_{ex} = 14 \text{ В}$.

Для вимірювання напруги U_n використовується компенсаційний метод, а U_n визначається за формулою (5.4). Отримані дані звести до таблиці 5.3;

Таблиця 5.3

$U_{ex}, \text{В}$	14		
$I_n, \text{мА}$		...
$\Delta U_n = \Delta U_n' + \Delta U_{n0}, \text{В}$		...
$U_n = \Delta U_{n0} + \Delta U_n, \text{В}$		...

б) зняти та побудувати залежність $U_n = f(U_{ex})$ при струмі навантаження $I_n \approx 60\text{мА}$, змінюючи вихідну напругу від мінімального значення до 16 В

ручкою “ U_{ex} ”. При вимірюванні U_n необхідно користуватися компенсаційним методом. Отримані результати необхідно звести до таблиці 5.4;

Таблиця 5.4

U_{ex} , В		...	16
ΔU_n , В		...	
U_n , В		...	

в) за отриманими результатами визначити вихідний опір $R_{вих}$ та коефіцієнт стабілізації $K_{ст}$ відповідно за формулами (5.1 та 5.2).

Примітка. Якщо робота виконується шляхом моделювання на комп'ютері, то необхідно брати з меню реальні діоди та транзистори, а опори всіх резисторів завчасно розрахувати для обраних типів напівпровідникових приладів.

5.3 Зміст звіту

1. Схеми стабілізаторів.
2. Таблиці з результатами та графіки.
3. Розрахунки за пп. 2,в та 3,в.
4. Висновки з кожного пункту досліджень.

5.4 Контрольні питання

1. Розрахунок параметричних стабілізаторів.
2. Принцип роботи компенсаційних стабілізаторів.
3. Як експериментально визначити вихідний опір стабілізаторів та коефіцієнт стабілізації?
4. Як впливає величина R_n на коефіцієнт стабілізації?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 6

Дослідження комбінаційних цифрових схем

Мета роботи – дослідити роботу логічних елементів, дешифраторів та мультиплексорів.

6.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням роботи вивчити принцип дії та характеристики логічних елементів за літературою [1–3], а також способи побудови комбінаційних схем.

Передатною (амплітудною) характеристикою логічного елемента називається залежність $U_{вих} = \varphi(U_{вх})$.

У сталому режимі на виході логічного елемента формується напруга лог. “0” ($U_{вих}^0$), або лог. “1” ($U_{вих}^1$).

Пороговими називаються значення вхідної напруги ($U_{пор}^1$ та $U_{пор}^0$), при яких логічний елемент переходить із одного стану в інший.

Завадостійкість логічного елемента визначається за формулами:

$$\begin{aligned} U_n^+ &= U_{пор}^0 - U_{вих}^0; \\ U_n^- &= U_{вих}^1 - U_{пор}^1. \end{aligned} \tag{6.1}$$

До комбінаційних схем відносяться дешифратор та мультиплексор. Дешифратор має n входів та $2n$ виходів. Інформація на кожному виході з’являється тільки при відповідному коді на входах.

Мультиплексор є комутатором вхідних сигналів. У залежності від коду на адресних входах відповідний інформаційний вхід з’єднується з виходом. Мультиплексор може використовуватись як перетворювач паралельного коду в послідовний.

Для проведення дослідів застосовується набір елементів, схема розташування яких на накладній панелі універсального стенда наведена на рисунку 6.1.

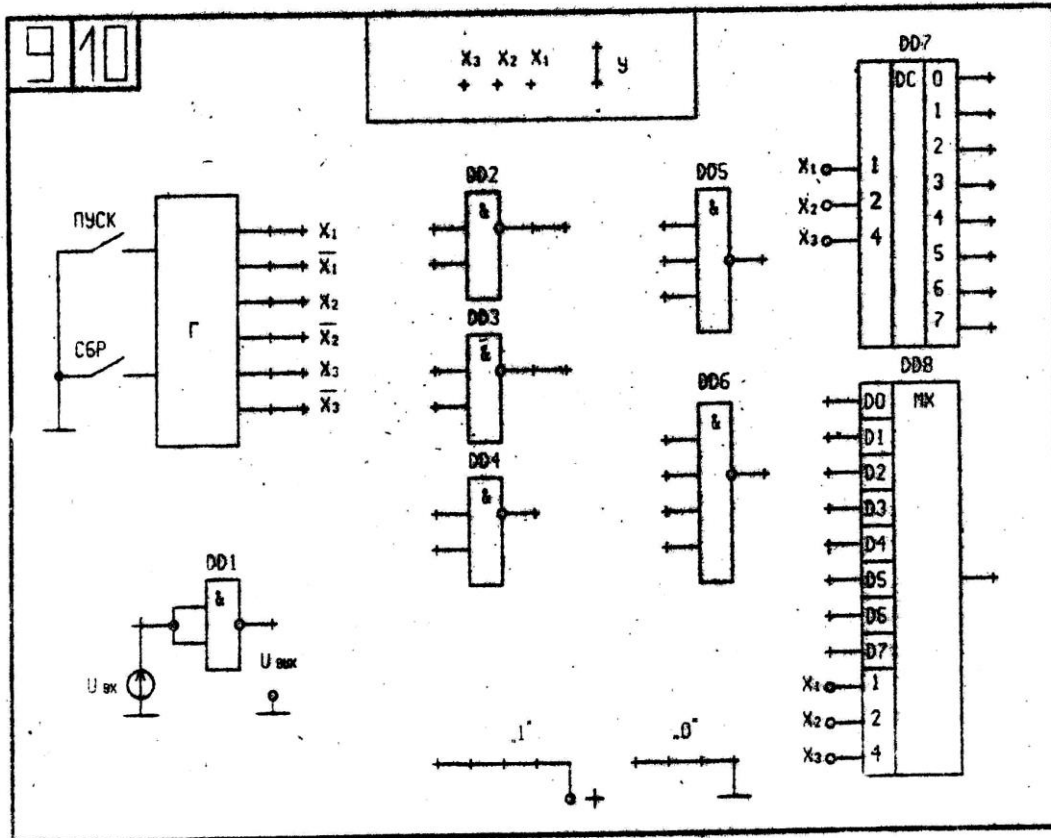


Рисунок 6.1 – Схема розташування елементів

Джерелом логічних сигналів $X_1, \overline{X_1}, X_2, \overline{X_2}, X_3$ та $\overline{X_3}$ є генератор Г, який управляється за допомогою кнопок “ПУСК” і “СБР.”, розташованих на панелі управління. Якщо натиснути кнопку “СБР.”, то X_1, X_2 та X_3 набудуть значення лог.”0”. При натисканні на кнопку “ПУСК” відбувається почергова зміна сигналів X_1, X_2, X_3 , індикація стану яких виконується за допомогою світлодіодів “ X_3, X_2, X_1 ” (лог.”1” відповідає горінню світла діода). Гніздо “Y” зі світлодіодним індикатором служить для фіксації стану виходу мікросхем, а гнізда “1” і “0” – для подання на входи мікросхем логічних сигналів.

Регулювання величини U_{ex} (DD1) виконується за допомогою ручки “ U_{ex} ”.

Елемент DD1 використовується для зняття передаточної характеристики, інші елементи – для реалізації комбінаційних схем.

6.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд та осцилограф (додатки А і Б).

2. Виконати дослідження логічного елемента:

а) зняти передаточну характеристику елемента DD1 (див. рис. 6.1).

При вимірюваннях зафіксувати 2-3 значення вихідної напруги при переході від $(U_{вих}^1)$ до $(U_{вих}^0)$. Вимірювання вхідної $(U_{вх})$ та вихідної $(U_{вих})$ напруги слід виконувати за допомогою цифрового вольтметра, приєднуючи його вхід (гніздо “U”) по черзі до входу та виходу DD1. Допускається вимірювати напругу за допомогою осцилографа. Отримані результати звести до таблиці 6.1;

Таблиця 6.1

$U_{вх}, В$	0,4	...	3,5
$U_{вих}, В$		...

б) за результатами таблиці 6.1 побудувати передаточну характеристику, за якою визначити параметри логічного елемента: $U_{вих}^1, U_{вих}^0, U_{пор}^1, U_{пор}^0, U_n^+, U_n^-$, (п. 6.1);

в) дослідити роботу елемента DD5 (див. рис. 6.1) у відповідності до таблиці стану, для чого на входи DD5 за допомогою провідників подати з генератора Γ сигнали $X1, X2, X3$, а вихід DD5 приєднати до гнізда “Y” для індикації. Натиснути кнопку “СБР.”, а потім, натиснути на кнопку “ПУСК”, фіксувати значення $X1, X2, X3$ та Y за допомогою світлодіодних індикаторів. Отримані результати занести до таблиці 6.2;

Таблиця 6.2

X1	0	1	0	1	0	1	0	1
X2	0	0	1	1	0	0	1	1
X3	0	0	0	0	1	1	1	1
Y								

г) скласти таблицю стану та реалізувати логічну функцію для трьох змінних, яка задається викладачем. Для реалізації такої функції застосовуються виходи $X1, X2, X3$ генератора Γ та логічні елементи (див. рис. 6.1). Перевірити роботу схеми у відповідності до складеної таблиці стану за аналогією з п. 2,в.

3. Дослідити роботу дешифратора DD7 (див. рис. 6.1), для чого за допомогою провідника приєднувати по черзі до індикатора “Y” усі виходи дешифратора, натискаючи кожного разу на кнопку “ПУСК” та фіксувати стан входів $X1, X2, X3$ та всіх виходів 0-7. Скласти за результатами таблицю роботи дешифратора.

4. Дослідити роботу мультиплексора DD8 (рис. 6.1), для чого входи D0, D2, D4 і D6 приєднати до гнізд “0”, а вихід – до “Y” і, натискаючи кнопку “ПУСК”, визначити стан $X1, X2, X3$, коли на виході мультиплек-

сора будуть з'являтися лог.“0”. Скласти таблицю, до якої звести отримані результати.

5. Дослідити роботу мультиплексора як перетворювача кодів, для чого за завданням викладача подати на входи D0-D7 8-розрядний двійковий код, використовуючи гнізда “1” та ”0”. Натиснути кнопку “СБР.”. Натискаючи кнопку “ПУСК”, фіксувати появу на виході мультиплексора послідовного коду. Побудувати часові діаграми роботи перетворювача за тактами.

Примітка. При моделюванні дослідів на комп'ютері логічні елементи обираються з меню Logic Gates, а дешифратор та мультиплексор – із меню Digital ICs.

6.3 Зміст звіту

1. Схеми досліджень.
2. Таблиці та характеристики згідно з пунктами досліджень.
3. Висновки з кожного пункту досліджень.

6.4 Контрольні питання

1. Принцип дії логічних елементів.
2. Побудова комбінаційних схем.
3. Робота дешифраторів та мультиплексорів.
4. Синтез комбінаційних схем.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7 **Дослідження тригерів**

Мета роботи – вивчити та дослідити роботу різних тригерів.

7.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням дослідів необхідно ознайомитись зі схемами тригерів та принципом їх роботи з літератури [1–3]. Тригером називається пристрій, який може запам'ятовувати двійкову інформацію, тобто має два види стійкого стану. При дії вхідних імпульсів тригер може змінювати свій стан.

Сучасні тригери випускаються у вигляді інтегральних схем, а також можуть бути побудовані на окремих логічних елементах. Назву тригера визначає кількість інформаційних входів, а також їх призначення. Між інформаційними входами тригера є конкретний логічний зв'язок, який задається таблицею переходів.

RS-тригери часто будуються на двох однотипних логічних елементах (рис. 7.1).

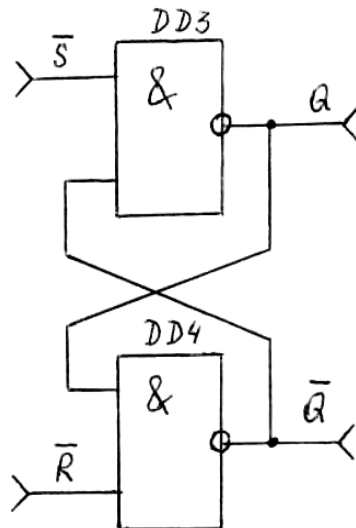


Рисунок 7.1 – Схема RS-тригера

“0” на вході \bar{R} встановлює на вході Q логічний нуль (див. рис. 7.1). Такий тригер є асинхронним. Більш складні тригери виготовляються у вигляді окремих мікросхем.

Запуск тригерів від генератора імпульсів $ГИ$ виконується за допомогою кнопки “АВТ” (див. рис. 7.2), а одноразовий запуск – кнопкою “ПУСК”. Вказані кнопки розміщені на панелі управління стенда.

Для фіксацій вихідних сигналів використовується гніздо “ Q ”, до якого провідником приєднується відповідний вихід. Інформація на входах задається від гнізд “1” та “0” (див. рис. 7.2).

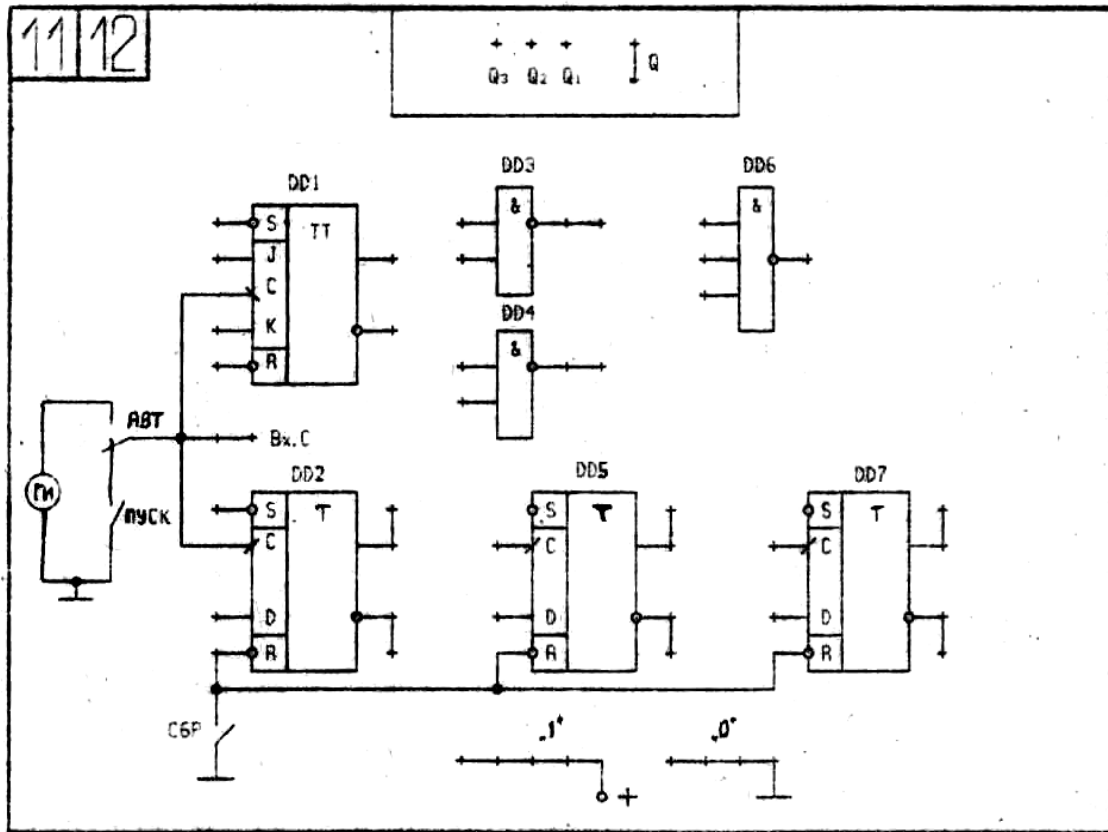


Рисунок 7.2 – Схема розташування елементів

Для проведення дослідів застосовуються елементи, схема розташування яких на накладній панелі універсального стенда показана на рис. 7.2.

7.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд та осцилограф (додатки А і Б).
2. Виконати дослідження RS-тригера, для чого зібрати схему (див. рис. 7.1) та скласти таблицю переходів, подаючи за допомогою провідників на входи \bar{R} і \bar{S} сигнали з гнізд “1” та “0”. Результати зафіксувати в таблиці 7.1, підключаючи виходи Q та \bar{Q} до гнізда “Q”.

Таблиця 7.1

\bar{R}	\bar{S}	Q	\bar{Q}
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

3. Дослідити D-тригер (DD2) та скласти таблицю переходів, для чого на входи D , \bar{R} та \bar{S} подавати сигнали “1” та “0” і, натискаючи кнопку “ПУСК”, фіксувати стан виходів. Результати занести до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2

\bar{S}	\bar{R}	D	C	Q	\bar{Q}
1	1	1	1		
1	1	1	0		
1	1	0	1		
1	1	0	0		
0	0	1	1		
0	0	1	0		
0	0	0	1		
0	0	0	0		
0	1	1	1		
0	1	1	0		
0	1	0	1		
0	1	0	0		
1	0	1	1		
1	0	1	0		
1	0	0	1		
1	0	0	0		

4. Дослідити JK-тригер (DD1 на рис. 7.1) та скласти таблицю переходів. Результати занести до таблиці 7.3.

Таблиця 7.3

C	J	K	Q	\bar{Q}
1	1	1		
0	1	1		
1	1	0		
0	1	0		
1	0	1		
0	0	1		
1	0	0		
0	0	0		

5. Дослідити роботу T-тригера на основі D-тригера (DD2 на рис. 7.2), для чого з'єднати провідником вихід \bar{Q} із входом D і, натискаючи кнопку “ПУСК”, зафіксувати декілька змін на виході Q .

Приєднати канали осцилографа на вхід C та вихід Q , натиснути кнопку “АВТ.” і зняти та накреслити форму сигналу на вході та виході тригера в загальній системі координат, вказавши тривалість імпульсів та їх період.

6. Зібрати та реалізувати Т-тригер на базі JK-тригера (DD1 на рис. 7.2), для чого встановити $J = K = 1$ та повторити п. 5.

Примітка. При дослідженні тригерів на комп'ютері необхідно виконати п. 2–6, узявши з меню *Logic Gates* та *Digital ICs* відповідні цифрові елементи, а з меню *Indicators* – індикатори для встановлення наявності логічної інформації.

7.3 Зміст звіту

1. Схема RS-тригера на логічних елементах і таблиця його стану.
2. Умовне зображення D-, JK- та Т-тригерів з отриманими таблицями стану.
3. Осцилограми при виконанні пп. 5 та 6.
4. Висновки з кожного пункту досліджень.

7.4 Контрольні питання

1. Принцип дії RS-, D-, JK- та Т-тригерів.
2. Методика складання таблиць станів.
3. Побудова RS-, D-, та Т-тригерів на логічних елементах.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

Дослідження лічильників та регістрів

Мета роботи – вивчити та дослідити роботу підсумовуючих, віднімаючих, кільцевих лічильників і зсувних регістрів.

8.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням роботи потрібно вивчити за літературою [1–3] принципи побудови лічильників і регістрів різних видів.

Усі лічильники можуть бути побудовані на Т-тригерах. Кількість тригерів n визначає коефіцієнт рахунку $K = 2^n$. Перший тригер, на який подається вхідний сигнал, відповідає молодшому розряду Q_1 . Кожний тригер ділить частоту вхідного сигналу на 2.

Максимальне число N , до якого рахують лічильники, визначається за формулою:

$$N = 2^n - 1. \quad (8.1)$$

Недвійкові лічильники мають $K \neq 2^n$. Для побудови таких лічильників використовуються логічні схеми обмеження рахунку.

Регістри використовуються для фіксації та перетворення двійкової інформації. Зсувні реєстри будуються шляхом послідовного з'єднання тригерів та використовуються для перетворення послідовного коду в паралельний.

Двійковий підсумовуючий лічильник будується на основі D-тригерів і його схема показана на рисунку 8.1.

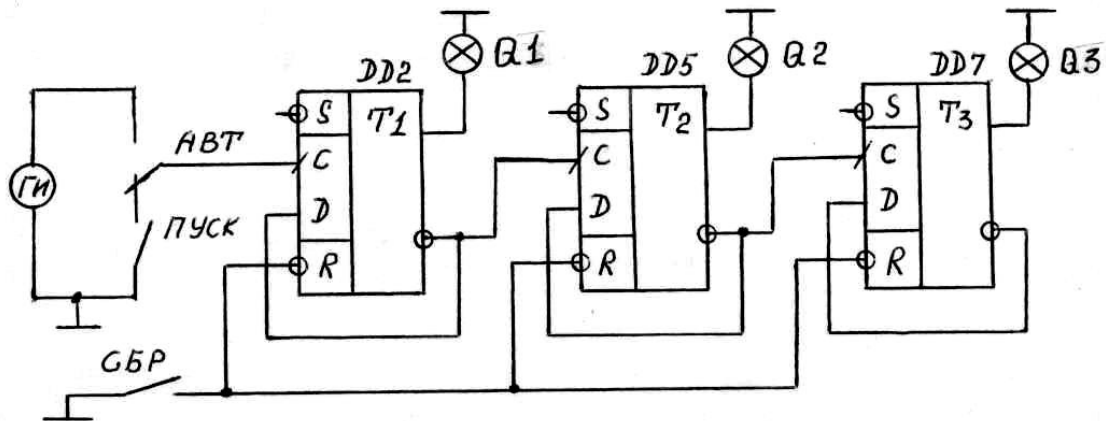


Рисунок 8.1 – Схема підсумовуючого двійкового лічильника

Схема двійкового лічильника, що віднімає, показана на рис. 8.2.

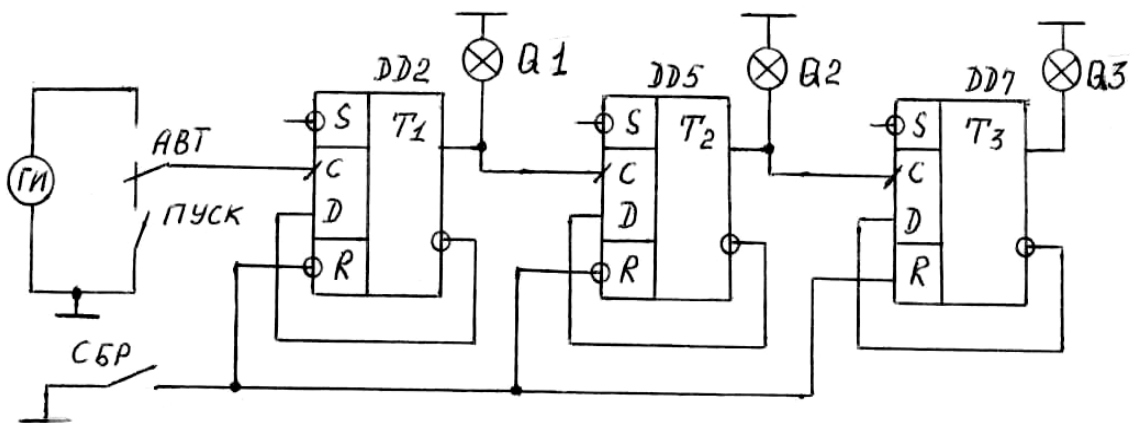


Рисунок 8.2 – Схема двійкового лічильника, що віднімає

Приклад побудови недвійкового лічильника з коефіцієнтом рахунку $K=7$ показаний на рисунку 8.3.

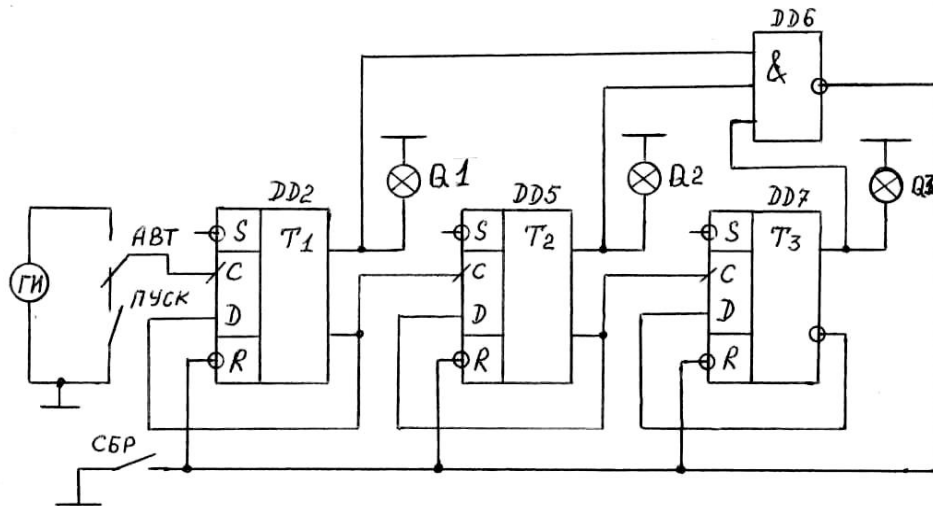


Рисунок 8.3 – Лічильник з $K=7$

Зсувний регістр будується шляхом з'єднання виходу Q попереднього розряду з входом D наступного розряду. Схема такого регістра наведена на рисунку 8.4.

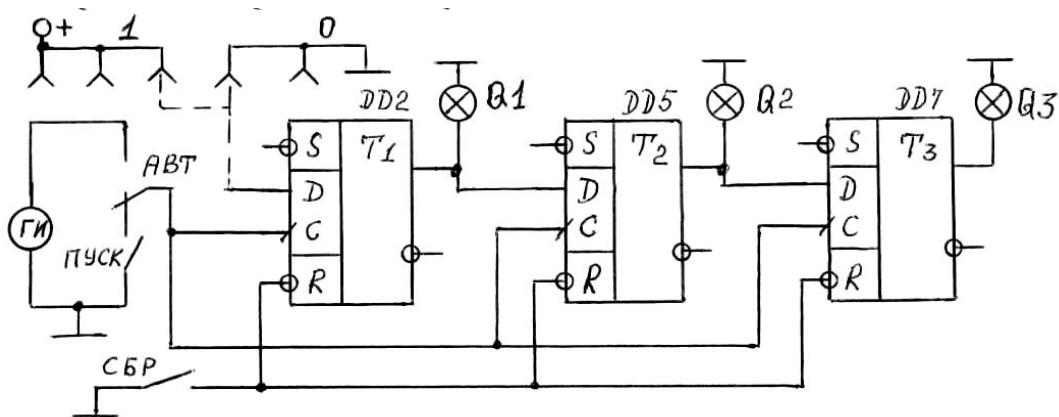


Рисунок 8.4 — Схема зсувного регістра

Якщо вихід $Q3$ зсувного регістра з'єднати із входом D тригера $DD2$, то отримаємо схему кільцевого лічильника

Для проведення дослідів використовуються елементи, які зображені на рисунку 8.2. Органи управління розглянуті в п. 8.1.

8.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд та осцилограф відповідно до додатків А і Б.
2. Дослідити двійковий підсумовуючий лічильник, для чого зібрати схему, яка зображена на рисунку 8.1.

Натиснути кнопку “СБР.”, встановивши тим самим початковий стан лічильника. Натискаючи кнопку “ПУСК” і рахуючи вхідні (тактові) імпульси від першого до восьмого, фіксувати за індикаторами стани виходів $Q3$, $Q2$, $Q1$. Отримані дані помістити в таблицю 8.1.

Таблиця 8.1

Вихід	Номер тактового імпульсу								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
$Q1$									
$Q2$									
$Q3$									

Натиснути кнопку “АВТ.”, приєднати входи осцилографа $Y4$, $Y3$, $Y2$ та $Y1$ відповідно до входу та виходів лічильника, натиснути кнопки комутатора “ $Y1-Y4$ ” і “ВКЛ.” та зняти осцилограми чотирьох сигналів одночасно. Для синхронізації зображення необхідно гніздо $Y1$ приєднувати до виходу $Q3$.

3. Дослідити двійковий лічильник, який віднімає, для чого зібрати схему (див. рис. 8.2) і повністю повторити п. 2.

4. Дослідити недвійковий лічильник, для чого зібрати схему (див. рис. 8.3) і повністю повторити п. 2.

5. Дослідити зсувний регістр, зібравши схему (див. рис. 8.4).

Записати в регістр число $A = 101$. Запис числа A необхідно починати зі старшого розряду, подаючи на вхід D тригера DD2 за допомогою провідників по черзі всі значення розрядів числа A . Запис кожного розряду виконується натискуванням кнопки “ПУСК”, фіксуючи при цьому значення виходів $Q1$, $Q2$, $Q3$. Результати помістити до таблиці 8.2.

Таблиця 8.2

Номер тактового імпульсу	Число $A=$		
	$Q3$	$Q2$	$Q1$
0			
1			
2			
3			
...

6. Дослідити кільцевий лічильник, з'єднавши вихід $Q3$ регістра із входом D тригера DD2 (див. рис. 8.4). Натиснути кнопку “СБР.”, встановивши нулі на всіх виходах Q . Встановити $Q1=1$, подаючи на вхід

\bar{S} DD2 за допомогою провідника лог.“0”. Натискаючи кнопку “ПУСК”, зафіксувати роботу лічильника та скласти таблицю його станів.

Примітка. При виконанні досліджень шляхом моделювання на комп’ютері необхідно виконувати п. 2–6, узявши з відповідних меню необхідні елементи.

8.3 Зміст звіту

1. Схеми дослідів і таблиці з результатами.
2. Осцилограми сигналів.
3. Висновки з кожного пункту досліджень.

8.4 Контрольні питання

1. Принцип побудови лічильників.
2. Як змінити коефіцієнт рахунку?
3. Робота регістрів та їх призначення.
4. Зсуваючі регістри.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9

Дослідження аналого-дискретних перетворювачів

Мета роботи – вивчити принципи побудови і роботу перетворювачів “напруга – частота” та “напруга – час”.

9.1 Короткі теоретичні відомості

Інформація в управляючих системах подається в дискретному вигляді. Для отримання вказаної інформації застосовуються аналого-дискретні перетворювачі, з якими необхідно познайомитись за літературою [1].

Схема перетворювача “напруга – частота” (ПНЧ) з розгортаючим зрівноваженням подана на рисунку 9.1.

Вказана схема складається з інтегратора DA1, компаратора DA2 та формувача імпульсів ФИ, який керує ключем SA1.

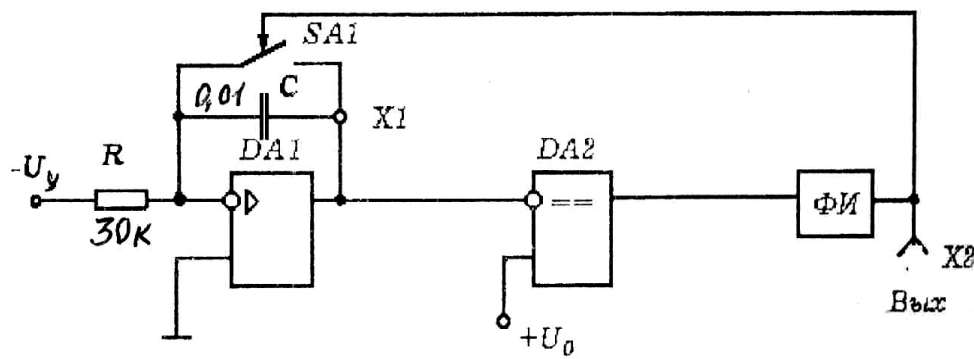


Рисунок 9.1 – Схема ПНЧ з розгортаючим зрівноваженням

Залежність між вхідною напругою U_y та частотою вихідних імпульсів визначається за формулою:

$$\frac{1}{RC} \int_0^{T-t_i} U_y df = U_0, \quad (9.1)$$

де T – період вихідних імпульсів;
 t_i – тривалість вихідних імпульсів;
 RC – постійна часу інтегратора;
 U_0 – опорна напруга.

З рівняння (14.1) можна отримати характеристику перетворення $f = F(U_y)$, яка має вигляд:

$$f = \frac{U_y}{RCU_0 + t_i U_y}. \quad (9.2)$$

Коефіцієнт перетворення K_n визначається за формулою:

$$K_n \frac{df}{dU_y} = \frac{RCU_0}{(RCU_0 + t_i U_y)^2}. \quad (9.3)$$

При $t_i \rightarrow 0$ (ідеальний ПНЧ) вирази (15.2) та (15.3) набудуть вигляду:

$$f' = \frac{U_y}{RCU_0}, \quad (9.4)$$

$$K_n = \frac{1}{RCU_0}. \quad (9.5)$$

Відносна похибка перетворення

$$\delta_n = \frac{\Delta f}{f'} = -\frac{U_y t_i}{RCU_0 T + t_i U_y}, \quad (9.6)$$

де $\Delta f = f - f'$.

Схема ПНЧ зі слідкуючим зрівноваженням наведена на рисунку 9.2.

Характеристика перетворювання вказаного ПНЧ має вигляд:

$$f = \frac{U_y}{t_0 U_0}, \quad (9.7)$$

де t_0 – незмінна тривалість імпульсу зворотного зв'язку.

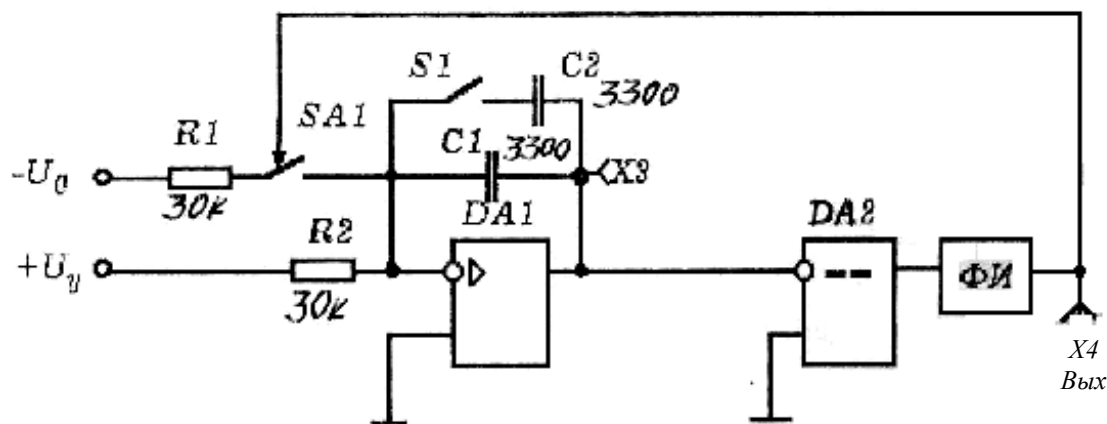


Рисунок 9.2 – Схема ПНЧ зі слідкуючим зрівноваженням

Коефіцієнт перетворення визначається за формулою:

$$K_n = \frac{1}{t_0 U_0}. \quad (9.8)$$

Амплітуда імпульсів U_m на виході інтегратора (точка X3) визначається рівнянням:

$$U_m = \frac{U_0 - U_y}{Re} t_0. \quad (9.9)$$

Схема перетворювача “напруга – час” з розгортаючим зрівноваженням наведена на рисунку 9.3.

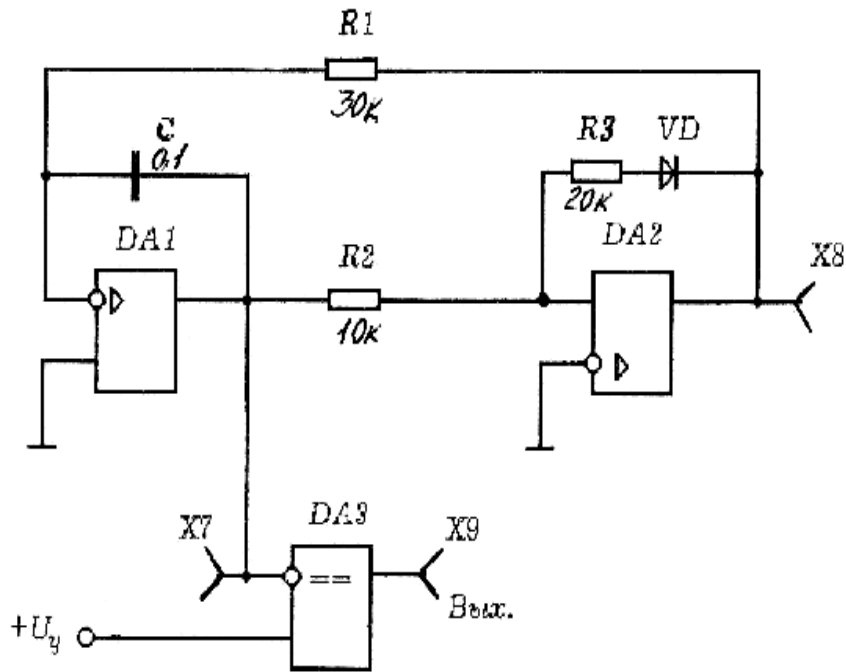


Рисунок 9.3 – Схема перетворювача “напруга – час” з розгортаючим зрівноваженням

Ця схема побудована на основі генератора трикутної напруги і компаратора DA3. Генератор побудований на інтеграторі DA1 і тригері Шмідта DA2. Інтегратор інтегрує напругу, яка присутня на виході тригера Шмідта (точка X8), у результаті в точці X7 формується трикутна напруга.

Максимальне значення напруги на виході інтегратора (точка X7) визначається порогом відпускання $U_{відн.}$:

$$U_m = U_{відн.} = \frac{R_2}{R_3} U_T, \quad (9.10)$$

де U_T – напруга в точці X8.

Період трикутних імпульсів визначається за формулою:

$$T = \frac{2R_1 R_2}{R_3} C. \quad (9.11)$$

Тривалість вихідних імпульсів (точка X9) визначається рівнянням:

$$t_i = 2R_1 C \frac{U_y}{U_T}. \quad (9.12)$$

Номінальні значення опорів резисторів та ємностей конденсаторів наведені безпосередньо на схемах.

9.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд та осцилограф у відповідності до додатків Б і В.

2. Дослідити схему ПНЧ із розгортаючим зрівноваженням (див. рис. 9.1):

а) встановити опорну напругу $U_0 = +4\text{В}$ ручкою “E2” та, змінюючи U_y ручкою “E1” від -1 до -5В , досягти зміни частоти на виході ПНЧ (X2). Накреслити форму напруги в точках X1 та X2 для довільного значення U_y ;

б) зняти та побудувати характеристику перетворення $f = F(U_y)$ для двох значень опорної напруги $U_0 = +2\text{В}$ та $U_0 = +4\text{В}$. Частота експериментальних результатів f_e визначається за осцилографом $\left(f_e = \frac{1}{T}\right)$, а розрахована частота f_p – за виразом (15.2). Отримані результати звести до таблиці 9.1;

Таблиця 9.1

$U_y, \text{В}$		-0,5	-1	-2	-3	-4	-5
$U_0 = +2\text{В}$	$f_e, \text{кГц}$						
	$f_p, \text{кГц}$						
$U_0 = +4\text{В}$	$f_e, \text{кГц}$						
	$f_p, \text{кГц}$						

в) встановити $U_0 = +4\text{В}$, $U_y = -4\text{В}$ та визначити за допомогою осцилографа тривалість імпульсів t_i у точці X2;

г) встановити $U_0 = +3\text{В}$ та, змінюючи U_y , визначити максимальну f_{\max} та мінімальну f_{\min} частоти динамічного діапазону.

3. Дослідити схему ПНЧ зі слідкуючим зрівноваженням (див. рис. 9.2):

а) встановити опорну напругу $U_0 = -6\text{В}$ та, змінюючи вихідний сигнал U_y , визначити динамічний діапазон за аналогією з п. 2,г. Накреслити форму напруги в точках X3 та X4 для довільного U_y ;

б) зняти та побудувати характеристику перетворення $f = F(U_y)$ при $U_0 = -4\text{В}$ аналогічно з п. 2,б. f_p розраховувати за формулою (9.7), попередньо вимірявши величину t_0 . Результати розрахунків звести до таблиці 9.2;

Таблиця 9.2

$U_y, \text{В}$	0,5	1	1,5	2	2,5	3,5
$f_e, \text{кГц}$						
$f_p, \text{кГц}$						

в) встановити $U_0 = -6\text{В}$ і зняти та нарисувати залежність $f = F(U_y)$ для замкненого та розімкненого $S1$. Результати звести до таблиці 9.3.

Таблиця 9.3

$U_y, \text{В}$	0,5	1	1,5	2	2,5	3,5
$f_e, \text{кГц}$ ($S1$ – розімкнено)						
$f_p, \text{кГц}$ ($S1$ – замкнено)						

4. Дослідити схему перетворювача “напруга – час” (див. рис. 9.3):

а) встановити вхідну напругу $U_y = +1\text{В}$ ручкою “ $E1$ ” та зняти і накреслити в масштабі в загальних осях координат осцилограми сигналів для точок $X7, X8, X9$;

б) повторити п. 4,а для $U_y = +5\text{В}$;

в) виміряти за допомогою осцилографа період трикутних імпульсів T та їх амплітуду U_m (точка $X7$) і порівняти отримані результати з розрахованими за формулами (9.10) та (9.11), а також виміряти амплітуду імпульсів у точці $X8$;

г) зняти та побудувати в масштабі характеристику перетворення $t_i = f(U_y)$. Тривалість вихідних імпульсів при експерименті t_{ie} виміряти за допомогою осцилографа і порівняти її з розрахованою t_{ip} за формулою (9.12). Отримані результати звести до таблиці 9.4;

Таблиця 9.4

$U_y, \text{В}$	0,05	0,5	1	2	3	4	6
$t_{ie}, \text{мс}$							
$t_{ip}, \text{мс}$							

д) змінюючи вхідний сигнал U_y , виміряти максимальну та мінімальну тривалості вихідних імпульсів стійких коливань динамічного діапазону.

Примітка. Якщо робота виконується шляхом моделювання на комп'ютері, то необхідно з меню обрати реальні елементи відповідно до наведених на схемах.

9.3 Зміст звіту

1. Схеми дослідження перетворень.
2. Таблиці з результатами та графіки.
3. Результати розрахунків параметрів вихідних сигналів перетворювачів.
4. Висновки з кожного пункту досліджень.

9.4 Контрольні питання

1. Робота всіх схем, які досліджувалися.
2. Методика розрахунку характеристик перетворення.
3. Способи підвищення точності перетворення.
4. Де застосовуються схеми перетворення напруги в частоту та час?

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1 Гусев В. Г. Электроника и микропроцессорная техника : учебник для вузов / В. Г. Гусев, Ю. М. Гусев. – М. : Высш. шк, 2005. – 790 с. – ISBN 5-06-004271-5.

2 Опадчий, Ю. Ф. Аналоговая и цифровая электроника (полный курс) : учебник для вузов / Ю. Ф. Опадчий, О. П. Глудкин, А. И. Гуров ; под. ред. О. П. Глудкина. – М. : Горячая Линия – Телеком, 2004. – 768 с. – ISBN 5-93517-002-7.

3 Колонтаєвський Ю. П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка : навч. посіб. / Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков. – К. : Каравела, 2004. – 432 с. – ISBN 966-8019-02-4.

4 Схемотехніка електронних систем: Кн. 1. Аналогова схемотехніка та імпульсні пристрої: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гурій, В. Я. Жуйкою та ін. – К. : Вища шк., 2004. – 366 с. – ISBN 966-642-192-6-5.

5 Схемотехніка електронних систем: Кн. 2. Цифрова схемотехніка: Підручник / В. І. Бойко, А. М. Гурій, В. Я. Жуйкою та ін. – К. : Вища шк., 2004. – 423 с. – ISBN 966-642-200-X..

ДОДАТОК А

Правила роботи з універсальним лабораторним стендом

1 Конструкція стенда

Стенд складається з двох стандартних приладних кожухів. У верхній частині розміщена панель управління з такими органами:

- перемикач „НОМЕР РАБОТЫ”, який має світлову індикацію;
- перемикач „кГц (α)” на десять положень;
- перемикач із кнопками „S1–S5”;
- перемикач розрядів „P0–P7” та „A1–A0”;
- перемикач із кнопками команд;
- перемикач „КОММУТАТОР” для підключення входів осцилографа через комутатор до вимірювальних роз'ємів;
 - вимірювальні гнізда „Y1(I)”, „Y2”, „Y3(II)”, „Y4” для підключення входів осцилографа та „U” для підключення цифрового вольтметра;
 - ручки „Y2”, „Y3”, „Y4” регулюють величину відхилення променів осцилографа за вертикаллю для відповідних каналів;
 - ручка „F” плавного регулювання частоти внутрішнього генератора.

У нижній частині стенда встановлюються накладні панелі зі схемами дослідів, а також мають місце такі органи управління:

- кнопка „СЕТЬ” для ввімкнення стенда;
- регулятори „E1” і „E2” джерел сигналів постійного струму з діапазоном регулювання ± 7 В;
- ручка „E_r” регулювання напруги внутрішнього генератора синусоїдальних сигналів;
- ручка „U_{вх}” для регулювання величини вхідних сигналів;
- ручка „R_n” зміни величини опору навантаження.

З лівого боку стенда встановлені роз'єми „I” і „II”, до яких приєднуються вхідні кабелі від осцилографа, роз'єм „U”, до якого приєднується вхід цифрового вольтметра, а також роз'єми „СИНХР.” та „A” для створення зовнішньої синхронізації осцилографа.

2 Підготовка стенда до роботи

На початку роботи всі кнопки стенда повинні бути у відтиснутому стані, а всі ручки – у крайньому положенні проти годинникової стрілки.

Осцилограф та вольтметр приєднуються за допомогою кабелів до

роз'ємів „I”, „II” та „U” з лівого боку стенда. Необхідно звернути увагу на правильне приєднання кабелів до загальної шини „⊥”, відносно якої виконуються всі вимірювання.

Для виконання дослідів необхідно натиснути кнопку „СЕТЬ”, а також відповідну кнопку перемикача „НОМЕР РАБОТЫ” та ввімкнути вимірювальні прилади.

Для безпосереднього дослідження двох процесів необхідно користуватися гніздами „Y1(I)” та „Y3(II)”, при цьому кнопки комутатора повинні бути відтиснутими.

Якщо потрібно спостерігати одночасно три або чотири процеси, то необхідно натиснути обидві кнопки комутатора („ВКЛ” і „Y1” – Y4”) і користуватися гніздами „Y1(I)”, „Y2”, „Y3(II)”, „Y4”, а також ручками „Y2”, „Y3” та „Y4”, при цьому коефіцієнт підсилення (чутливість) осцилографа зменшується в співвідношенні 10:1.

При всіх вимірюваннях сигнал зовнішньої синхронізації подається тільки із входу „Y1(I)”, який необхідно використовувати як пріоритетний при одночасному дослідженні декількох процесів.

ДОДАТОК Б

Правила роботи з осцилографом С1-55

1 Підготовка до роботи

Перед увімкненням осцилографа в мережу необхідно встановити органи управління:

- ручки „ЯРКОСТЬ І”, „ЯРКОСТЬ ІІ”, „ФОКУС І”, „ФОКУС ІІ”, „АСТИГМ. І”, „АСТИГМ. ІІ”, „УРОВЕНЬ” – у середнє положення;
- ручку „СТАБ.” – у крайнє праве положення;
- перемикач „СИНХРОНИЗАЦІЯ” – у положення „ВНУТР. І”.

Приєднати осцилограф за допомогою шнура до мережі живлення і увімкнути тумблер „СЕТЬ”, після чого за декілька хвилин на екрані з'являться промені, які можна зміщувати за допомогою ручок „↑” та „↔”. Відрегулювати яскравість та фокусування променів можна ручками „ЯРКОСТЬ”, „ФОКУС” та „АСТИГМ.”, а ручкою „ШКАЛА” можна відрегулювати видимість шкали.

2 Вимірювання параметрів сигналів

Вимірюваний сигнал подається на входи „УІ” або „УІІ” за допомогою спеціальних кабелів із роз'ємами. Перед подачею на осцилограф вхідного сигналу необхідно визначити, який із штирів кабелю є потенціальним, а який – нульовим, для чого:

- перемикач „ВОЛЬТ/ДЕЛ” використаного каналу поставити в положення 0,5, а ручку „УСИЛЕНИЕ” цього ж каналу – у крайнє положення за годинниковою стрілкою;
- доторкнутися пальцем по черзі до обох штирів.

Нульовим буде той штир, при дотику до якого на екрані з'явиться одна горизонтальна лінія.

При подачі на вхід осцилографа вимірювального сигналу величину його зображення на екрані можна регулювати перемикачами „ВОЛЬТ/ДЕЛ”, „ВРЕМЯ/ДЕЛ”, а також ручками „УСИЛЕНИЕ” та „ДЛИТЕЛЬНОСТЬ”.

Для спостереження форми сигналу потрібно засинхронізувати розгортку осцилографа, для чого необхідно послідовно виконати дії:

- ручку „СТАБ.” повернути в крайнє положення за годинниковою стрілкою;
- перемикач „СИНХРОНИЗАЦІЯ” поставити в положення „ВНУТР. І”, якщо сигнал подається на вхід „УІ”, або в положення „ВНУТР. ІІ”, якщо

сигнал подається на вхід „УІ”;

- ручку „УРОВЕНЬ”, яка розташована над перемикачем „СИНХРОНИЗАЦІЯ”, повернути в крайнє положення проти годинникової стрілки;

- плавно обертаючи ручку „СТАБ.” проти годинникової стрілки, визначити момент зникнення зображення з екрану;

- плавно обертаючи ручку „УРОВЕНЬ” за годинниковою стрілкою, досягти появи зображення форми сигналу на екрані і, при необхідності, ручками „ФОКУС” та „АСТИГМ.” відфокусувати його.

Усі параметри сигналу можна визначити за його розмірами на екрані, причому поділкою є одна клітинка шкали. При проведенні вимірювань ручки „УСИЛЕНИЕ” і „ДЛИТЕЛЬНОСТЬ” повинні бути встановлені в положення „КАЛИБР” (крайнє праве положення до фіксації). Вимірювальний параметр визначається як добуток коефіцієнта відхилення M_u (встановлюється перемикачем „ВОЛЬТ/ДЕЛ.”) на кількість поділок за вертикаллю N_y , які відповідають вказаному параметру, або як добуток коефіцієнта розгортки M_t (встановлюється перемикачем „ВРЕМЯ/ДЕЛ.”) на кількість поділок за горизонталлю N_x (при вимірюванні проміжків часу).

Якщо необхідно вимірювати постійну складову несинусоїдального сигналу або величину постійної напруги, необхідно користуватися відкритим входом, для чого перемикач виду входу поставити в положення „≈”. Обов'язково необхідно зафіксувати рівень нульової напруги. Величина постійної напруги визначається як добуток коефіцієнта відхилення M_u на кількість поділок за вертикаллю N_y , на які змістився промінь відносно нульового рівня. Зміщення променя вверх відносно нульового рівня відповідає знаку плюс, а зміщення вниз – знаку мінус.

Навчальне видання

ЕЛЕКТРОНІКА ТА КОМП'ЮТЕРНА СХЕМОТЕХНІКА

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
(для студентів денної форми навчання
спеціальності 123)

Укладач

Степан Павлович Сус

За авторською редакцією