

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

**ЕЛЕКТРОНІКА
ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА
ТЕХНІКА**

**Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
для студентів денної форми навчання
спеціальності 151
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»**

Освітній рівень – бакалавр

Краматорськ
ДДМА
2018

УДК 621.38. (075.8)

Електроніка та мікропроцесорна техніка : методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (для студентів денної форми навчання спеціальності 151) / уклад.: С. П. Сус. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – 64 с.

Містяться вказівки до виконання чотирнадцяти 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 підсилювальних каскадів на біполярних та польових транзисторах	5
Лабораторна робота 2. Дослідження диференціальних каскадів підсилення	8
Лабораторна робота 3. Дослідження аналогових пристроїв та активних фільтрів на операційних підсилювачах	12
Лабораторна робота 4. Дослідження перетворювачів аналогових сигналів	16
Лабораторна робота 5. Дослідження компараторів	20
Лабораторна робота 6. Дослідження генераторів імпульсів на транзисторах та логічних елементах	23
Лабораторна робота 7. Дослідження генераторів на операційних підсилювачах	27
Лабораторна робота 8. Дослідження однофазних випрямлячів	30
Лабораторна робота 9. Дослідження безперервних стабілізаторів постійної напруги	34
Лабораторна робота 10. Дослідження системи фазового управління тиристорами	37
Лабораторна робота 11. Дослідження комбінаційних цифрових схем	40
Лабораторна робота 12. Дослідження тригерів	44
Лабораторна робота 13. Дослідження лічильників та регістрів	47
Лабораторна робота 14. Дослідження аналого-дискретних перетворювачів	51
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	58
Додаток А. Правила роботи з універсальним лабораторним стендом	59
Додаток Б. Правила роботи з осцилографом С1-55	61
Додаток В. Правила роботи з генератором ГЗ-53	63
Додаток Г. Маркування опору резисторів	63

ВСТУП

Дані методичні вказівки складені відповідно до робочої програми курсу «Електроніка та мікропроцесорна техніка», що читається студентам спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

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

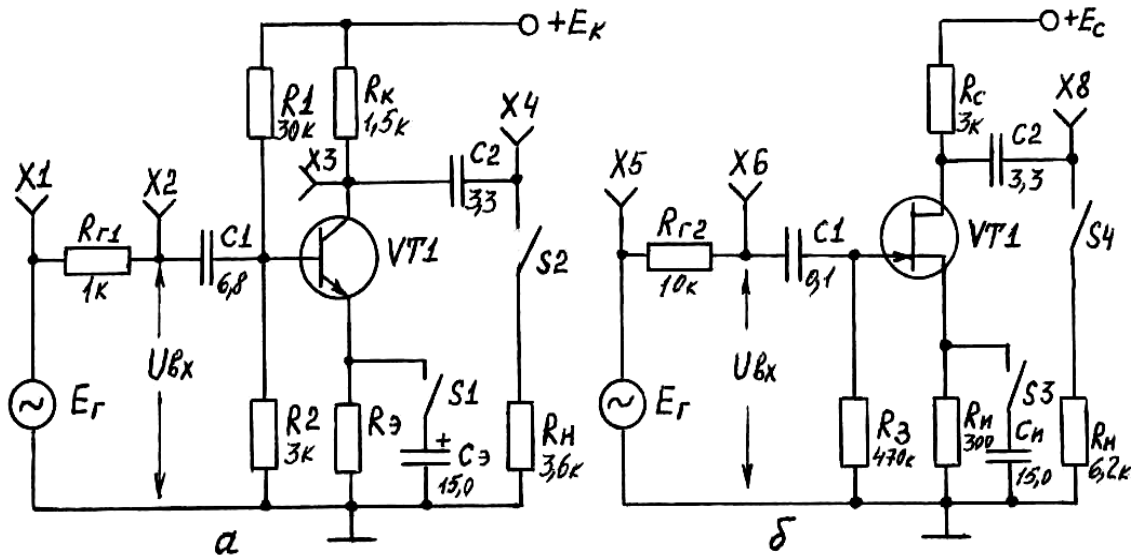
Дослідження підсилювальних каскадів на біполярних та польових транзисторах

Мета роботи – вивчити методику дослідження основних параметрів та характеристик попередніх каскадів підсилювачів змінної напруги.

1.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням дослідів необхідно познайомитися з параметрами та характеристиками підсилювачів за літературою [1–3].

У даній лабораторній роботі досліджуються два підсилювачі, принципові схеми яких наведені на рисунку 1.1.



а – підсилювач на біполярному транзисторі;

б – підсилювач на польовому транзисторі

Рисунок 1.1 – Схеми підсилювачів

Тумблерами $S1$ та $S3$ (рис. 1.1) вимикається негативний зворотний зв'язок за змінним струмом, а тумблерами $S2$ та $S4$ приєднується навантаження R_H . Величина вхідного сигналу регулюється ручкою E_G , а його частота – перемикачем $kГц$ при повороті ручки F у крайнє положення проти годинникової стрілки. Вказані ручки та перемикачі знаходяться на універсальному лабораторному стенді, правила роботи з яким наведені в додатку А.

Для отримання амплітудної характеристики $U_{вих} = \varphi(U_{вх})$ необхідно частоту генератора встановити рівною 1 кГц (натиснути відповідну кнопку перемикача $kГц$), а вхідну напругу змінювати від нуля до максимуму.

Амплітудно-частотна характеристика $K_u = \varphi(f)$ знімається шляхом вимірювання вихідної напруги $U_{вих}$ при зміні частоти, при цьому вхідна напруга $U_{вх}$ не повинна змінюватись. Коефіцієнт підсилення K_u можна визначити за формулою:

$$K_u = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}. \quad (1.1)$$

Величина струму навантаження визначається за виразом:

$$I_n = \frac{U_{вих}}{R_n}. \quad (1.2)$$

Вхідний струм підсилювачів визначають за формулою:

$$I_{вх} = \frac{E_\Gamma - U_{вх}}{R_\Gamma} \quad (1.3)$$

Величина вхідного опору $R_{вх}$ може бути визначена як:

$$R_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}} = R_r \frac{U_{вх}}{E_\Gamma - U_{вх}}. \quad (1.4)$$

Вихідний опір підсилювачів визначають за формулою:

$$R_{вих} = \frac{U_{вих.0} - U_{вих}}{U_{вих}} R_n, \quad (1.5)$$

де $U_{вих.0}$ – напруга на виході, коли R_n не приєднане;

$U_{вих}$ – напруга на виході при приєднаному R_n .

Вимірювання напруги здійснюється за допомогою осцилографа або цифрового вольтметра. Для приєднання осцилографа використовуються гнізда “Y1(I)” та “Y3(II)”, які розміщені на універсальному стенді.

1.2 Порядок виконання роботи

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

2. Провести дослідження підсилювального каскаду на біполярному транзисторі (див. рис. 1.1, а):

а) зняти та побудувати амплітудні характеристики $U_{вих} = \varphi(U_{вх})$ при відсутності зворотного зв'язку для двох випадків:

- навантаження увімкнено;
- навантаження відсутнє.

Для лінійної ділянки амплітудної характеристики визначити коефіцієнт підсилення:

$$K_u = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta U_{вх}}$$

Результати вимірювань звести до таблиці 1.1;

Таблиця 1.1

$U_{вх}, В$							
$U_{вих}, В$	$R_n = 3,6 \text{ кОм}$						
	$R_n = \infty$						

б) зняти та побудувати амплітудно-частотні характеристики при увімкненому навантаженні для двох випадків:

- зі зворотним зв'язком (зі 3.3);
- без зворотного зв'язку (без 3.3).

Результати вимірювань звести до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

$U_{вх}, В$		0,1		
$f, \text{кГц}$		0,08	...	20
$U_{вих}, В$	Зі 3.3		...	
	Без 3.3		...	

За результатами таблиці 1.2 визначити:

- коефіцієнти підсилення на середніх частотах K_0 ;
- коефіцієнти частотних спотворень M_f на частотах 0,08 кГц та 20 кГц;
- коефіцієнти підсилення за струмом K_i та за потужністю K_p на частоті 1 кГц;

в) визначити експериментальним шляхом вхідний та вихідний опори за формулами (1.4) та (1.5) для двох випадків:

- при наявності зворотного зв'язку;
- без зворотного зв'язку.

3. Провести дослідження підсилювального каскаду на польовому транзисторі (див. рис. 1.1, б). Усі дослідження та розрахунки виконувати за аналогією з п. 2, тобто зняти та побудувати амплітудні, амплітудно-частотні характеристики та визначити вхідний і вихідний опори, враховуючи параметри елементів, які наведені на принциповій схемі. Розрахувати коефіцієнти підсилення.

Примітка. Якщо робота виконується шляхом моделювання на комп'ютері, то необхідно зібрати схеми підсилювачів у відповідності до рисунку 1.1, взявши всі елементи у відповідних меню. Типи транзисторів можна взяти з меню Transistors.

1.3 Зміст звіту

1. Схеми дослідів.
2. Таблиці з результатами.
3. Амплітудні та амплітудно-частотні характеристики.
4. Розрахунки коефіцієнтів підсилення та вхідних і вихідних опорів.
5. Висновки з кожного пункту досліджень.

1.4 Контрольні питання

1. Як визначити схему ввімкнення транзистора?
2. Як розрахувати вхідний та вихідний опори?
3. Дія зворотного зв'язку на параметри підсилювача.
4. Схеми ввімкнення біполярних транзисторів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

Дослідження диференційних каскадів підсилення

Мета роботи – дослідити передатні характеристики та визначити параметри диференційних підсилювачів.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням роботи необхідно вивчити особливості побудови підсилювачів постійного струму, їх параметри та характеристики за літературою [1–3].

Для підсилення сигналів постійного струму застосовуються диференційні каскади та операційні підсилювачі. Диференційні каскади підсилюють різницю сигналів і характеризуються диференційним коефіцієнтом підсилення $K_{u.d.}$, який визначається за формулою:

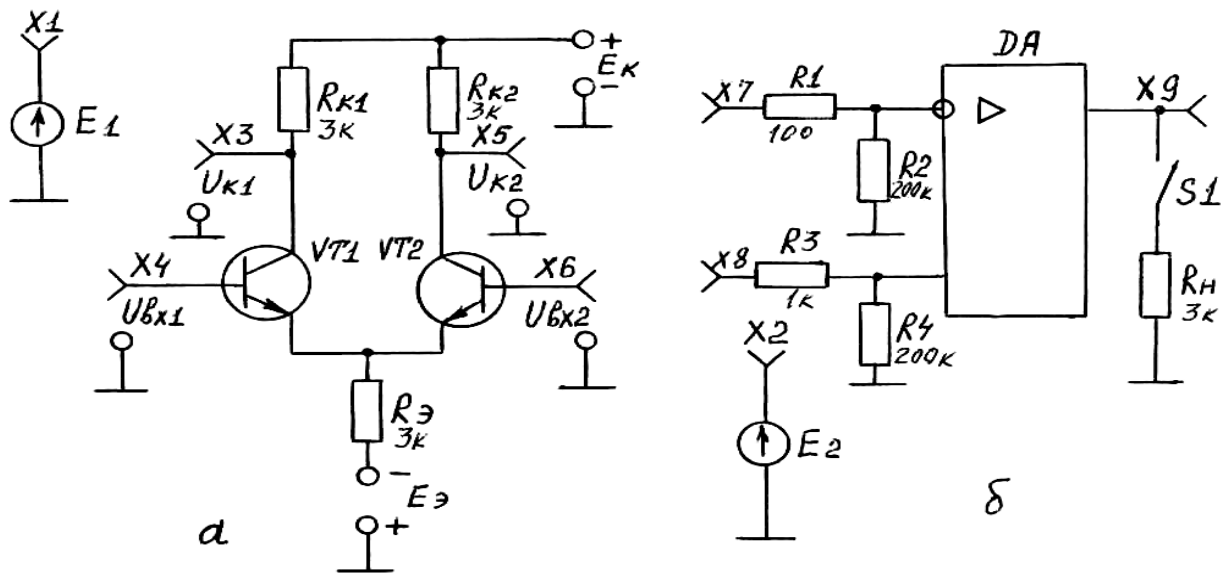
$$K_{u.d.} = \frac{U_{вих1} - U_{вих2}}{U_{вх1} - U_{вх2}}, \quad (2.1)$$

де $U_{вих}$ та $U_{вх}$ – вихідна та вхідна напруги.

Якщо на обидва входи подаються однакові напруги, то вихідна напруга прямує до нуля. У реальних схемах є коефіцієнт передачі синфазного сигналу K_c , оскільки немає повної симетрії елементів. Якість ослаблення синфазного сигналу визначається коефіцієнтом

$$K_{oc.cф} = 20 \lg \frac{K_{u.d.}}{K_c}. \quad (2.2)$$

У даній роботі досліджуються два підсилювачі, принципові схеми яких наведені на рисунку 2.1.



*а – диференційний підсилювач на транзисторах;
б – диференційний каскад на операційному підсилювачі
Рисунок 2.1 – Схеми диференційних підсилювачів*

Показані на рисунку 2.1 джерела постійної напруги $E1$ та $E2$ використовуються для подачі сигналів (напруги) на входи підсилювачів.

2.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи осцилограф С1-55 та універсальний стенд у відповідності до додатків А і Б.

2. Виконати дослідження диференційного підсилювача (рис. 2.1, а). При вимірюванні напруги застосовувати осцилограф або цифровий вольтметр:

а) зняти та побудувати передатну характеристику підсилювача $U_{вих} = \varphi(U_{вх})$ при $U_{вх.2} = 0$, для чого за допомогою з'єднувальних провідників приєднати джерело $E1$ ($X1$) до входу 1 ($X4$), а $E2$ ($X2$) – до входу 2 ($X6$). Встановити $E2$ ($U_{вх.2}$) = 0. Змінювати $E1$ ($U_{вх.1}$) від мінус 1В до плюс 1В та фіксувати потенціали на колекторах $U_{к.1}$ і $U_{к.2}$ (гнізда $X3$ та $X5$). Вихідна напруга визначається як $U_{вих} = U_{к.1} - U_{к.2}$ з урахуванням знаку. Результати занести до таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

$U_{вх.1}$, В	-1	...	0	...	+1
$U_{к.1}$, В					
$U_{к.2}$, В					
$U_{вих1}$, В					

За даними таблиці 2.1 побудувати передатну характеристику та визначити коефіцієнт підсилення

$$K_{u.д.} = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta U_{вх.1}} \quad (2.3)$$

для лінійної ділянки. Визначити максимальне значення $U_{вх.1}$;

б) дослідити ослаблення синфазного сигналу $U_{синф} = U_{вх1} = U_{вх2}$ та підсилення диференційного сигналу $U_{диф} = U_{вх1} - U_{вх2}$. Для цього виміряти потенціали на колекторах $U_{к.1}$ та $U_{к.2}$ і визначити $U_{вих}$ для двох випадків (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2

$U_{вх.1}$, В	0	0,4
$U_{вх.2}$, В	0	0,4
$U_{к.1}$, В		
$U_{к.2}$, В		
$U_{вих}$, В		

Розрахувати коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу $K_{oc.cф}$.

3. Дослідити диференційний каскад на операційному підсилювачі (рис. 2.1, б):

а) виконати балансування операційного підсилювача. Для цього приєднати джерело E_2 (X_2) на неінвертуючий вхід (X_8). Дільник R_3 , R_4 має коефіцієнт передачі 1:200. На вихід (X_9) приєднати вхід осцилографа $Y1(I)$. Повільно повертаючи ручку “ E_2 ”, встановити на виході підсилювача (X_9) $U_{вих} \leq 0,6$ В і зафіксувати значення E_2 . Визначити напругу зміщення:

$$U_{зм} = \frac{E_2}{200}; \quad (2.4)$$

б) не змінюючи положення ручки “ E_2 ”, приєднати джерело E_1 на інвертуючий вхід X_7 . Дільник R_1 , R_2 має коефіцієнт передачі 1:2000. Не змінюючи балансування, зняти та побудувати передатну характеристику $U_{вих} = \varphi(U_{вх})$ за аналогією з п. 2, а, враховуючи, що

$$U_{вх} = \frac{E_1}{2000}. \quad (2.5)$$

Величину E_1 змінювати від мінімуму до максимуму. Розрахувати коефіцієнт підсилення для лінійної ділянки характеристики:

$$K_u = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta U_{вх}}; \quad (2.6)$$

в) розрахувати вихідний опір підсилювача. Для цього виконати балансування згідно з п. 3, а, встановивши $E_1 = 0$. Потім повернути ручку “ E_1 ” у крайнє праве положення і, повільно повертаючи “ E_1 ” проти годинникової стрілки, встановити на виході підсилювача $U_{вих.1} = 4 \dots 5$ В і зафіксувати її. Натиснути кнопку “ $S1$ ” (приєднати навантаження R_n) і зафіксувати нове значення $U_{вих.2}$. Вихідний опір визначити за формулою:

$$R_{вих} = R_n \left(\frac{U_{вих.1}}{U_{вих.2}} - 1 \right), \quad (2.7)$$

де $R_n = 3$ кОм.

Примітка. Якщо робота виконується шляхом моделювання на комп'ютері, то величини всіх опорів необхідно брати згідно зі схемами (рис. 2.1), а величини E_1 і E_2 можна брати довільними. Усі елементи для схем обираються з відповідних меню.

2.3 Зміст звіту

1. Схеми дослідів.
2. Таблиці з результатами і графіки.
3. Висновки з кожного пункту досліджень.

2.4 Контрольні питання

1. Принцип дії диференційного підсилювача.
2. Як визначити коефіцієнти диференційного та синфазного підсилення?
3. Методика визначення вхідного та вихідного опорів.
4. Методи підвищення коефіцієнтів підсилення.
5. Застосування динамічного навантаження.
6. Засоби зниження дрейфу нуля.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3 Дослідження аналогових пристроїв та активних фільтрів на операційних підсилювачах

Мета роботи – дослідити роботу операційного підсилювача при різних видах зворотного зв'язку.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням роботи необхідно вивчити особливості роботи операційного підсилювача, який має негативний зворотний зв'язок. Освоїти методи коригування амплітудно-частотної характеристики за допомогою частотно-залежного зворотного зв'язку [1 – 3].

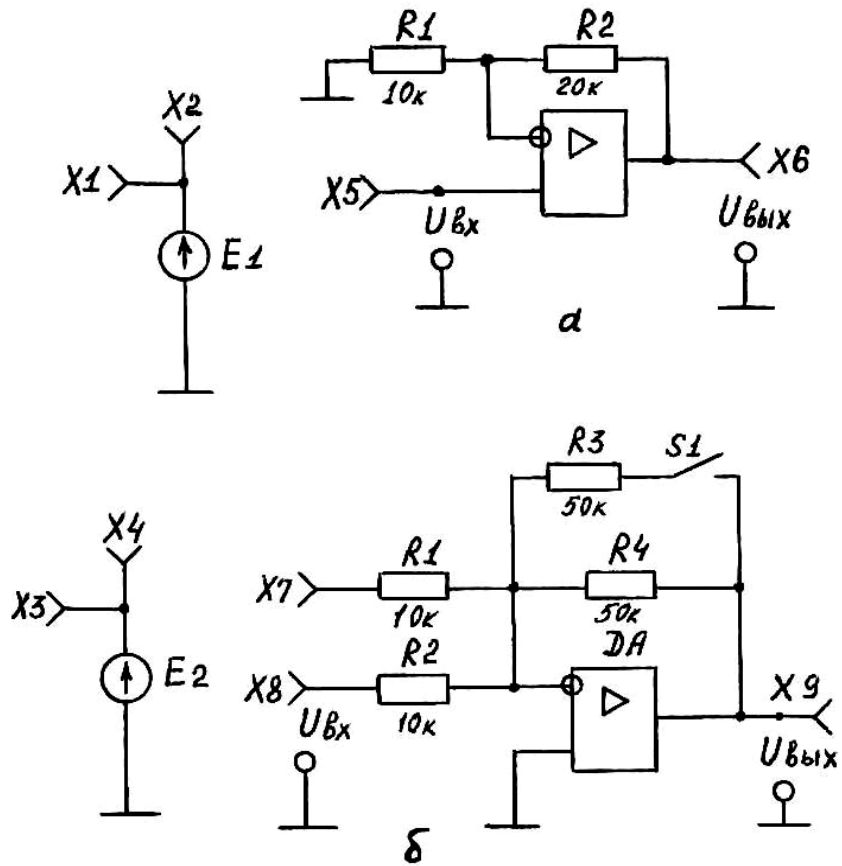
Схеми неінвертуючого та інвертуючого підсилювачів наведені на рисунку 3.1.

Коефіцієнт підсилення для неінвертуючого підсилювача (див. рис. 3.1, а) визначається за формулою:

$$K_u = 1 + \frac{R_2}{R_1}, \quad (3.1)$$

а для інвертуючого (див. рис.5.1, б) – за формулою:

$$K_u = -\frac{R_4(R_3)}{R_2(R_1)} \quad (3.2)$$



а – неінвертуючий підсилювач;
 б – інвертуючий підсилювач
 Рисунок 3.1 – Схеми підсилювачів

Схема активного фільтра наведена на рисунку 3.2.

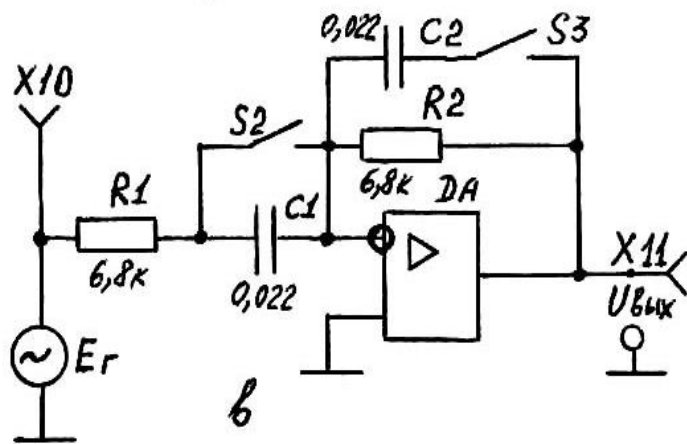


Рисунок 3.2 – Схема активного фільтра

Для фільтра нижніх частот (ФНЧ) верхня частота зрізу визначається за формулою:

$$f_s = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}. \quad (3.3)$$

Для фільтра верхніх частот (ФВЧ) нижня частота зрізу визначається за формулою:

$$f_n = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}. \quad (3.4)$$

Резонансна частота смугового фільтра визначається за формулою:

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 C_1 R_2 C_2}}. \quad (3.5)$$

3.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи осцилограф С1-55 та універсальний стенд у відповідності до додатків А і Б. Накладна панель на стенді за № 6.

2. Дослідити неінвертуючий підсилювач (див. рис. 3.1, а).

Зняти та побудувати передатну характеристику підсилювача $U_{вих} = \varphi(U_{вх})$, для чого з'єднати провідником гнізда X2 та X5. Вимірювати рівень вхідної та вихідної напруги слід за допомогою двох каналів осцилографа (X1 приєднати до Y1(I), а X6 – до Y3(II)). Змінюючи ручкою “E1” вхідну напругу від мінімуму до максимуму визначити відповідні значення $U_{вих}$. Дані звести до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

$U_{вх}$, В	-10	...	+10
$U_{вих}$, В		...	

Для лінійної частини характеристики розрахувати коефіцієнт підсилення за формулою (3.1).

Примітка. Вимірювання $U_{вх}$ та $U_{вих}$ можна здійснювати за допомогою цифрового вольтметра.

3. Дослідити інвертуючий підсилювач (див. рис. 3.1, б).

Зняти та побудувати передатну характеристику підсилювача $U_{вих} = \varphi(U_{вх})$, для чого з'єднати провідником гнізда X2 та X7 і змінювати

$E1$ за аналогією з п. 2, при цьому $S1$ повинен бути вимкненим. Потім натиснути кнопку “ $S1$ ” і повторити спочатку п. 3. Дані звести до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

$U_{вх}, В$		-10	...	+10
$U_{вих}, В$	$S1$ вимкнений		...	
	$S1$ увімкнений		...	

За даними таблиці 3.2 побудувати передатні характеристики та визначити коефіцієнти підсилення за формулою (3.2).

4. Дослідити схему додавання напруги на базі інвертуючого підсилювача (див. рис. 3.1, б).

Натиснути кнопку “ $S1$ ” та з'єднати провідниками гнізда $X2$ з $X7$ та $X4$ з $X8$. Для трьох значень вхідної напруги визначити відповідні значення вихідної напруги і дані звести до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3

$E1, В$	+1	+1	+2
$E2, В$	+1	-2	-3
$U_{вих}, В$			
Розраховане $U_{вих}, В$			

$U_{вих}$ розраховане визначається за формулою:

$$U_{вих} = -\left(\frac{R_{3,4}}{R_1} \cdot E_1 + \frac{R_{3,4}}{R_2} \cdot E_2\right), \quad (3.6)$$

де $R_{3,4} = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = 25 \text{ кОм}$.

5. Дослідити роботу активного фільтра (див. рис. 3.2):

а) зняти та побудувати амплітудно-частотну характеристику ФНЧ, для чого натиснути кнопки “ $S2$ ” та “ $S3$ ”. Характеристика знімається шляхом вимірювання напруги $U_{вих}$ (гніздо $X11$) при $U_{вх} = 3 В$, яка підтримується постійною за допомогою ручки E_f . Частоту вхідного сигналу змінювати від 0,08 до 20 кГц, при цьому ручка “ F ” повинна знаходитись у крайньому лівому положенні. Дані звести до таблиці 3.4;

Таблиця 3.4

$U_{вх}, В$	3		
$f, \text{кГц}$	0,08	...	20
$U_{вих}, В$...		

б) зняти та побудувати амплітудно-частотну характеристику ФВЧ (кнопки “S2” та “S3” відтиснуті). Порядок виконання – у відповідності до п. 5,а;

в) зняти та побудувати амплітудно-частотну характеристику смугового фільтра (кнопка “S2” відтиснута, а “S3” – натиснута). Порядок виконання – у відповідності до п. 5,а;

г) визначити всі граничні частоти за формулами (3.3)–(3.5).

Примітка. При виконанні роботи шляхом моделювання на комп'ютері всі параметри елементів обирати у відповідності до рисунків 3.1 та 3.2.

3.3 Зміст звіту

1. Схеми дослідів.
2. Таблиці з результатами і графіки.
3. Висновки з кожного пункту досліджень.

3.4 Контрольні питання

1. Як визначити коефіцієнти підсилення схем на операційних підсилювачах?
2. Види фільтрів.
3. Принцип роботи активних фільтрів.
4. Розрахунок смуги пропускання активних фільтрів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 4

Дослідження перетворювачів аналогових сигналів

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

4.1 Короткі теоретичні відомості

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

Схема визначення модуля сигналу наведена на рисунку 4.1.

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

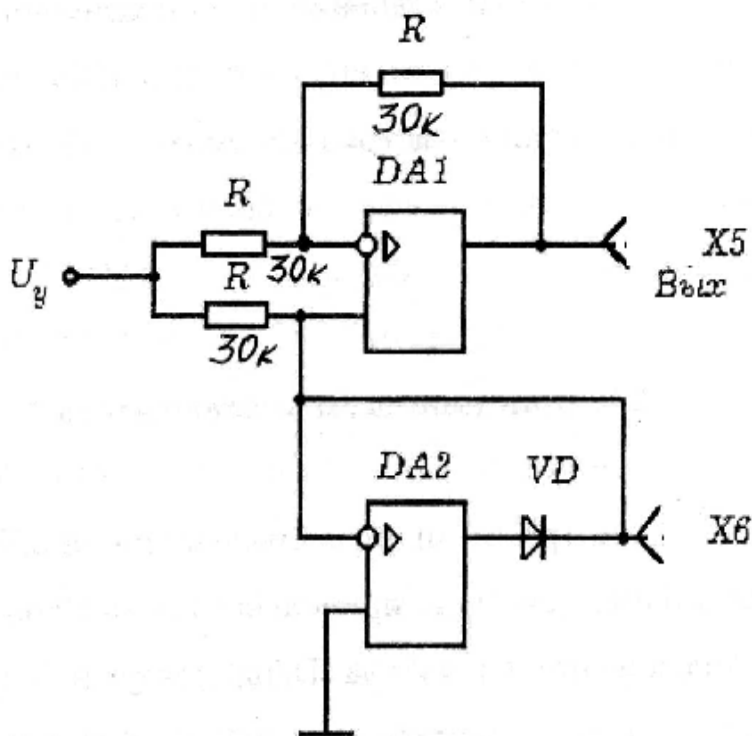


Рисунок 4.1 – Схема визначення модуля сигналу

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 4.2.

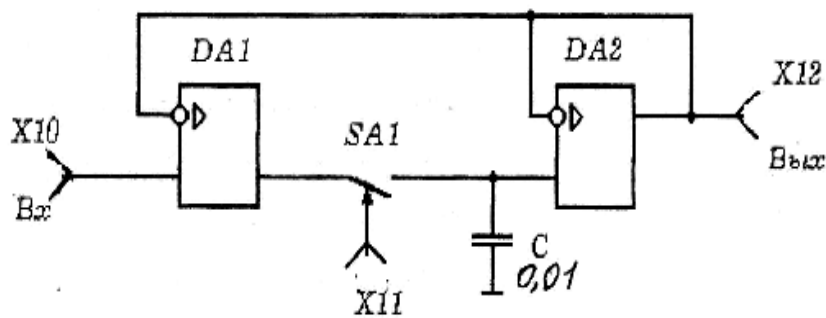


Рисунок 4.2 – Схема ПВЗ

При замиканні ключа $SA1$ підсилювачі $DA1$ та $DA2$ працюють як повторювачі напруги з високим входним 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 4.3.

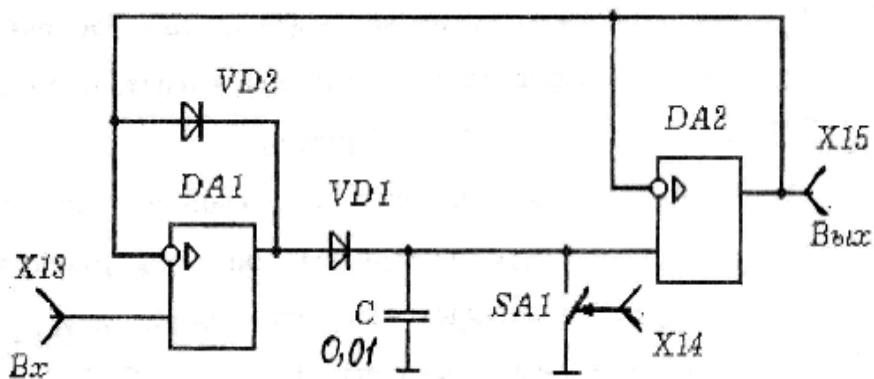


Рисунок 4.3 – Схема пікового детектора

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 входного 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.

4.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд відповідно до додатка А.
2. Провести дослідження схеми визначення модуля входного 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 4.1

$U_y, В$	- 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. 4.2):

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 проконтролювати 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. 4.3):

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.

4.3 Зміст звіту

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

4.4 Контрольні питання

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 5 Дослідження компараторів

Мета роботи – вивчити та дослідити роботу компараторів.

5.1 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 5.1.

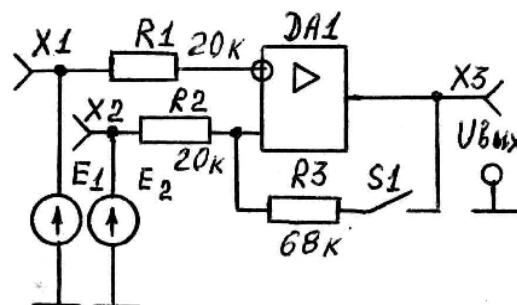


Рисунок 5.1 – Схема пристрою порівняння аналогових сигналів

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

$$\left[U_{вих}^- \right] = U_{вих}^+ = U_{вих.max}.$$

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

$$(E2 - E1)K_{u0} > U_{вих.max}, \quad (5.1)$$

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

Для зміни вихідної напруги від $U_{вих}^+$ до $U_{вих}^-$ необхідно, щоб $(E1 - E2)K_{u0} > U_{вих.max}$. 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 Шмітта. 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 $U_{сп.}$ та напругою відпускання $U_{від.}$. Вказані напруги визначаються за формулами:

$$U_{сп.} = E_2 + \frac{R_2}{R_2 + R_3} (U_{вих}^+ - E_2), \quad (5.2)$$

$$U_{від.} = E_2 + \frac{R_2}{R_2 + R_3} (U_{вих}^- - E_2). \quad (5.3)$$

Вимірювати вхідну та вихідну напруги необхідно за допомогою цифрового вольтметра.

5.2 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 5.1 та подати у вигляді графіків;

Таблиця 5.1

$E2, В$	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 -1 В) 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 5.2;

Таблиця 5.2

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

б) аналітично розрахувати $U_{сн.}$ та $U_{від.}$ для трьох значень $E2$ ($0, +1$ та -1 В) за формулами (12.2) та (12.3) та порівняти їх з експериментальними даними.

5.3 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.

5.4 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 6 Дослідження генераторів імпульсів на транзисторах та логічних елементах

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

6.1 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 6.1 подана схема мультивібратора на біполярних транзисторах.

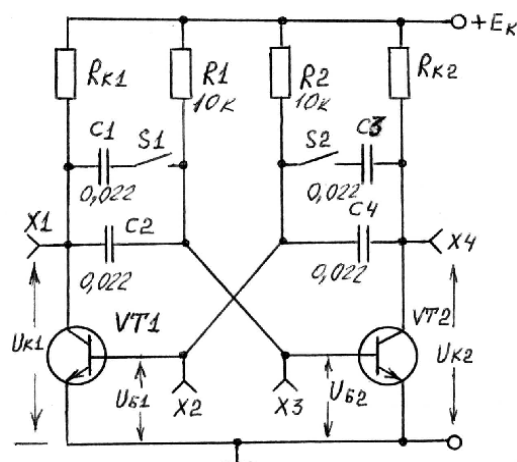


Рисунок 6.1 – Мультивібратор на біполярних транзисторах

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 $E_k \geq I_{k60} R$.

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

$$t_i \approx 0,705 RC. \quad (6.1)$$

Тоді період повторення визначиться за формулою

$$T_i = 2t_i = 1,41 RC. \quad (6.2)$$

На рисунку 6.2 наведена схема мультивібратора на логічних елементах.

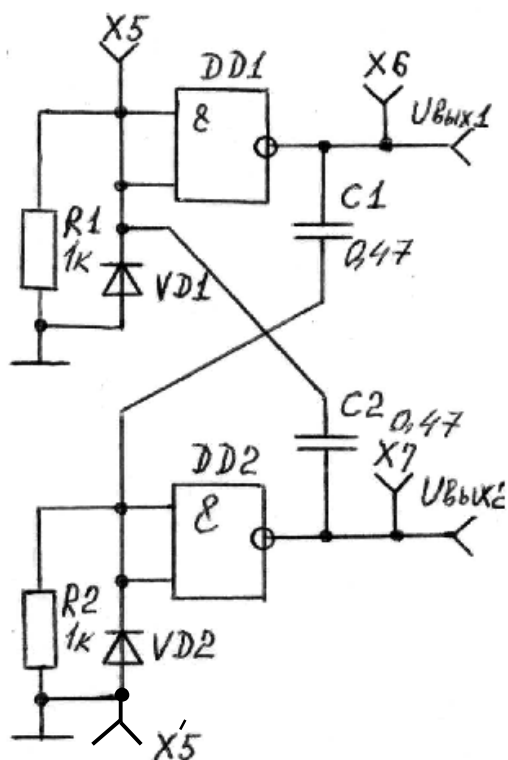


Рисунок 6.2 – Мультивібратор на логічних елементах

У цій схемі інвертори виконують роль підсилювальних каскадів. Для цієї схеми період T_i визначається за формулою (6.2).

На рисунку 6.3 наведена схема одновібратора на логічних елементах.

Одновібратор формує імпульс заданої тривалості, яка визначається за формулою (6.1).

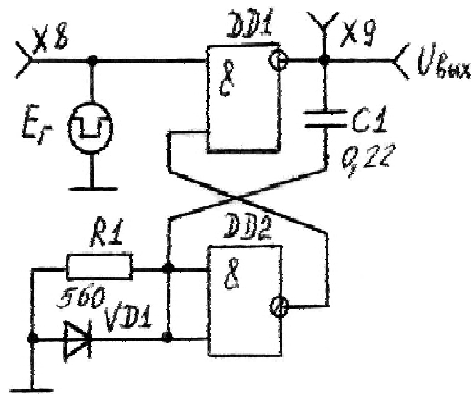


Рисунок 6.3 – Схема одновібратора

На рисунку 6.4 наведена схема генератора імпульсів на інверторах.

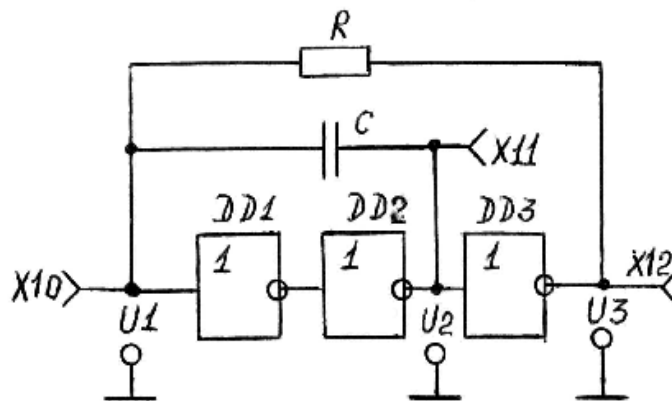


Рисунок 6.4 – Генератор імпульсів на інверторах

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.

6.2 Порядок виконання роботи

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

2. Виконати дослідження роботи мультівібратора на транзисторах (див. рис. 6.1):

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) накреслити в масштабі в загальних осях координат діаграми сигналів у точках $X1$, $X2$, $X3$ та $X4$ 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 (6.2).

3 Дослідити мультівібратор на логічних елементах (див. рис. 6.2):

а) зняти та накреслити в масштабі осцилограми сигналів в контрольних точках $X5$, $X6$ та $X7$ за аналогією з п. 2,б, вимірявши період T_i ;

б) розрахувати період коливань за формулою (6.2) та порівняти його з вимірним.

4. Дослідити роботу одновібратора (див. рис. 6.3), 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.

6.3 Зміст звіту

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

6.4 Контрольні питання

1. Робота мультівібратора 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 7

Дослідження генераторів на операційних підсилювачах

Мета роботи – дослідити роботу мультивібратора та генератора трикутної напруги на операційному підсилювачі.

7.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням роботи необхідно вивчити методику проектування генераторів на операційних підсилювачах за літературою [1–3].

Схема мультивібратора на операційному підсилювачі наведена на рисунку 7.1.

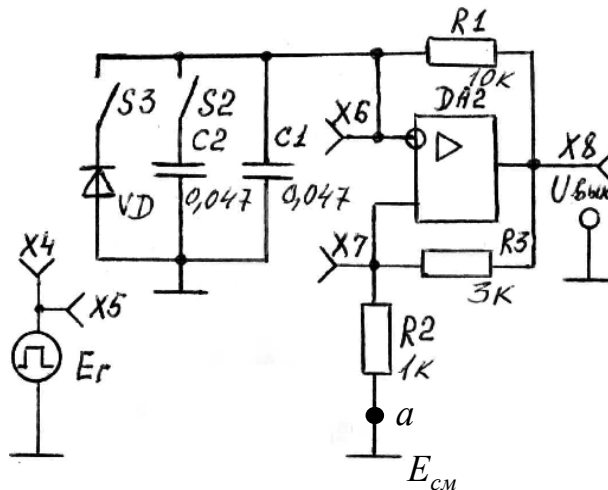


Рисунок 7.1 – Мультивібратор на операційному підсилювачі

При замиканні ключа $S3$ мультивібратор перетворюється в одно-вібратор.

Операційний підсилювач має позитивний зворотний зв'язок із коефіцієнтом

$$\beta_{п.з.з.} = \frac{R_2}{R_2 + R_3} \quad (7.1)$$

та негативний зворотний зв'язок з коефіцієнтом

$$\beta_{п.з.з.} = \frac{1}{\sqrt{\frac{R_1^2}{\omega^2 C^2} + 1}} \quad (7.2)$$

Період вихідного сигналу залежить від часу перезарядки конденсатора та визначається за формулою:

$$T_i = 2R_1C \ln \left(1 + \frac{2R_2}{R_3} \right), \quad (7.3)$$

де C – ємність конденсатора, який задає час.

Якщо схема працює в режимі одновібратора, то тривалість вихідного імпульсу визначається за формулою:

$$t_i = R_1C \ln \left(1 + \frac{R_2}{R_3} \right), \quad (7.4)$$

Схема генератора трикутної напруги наведена на рисунку 7.2.

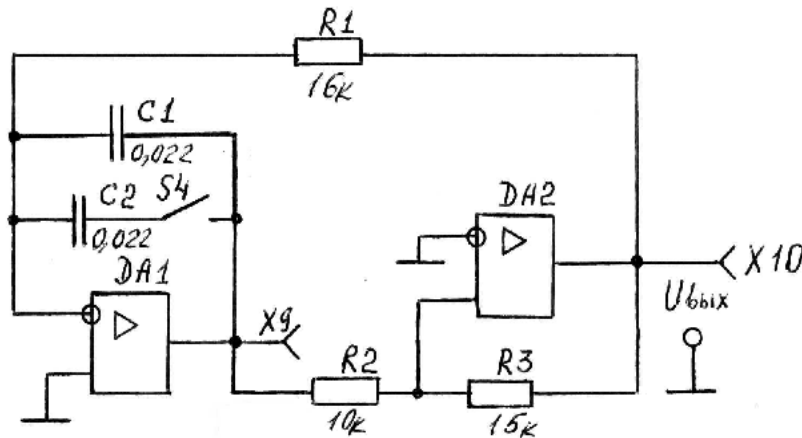


Рисунок 7.2 – Генератор трикутної напруги

Генератор побудований на двох операційних підсилювачах. DA1 виконує роль інтегратора, а DA2 – тригера Шмідта.

Трикутна напруга формується в точці X9, а прямокутна – у точці X10. Пороги спрацювання та відпускання тригера Шмідта визначаються співвідношенням резисторів $\frac{R_2}{R_3}$, яке задає амплітуду та частоту трикутних коливань, період яких визначається за формулою:

$$T = 4 \frac{R_1 R_2 C}{R_3}, \quad (7.5)$$

де C – ємність конденсатора, увімкненого у зворотний зв'язок інтегратора.

Під час дослідження схем необхідно використовувати осцилограф, який працює через комутатор сигналів (натиснути кнопки “Y1–Y4” та “Вкл.”). Номінальні значення елементів наведені на схемах.

7.2 Порядок виконання роботи

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

2. Дослідити роботу мультівібратора на операційному підсилювачі (див. рис. 7.1), при цьому ключі $S2$ та $S3$ повинні бути розімкненими:

а) зняти та накреслити в масштабі в загальних осях координат осцилограми сигналів в контрольних точках $X6, X7, X8$, для чого з'єднати провідниками гнізда $Y1(I)$ з $X8$, $Y2$ з $X6$ та $Y3$ з $X7$, а ручками “ $Y2$ ” та “ $Y3$ ” встановити на екрані осцилографа три часові діаграми, вимірявши період коливань T_i ;

б) повторити п. 2,а для замкненого ключа $S2$;

в) розрахувати періоди коливань T_i за формулою (7.3) для пп. 2,а та 2,б.

3. Дослідити роботу одновібратора на операційному підсилювачі (див. рис. 7.1), при цьому $S2$ та $S3$ повинні бути замкненими:

а) приєднати провідником $X5$ до $X7$ і зняти осцилограми сигналів за аналогією з п. 2,а, вимірявши тривалість імпульсу t_i ;

б) розімкнути ключ $S2$ та повторити за п. 3,а;

в) розрахувати тривалість імпульсів t_i за формулою (7.4) для пп. 3,а та 3,б.

Примітка. При дослідженні одновібратора необхідно звернути увагу на те, що в точці $X7$ форма вхідних імпульсів спотворюється внаслідок стрибкоподібної зміни напруги на резисторі R_2 .

4. Дослідити роботу генератора трикутної напруги (див. рис. 7.2):

а) зняти та накреслити в масштабі осцилограми сигналів в контрольних точках $X9$ та $X10$ для розімкненого ключа $S4$, вимірявши період сигналу T ;

б) замкнути $S4$ і повторити п. 4,а;

в) розрахувати значення періодів T за формулою (7.5) для пп. 4,а та 4,б.

Примітка. Усі досліди можна виконати шляхом моделювання схем.

7.3 Зміст звіту

1. Схеми дослідів.

2. Осцилограми сигналів у масштабі за кожним пунктом досліджень.

3. Розрахунки параметрів (T_i та t_i) вихідних сигналів.

4. Висновки з кожного пункту досліджень.

7.4 Контрольні питання

1. Робота мультивібратора та одновібратора на операційному підсилювачі.
2. Робота схеми генератора трикутної напруги.
3. Методика розрахунку схем генераторів, які досліджувались.
4. Принципи побудови генераторів імпульсів.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8 Дослідження однофазних випрямлячів

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

8.1 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 нерегульованого випрямляча з середньою точкою наведена на рисунку 8.1.

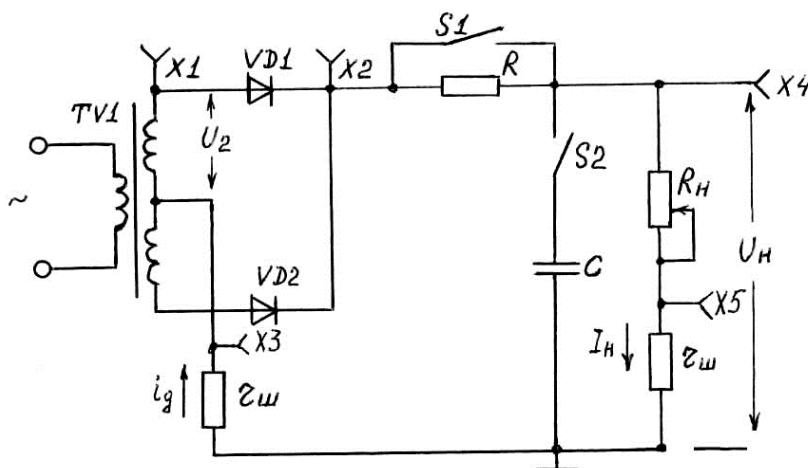


Рисунок 8.1 – Схема нерегульованого випрямляча

Середнє значення випрямленої напруги знаходиться за виразом:

$$U_{н.о} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} u_2(\omega t) d(\omega t). \quad (8.1)$$

Для випадку активного навантаження формула (8.1) набуде вигляду:

$$U_{н.о} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{2U_{2m}}{\pi}. \quad (8.2)$$

Схема регулювального випрямляча показана на рисунку 8.2.

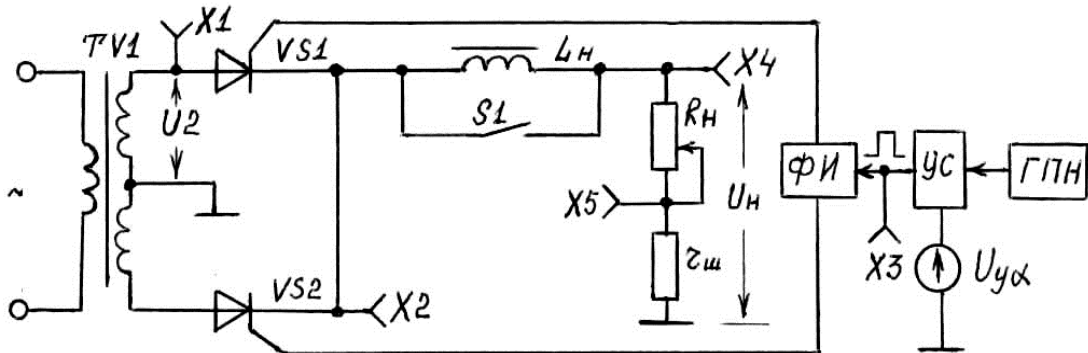


Рисунок 8.2 – Схема регулювального випрямляча

Для регулювального випрямляча середнє значення випрямленої напруги розраховується за формулою:

$$U_{н.о} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{2m} \sin(\omega t) d(\omega t) = U_{н.о} \frac{1 + \cos \alpha}{2}, \quad (8.3)$$

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 пилоподібної напруги ГПН, вузла зрівняння УС, формувача імпульсів ФІ та джерела керуючої напруги $U_{у\alpha}$, дозволяє змінювати кут управління α від 0 до 180°. Імпульси управління можна спостерігати, приєднавши осцилограф до гнізда X3 (див. рис. 8.2).

8.2 Порядок виконання роботи

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

2. Провести дослідження нерегулювального випрямляча (див. рис. 8.1):

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 8.1;

Таблиця 8.1

Параметри	Вид навантаження											
	Активне (S1 – увімкн., S2 – вимкн.)				З С-фільтром (S1 – увімкн., S2 – увімкн.)				З RC-фільтром (S1 – вимкн., S2 – увімкн.)			
$U_H, В$												
$I_H, А$												

б) при замкнених ключах $S1$ та $S2$ виміряти амплітудне значення струмів I_{om} та I_{nm} , 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 регульовального випрямляча (див. рис. 8.2):

а) зняти та побудувати регульовальну характеристику (п. 8.1) 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 8.2;

Таблиця 8.2

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

б) зняти та побудувати зовнішні характеристики (п. 8.1) для активно- та активно-індуктивного навантажень для двох значень кута управління α за аналогією з п. 2,а. Дані звести до таблиці 8.3;

Таблиця 8.3

Вид навантаження	Кут управління $\alpha, ^\circ$			
	30		90	
	$U_H, В$	$I_H, А$	$U_H, В$	$I_H, А$
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. 8.3 з дотриманням масштабу.

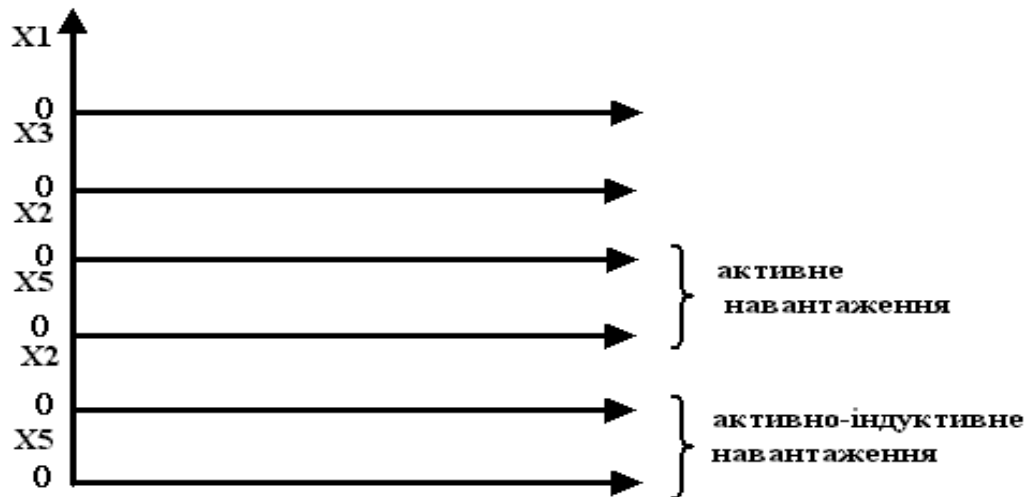


Рисунок 8.3 – Осцилограми в контрольних точках

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 $R_n = 0 \dots 30$ Ом. Запуск тиристорів – від генератора прямокутних імпульсів.

8.3 Зміст звіту

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

8.4 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_H на режим роботи випрямлячів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9

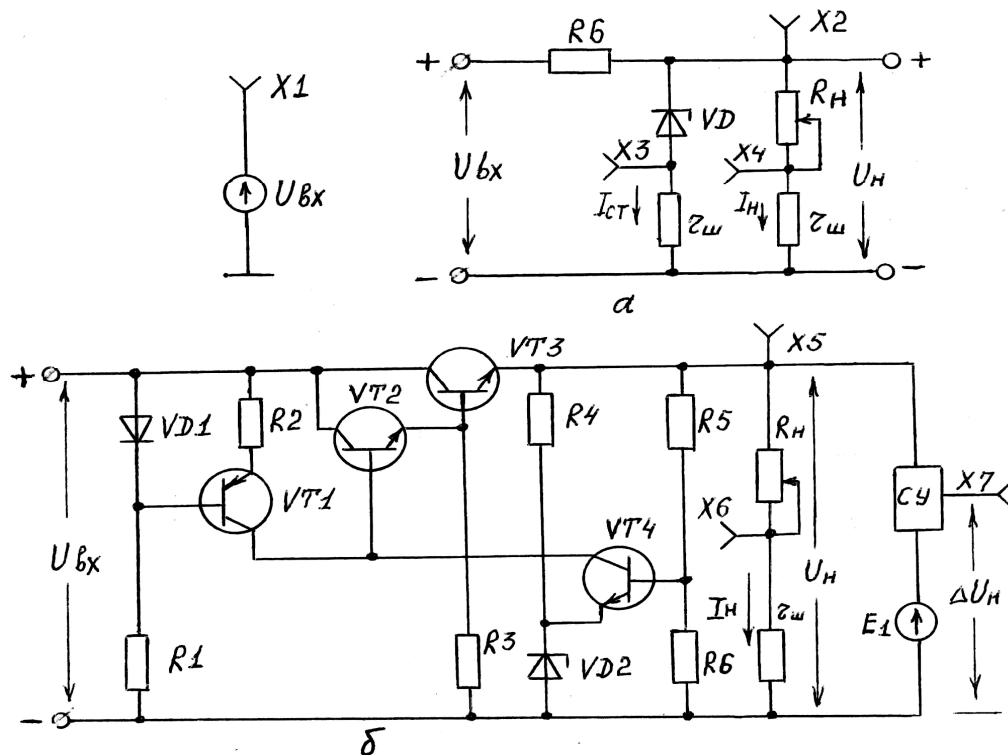
Дослідження безперервних стабілізаторів постійної напруги

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

9.1 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 9.1



a – параметричний стабілізатор; б – компенсаційний стабілізатор

Рисунок 9.1 – Схеми стабілізаторів

Зовнішньою характеристикою стабілізатора є залежність $U_H = f(I_H)$. Величину I_H можна змінювати за допомогою R_H (див. рис. 9.1).

Коефіцієнт стабілізації визначають за виразом:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_{ex} / U_{ex}}{\Delta U_n / U_n}, \quad (9.1)$$

де U_{ex} та U_n – постійна напруга відповідно на вході та виході стабілізатора;

ΔU_{ex} – зміна напруги U_{ex} ;

ΔU_n – зміна напруги U_n , яка відповідає зміні напруги ΔU_{ex} .

Вихідний опір стабілізатора визначається за формулою:

$$R_{вих} = \left| \frac{\Delta U_n}{\Delta I_n} \right|. \quad (9.2)$$

Вимірювання напруги здійснюється за допомогою цифрового вольтметра. Визначення всіх струмів виконується шляхом вимірювання напруги на резисторах $r_{ш} = 1$ Ом. При вимірюванні напруги U_n для компенсаційного стабілізатора (див. рис. 9.1, б) необхідно використовувати компенсаційний метод, який дозволяє визнати незначне відхилення ΔU_n . Вимірювання виконуються в такому порядку:

- встановити та зафіксувати мінімальний струм I_n ручкою “ R_n ”;
- виміряти та записати значення напруги U_{n0} у точці X5;
- обернути ручку “E1”, досягти на виході СУ (точка X7) можливого мінімуму напруги ΔU_{n0} (не більше ± 50 мВ) та запам’ятати його;
- збільшуючи за допомогою ручки “ R_n ” струм I_n , визначити відповідний приріст ΔU_n (контрольна точка X7), який дорівнює різниці між отриманим новим значенням $\Delta U_n'$ та раніше зафіксованим ΔU_n , тобто:

$$\Delta U_n = \Delta U_n' - \Delta U_{n0}, \quad (9.3)$$

- розрахувати нове значення напруги U_n з урахуванням знаку за виразом:

$$U_n = \Delta U_{n0} + \Delta U_n. \quad (9.4)$$

9.2 Порядок виконання роботи

1. Підготувати до роботи універсальний стенд у відповідності до додатка А.
2. Провести дослідження параметричного стабілізатора (див. рис. 9.1, а):

а) зняти та побудувати зовнішню характеристику $U_n = f(I_n)$ при постійній вхідній напрузі $U_{ex} = 14\text{В}$ (точка X1). 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 9.1;

Таблиця 9.1

$U_{ex}, \text{В}$	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 9.2;

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 (9.1) та (9.2).

3. Провести дослідження компенсаційного стабілізатора (див. рис. 9.1, 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 (9.4). Отримані дані звести до таблиці 9.3;

Таблиця 9.3

$U_{ex}, \text{В}$	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 9.4;

Таблиця 9.4

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 (9.1 та 9.2).

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.

9.3 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.

9.4 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 10

Дослідження системи фазового управління тиристорами

Мета роботи – дослідити особливості фазового управління тиристорами в схемі двонапівперіодного керованого випрямляча.

10.1 Короткі теоретичні відомості

Перед виконанням роботи необхідно вивчити горизонтальний та вертикальний методи управління за літературою [1, 4, 5].

Принципова схема фазового управління тиристорами наведена на рисунку 10.1.

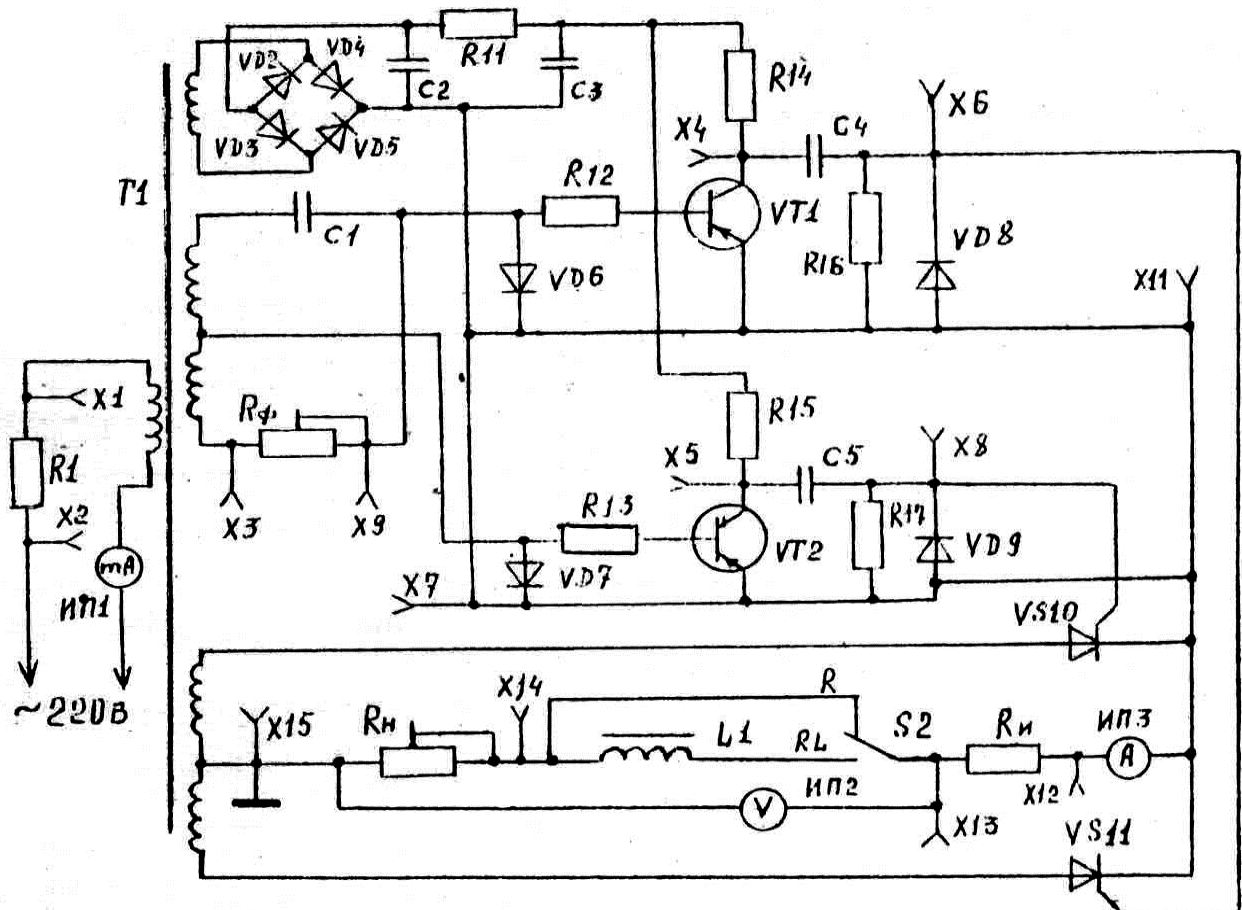


Рисунок 10.1 – Схема фазового управління тиристорами

Схема складається з керованого випрямляча VS10, VS11 та системи управління зі статичним фазообертачем R_ϕ , C1 і підсилювачами-формуєвачами на транзисторах VT1, VT2. Діоди VD6–VD9 виконують роль обмежувачів. Живлення системи управління відбувається від мостового випрямляча VD2–VD5 з фільтром.

Навантаженням силової частини є резистори R_n та індуктивність L .

Робота виконується на спеціальному стенді. Вимірювання напруги та струму відбувається за допомогою вбудованих у стенд приладів. Для вимірювання параметрів сигналів у контрольних точках застосовується осцилограф. При вивченні роботи схеми управління бажано в сумісних осях координат показувати осцилограми сигналів, параметри яких вимірюються.

10.2 Порядок виконання роботи

1. Увімкнути в мережу живлення лабораторний стенд та осцилограф. На лабораторному стенді перемикач $S2$ (B2) поставити в положення “ R ”, а ручку регулювання R_n – в положення “20 Ом” (див. рис. 10.1). Перемикач R_ϕ перевести в крайнє положення проти годинникової стрілки.

2. Зняти та побудувати регульовальну характеристику $U_{n\alpha} = f(\alpha)$ для активного навантаження:

а) приєднати осцилограф до контрольної точки $X12$ і, змінюючи кут управління α , величину якого вимірювати за допомогою осцилографа, визначити струм і напругу на навантаженні при $R_n = 20$ Ом за допомогою вбудованих у стенд амперметра та вольтметра. Результати помістити до таблиці 10.1;

Таблиця 10.1

α , град		...	
$U_{n\alpha}$, В		...	
I_n , А		...	

б) повторити п. 2,а для $R_n = 120$ Ом.

3. Зняти та побудувати регульовальні характеристики для активно-індуктивного навантаження, для чого перемикач $S2$ (B2) повинен знаходитись в положенні “ R_L ”, та повторити пп. 2,а та 2,б.

4. Дослідити характеристики навантаження $U_n = f(I_n)$ для різних кутів управління α при активному навантаженні, для чого за допомогою резистора R_n змінювати величину опору навантаження, при цьому перемикач $S2$ (B2) повинен знаходитись в положенні “ R ”. Кут управління вимірювати за допомогою осцилографа в точці $X12$. Отримані результати звести до таблиці 10.2.

Таблиця 10.2

$\alpha_1 =$	U_n , В	
	I_n , А	
$\alpha_2 =$	U_n , В	
	I_n , А	
$\alpha_3 =$	U_n , В	
	I_n , А	
$\alpha_4 =$	U_n , В	
	I_n , А	

5. Повторити п. 4 для активно-індуктивного навантаження ($S2$ у положенні “ R_L ”).

6. Побудувати в масштабі в загальних осях координат сімейство характеристик навантаження за отриманими результатами в пп. 4, 5.

7. Накреслити форму напруги на R_1 (точки $X1$ – $X2$) та пояснити її природу.

8. Приєднати один канал осцилографа до $X12$, а другий – до $X3$ і при $S2$ ($B2$) – в положенні R_L накреслити осцилограми отриманих сигналів та пояснити їх природу.

9. Накреслити осцилограми сигналів у точках $X4$ та $X6$ для активного та активно-індуктивного навантажень, вимірявши кут управління α .

10.3 Зміст звіту

1. Схема експерименту.
2. Побудовані в масштабі характеристики за пп. 2–5.
3. Осцилограми сигналів за пп. 7–9.
4. Висновки з кожного пункту досліджень.

10.4 Контрольні питання

1. Робота схеми фазового управління та призначення елементів.
2. Як досягти безперервного режиму роботи при активно-індуктивному навантаженні?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 11

Дослідження комбінаційних цифрових схем

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

11.1 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:

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

До комбінаційних схем відносяться дешифратор та мультиплексор. Дешифратор має n входів та 2^n 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 11.1.

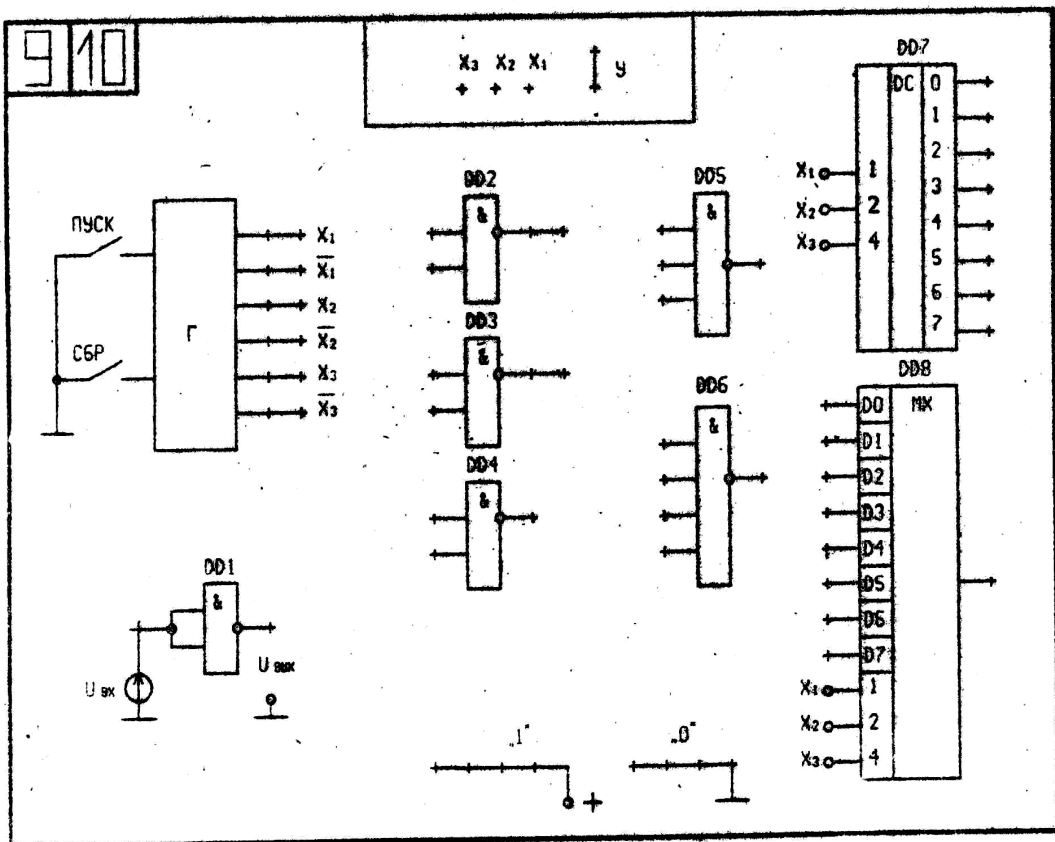


Рисунок 11.1 – Схема розташування елементів

Джерелом логічних сигналів $X1, \overline{X1}, X2, \overline{X2}, X3$ та $\overline{X3}$ є генератор Г, який управляється за допомогою кнопок “ПУСК” і “СБР.”, розташованих на панелі управління. Якщо натиснути кнопку “СБР.”, то $X1, X2$ та $X3$ набудуть значення лог.”0”. При натисканні на кнопку “ПУСК” відбувається почергова зміна сигналів $X1, X2, X3$, індикація стану яких виконується за допомогою світлодіодів “ $X3, X2, X1$ ” (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 $U_{вх}$ (DD1) виконується за допомогою ручки “ $U_{вх}$ ”.

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

11.2 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. 11.1). 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 11.1;

Таблиця 11.1

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

б) за результатами таблиці 11.1 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. 11.1) у відповідності до таблиці стану, для чого на входи DD5 за допомогою провідників подати з генератора Г 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 11.2;

Таблиця 11.2

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 X_1, X_2, X_3 генератора G та логічні елементи (див. рис. 11.1). Перевірити роботу схеми у відповідності до складеної таблиці стану за аналогією з п. 2,в.

3. Дослідити роботу дешифратора DD7 (див. рис. 11.1), для чого за допомогою провідника приєднувати по черзі до індикатора “Y” усі виходи дешифратора, натискаючи кожного разу на кнопку “ПУСК” та фіксувати стан входів X_1, X_2, X_3 та всіх виходів 0-7. Скласти за результатами таблицю роботи дешифратора.

4. Дослідити роботу мультиплексора DD8 (рис. 11.1), для чого входи D0, D2, D4 і D6 приєднати до гнізд “0”, а вихід – до “Y” і, натискаючи кнопку “ПУСК”, визначити стан X_1, X_2, X_3 , коли на виході мультиплексора 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.

11.3 Зміст звіту

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

11.4 Контрольні питання

1. Принцип дії логічних елементів.
2. Побудова комбінаційних схем.

3. Робота дешифраторів та мультиплексорів.
4. Синтез комбінаційних схем.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 12

Дослідження тригерів

Мета роботи – вивчити та дослідити роботу різних тригерів.

12.1 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 входних 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. 12.1).

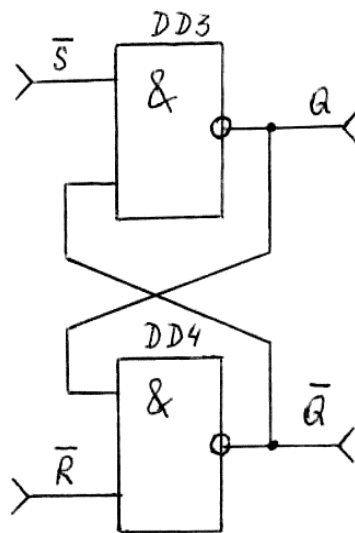


Рисунок 12.1 – Схема RS-тригера

“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 *ГІ* 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. 12.2).

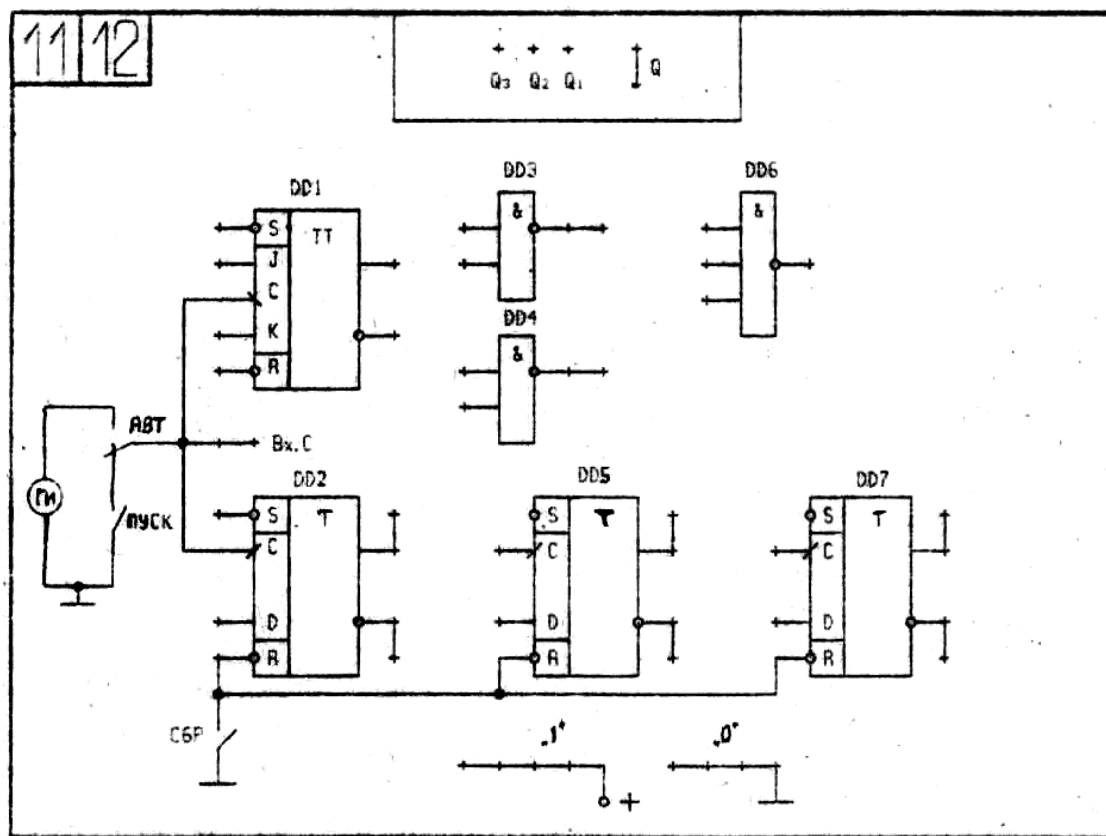


Рисунок 12.2 – Схема розташування елементів

Для проведення дослідів застосовуються елементи, схема розташування яких на накладній панелі універсального стенда показана на рис. 12.2.

12.2 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. 12.1) 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 12.1, підключаючи виходи Q та \bar{Q} до гнізда “*Q*”.

Таблиця 12.1

\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 12.2.

Таблиця 12.2

\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. 12.1) та скласти таблицю переходів. Результати занести до таблиці 12.3.

Таблиця 12.3

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 Т-тригера на основі D-тригера (DD2 на рис. 12.2), 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. 12.2), 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.

12.3 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.

12.4 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 13 Дослідження лічильників та регістрів

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

13.1 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:

$$N = 2^n - 1. \quad (13.1)$$

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 регістри 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 13.1.

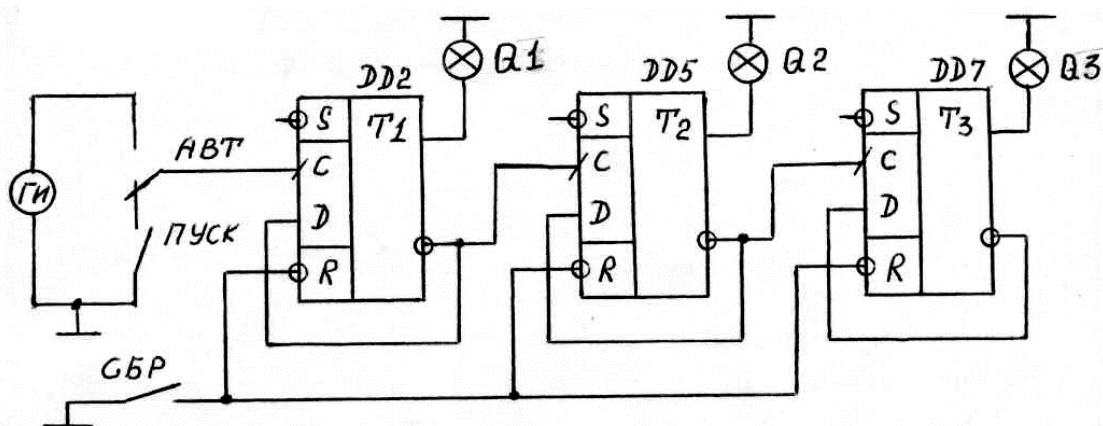


Рисунок 13.1 – Схема підсумовуючого двійкового лічильника

Схема двійкового лічильника, що віднімає, показана на рис. 13.2.

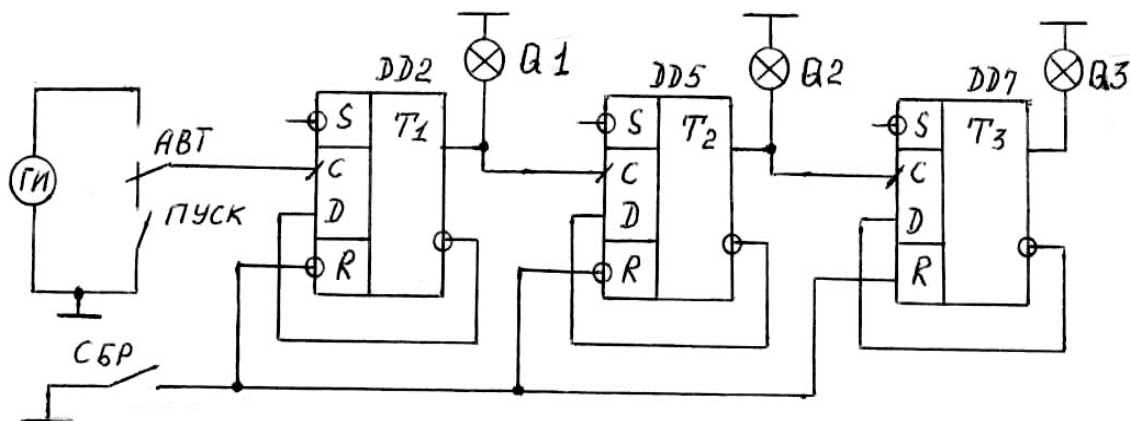


Рисунок 13.2 – Схема двійкового лічильника, що віднімає

Приклад побудови недвійкового лічильника з коефіцієнтом рахунку $K=7$ показаний на рисунку 13.3.

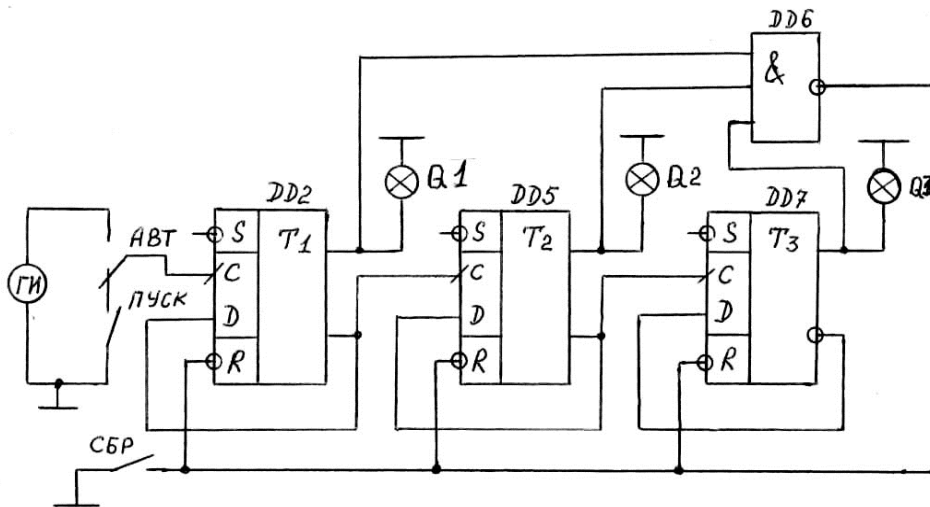


Рисунок 13.3 – Лічильник з $K=7$

Зсувний регістр будується шляхом з'єднання виходу Q попереднього розряду з входом D наступного розряду. Схема такого регістра наведена на рисунку 13.4.

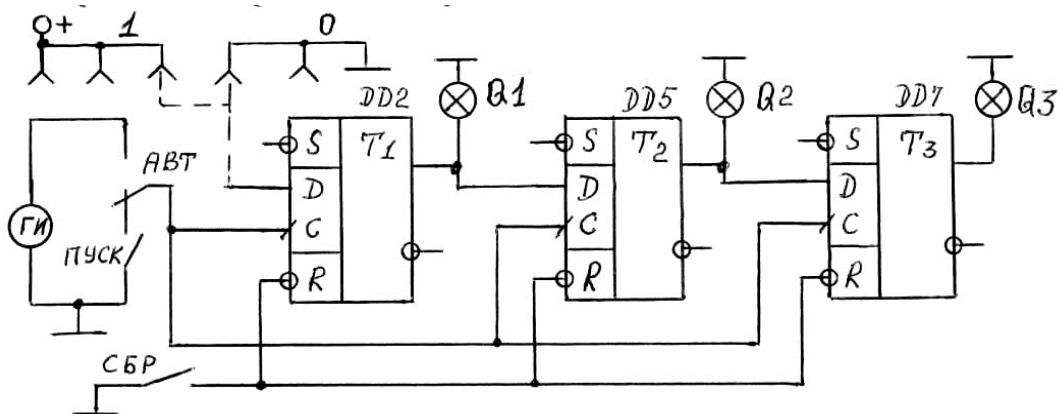


Рисунок 13.4 — Схема зсувного регістра

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 12.2. Органи управління розглянуті в п. 12.1.

13.2 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 13.1.

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 Q_3 , Q_2 , Q_1 . Отримані дані помістити в таблицю 13.1.

Таблиця 13.1

Вихід	Номер тактового імпульсу								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Q_1									
Q_2									
Q_3									

Натиснути кнопку “АВТ.”, приєднати входи осцилографа Y_4 , Y_3 , Y_2 та Y_1 відповідно до входу та виходів лічильника, натиснути кнопки комутатора “ Y_1 – Y_4 ” і “ВКЛ.” та зняти осцилограми чотирьох сигналів одночасно. Для синхронізації зображення необхідно гніздо Y_1 приєднувати до виходу Q_3 .

3. Дослідити двійковий лічильник, який віднімає, для чого зібрати схему (див. рис. 13.2) і повністю повторити п. 2.

4. Дослідити недвійковий лічильник, для чого зібрати схему (див. рис. 13.3) і повністю повторити п. 2.

5. Дослідити зсувний регістр, зібравши схему (див. рис. 13.4).

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 Q_1 , Q_2 , Q_3 . Результати помістити до таблиці 13.2.

Таблиця 13.2

Номер тактового імпульсу	Число $A =$		
	Q_3	Q_2	Q_1
0			
1			
2			
3			
...

6. Дослідити кільцевий лічильник, з’єднавши вихід Q_3 регістра із входом D тригера DD2 (див. рис. 13.4). Натиснути кнопку “СБР.”, встано-

вивши 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.

13.3 Зміст звіту

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

13.4 Контрольні питання

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

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 14

Дослідження аналого-дискретних перетворювачів

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

14.1 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 14.1.

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

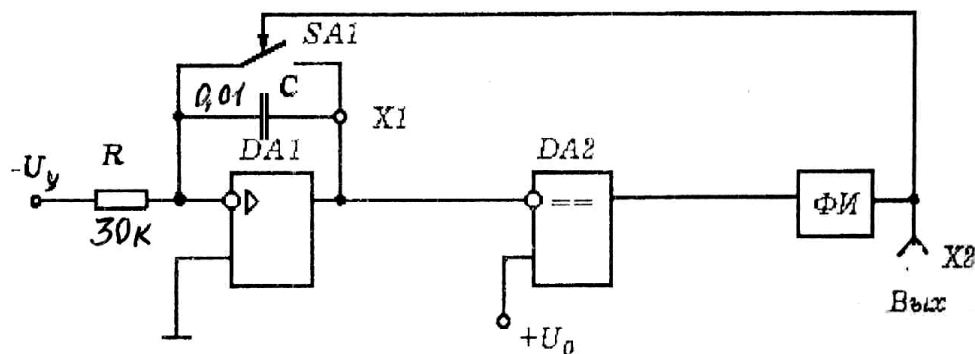


Рисунок 14.1 – Схема ПНЧ з розгортаючим зрівноваженням

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

$$\frac{1}{RC} \int_0^{T-t_i} U_y df = U_0, \quad (14.1)$$

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:

$$f = \frac{U_y}{RCU_0 + t_i U_y}. \quad (14.2)$$

Коефіцієнт перетворення K_n визначається за формулою:

$$K_n \frac{df}{dU_y} = \frac{RCU_0}{(RCU_0 + t_i U_y)^2}. \quad (14.3)$$

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

$$f' = \frac{U_y}{RCU_0}, \quad (14.4)$$

$$K_n = \frac{1}{RCU_0}. \quad (14.5)$$

Відносна похибка перетворення

$$\delta_n = \frac{\Delta f}{f'} = -\frac{U_y t_i}{RCU_0 T + t_i U_y}, \quad (14.6)$$

де $\Delta f = f - f'$.

Схема ПНЧ зі слідкуючим зрівноваженням наведена на рисунку 14.2. Характеристика перетворювання вказаного ПНЧ має вигляд:

$$f = \frac{U_y}{t_0 U_0}, \quad (14.7)$$

де t_0 – незмінна тривалість імпульсу зворотного зв'язку.

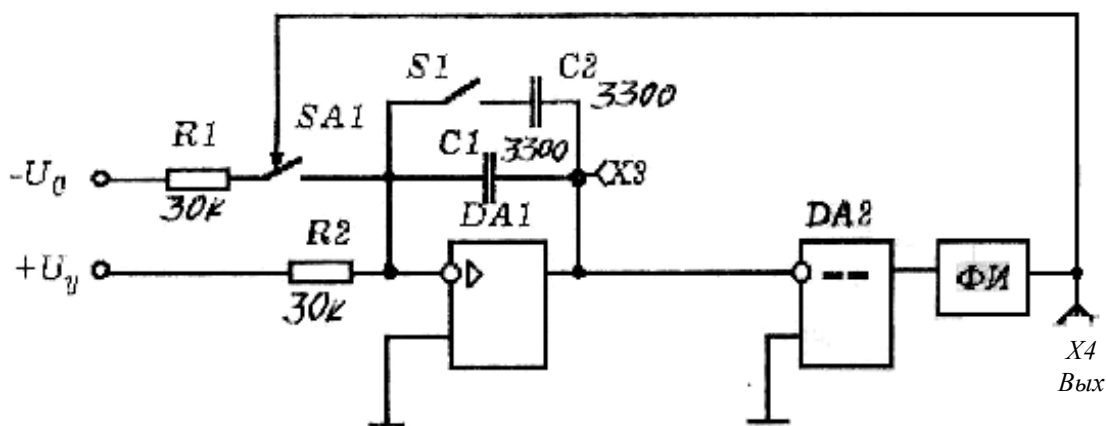


Рисунок 14.2 – Схема ПНЧ зі слідкуючим зрівноваженням

Коефіцієнт перетворення визначається за формулою:

$$K_n = \frac{1}{t_0 U_0}. \quad (14.8)$$

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

$$U_m = \frac{U_0 - U_y}{Re} t_0. \quad (14.9)$$

Схема перетворювача “напряга – час” з розгортаючим зрівноваженням наведена на рисунку 14.3.

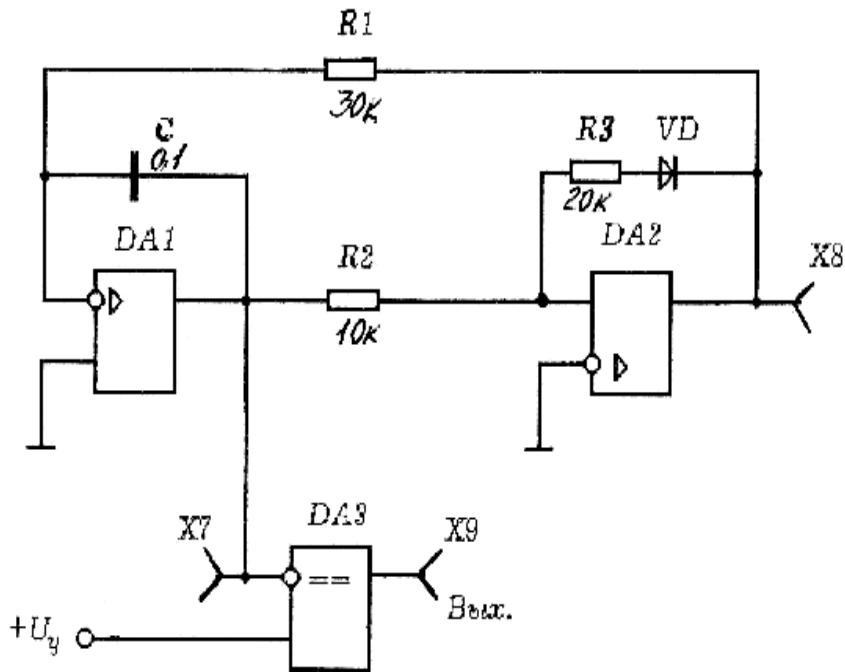


Рисунок 14.3 – Схема перетворювача “напруга – час” з розгортаючим зрівноваженням

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 $U_{відн.}$:

$$U_m = U_{відн.} = \frac{R_2}{R_3} U_T, \quad (14.10)$$

де U_T – напруга в точці X8.

Період трикутних імпульсів визначається за формулою:

$$T = \frac{2R_1 R_2}{R_3} C. \quad (14.11)$$

Тривалість вихідних імпульсів (точка X9) визначається рівнянням:

$$t_i = 2R_1 C \frac{U_y}{U_T}. \quad (14.12)$$

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

14.2 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. 14.1):

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 14.1;

Таблиця 14.1

$U_y, \text{В}$		$-0,5$	-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. 14.2):

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 (14.7), попередньо вимірявши величину t_0 . Результати розрахунків звести до таблиці 14.2;

Таблиця 14.2

$U_y, \text{В}$	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 14.3.

Таблиця 14.3

$U_y, \text{В}$	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. 14.3):

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 (14.10) та (14.11), 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 (15.12). Отримані результати звести до таблиці 14.4;

Таблиця 14.4

$U_y, \text{В}$	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.

14.3 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.

14.4 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-Х..

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 „Λ” 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 ро-

з'ємів „I”, „II” та „U” з лівого боку стенда. Необхідно звернути увагу на правильне приєднання кабелів до загальної шини „ \perp ”, 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 I”, „ЯРКОСТЬ II”, „ФОКУС I”, „ФОКУС II”, „АСТИГМ. I”, „АСТИГМ. II”, „УРОВЕНЬ” – у середнє положення;
- ручку „СТАБ.” – у крайнє праве положення;
- перемикач „СИНХРОНИЗАЦІЯ” – у положення „ВНУТР. I”.

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 „У I” або „У II” 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. I”, якщо сигнал подається на вхід „У I”, або в положення „ВНУТР. II”, якщо

сигнал подається на вхід „УІ”;

- ручку „УРОВЕНЬ”, яка розташована над перемикачем „СИНХРОНИЗАЦИЯ”, 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_r (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 вгору відносно нульового рівня відповідає знаку плюс, а зміщення вниз – знаку мінус.

ДОДАТОК В

Правила роботи з генератором ГЗ-53

1 Калібровка шкали генератора

Для калібровки необхідно виконати таке:

- приєднати генератор за допомогою шнура до мережі живлення і увімкнути тумблер “СЕТЬ”;
- перемикач „Поддиапазоны” встановити на перший піддіапазон ($0 \vee 5$);
- ручкою „Частота Hz” встановити частоту біля 100 Hz;
- перемикачем „Предел шкалы” і ручкою „Регулирование выхода” встановити вихідну напругу генератора 2В (за шкалою вольтметра);
- ручкою „Частота Hz” встановити $f=0$ і, плавно обертаючи ручку „Установка нуля”, домогтися нульової напруги на виході за вольтметром генератора, поки його стрілка не стане на нуль.

Якщо не вдається домогтися нульової напруги ручкою „Установка нуля”, то необхідно встановити нуль ручкою „Частота Hz”, при цьому значення частоти за шкалою генератора буде абсолютною похибкою, яку необхідно враховувати при визначенні частоти.

Для точної калібровки та досягнення мінімального значення похибки необхідно прогріти генератор протягом 5 хвилин.

2 Установка частоти та вихідної напруги

Частота виставляється на великій та малій шкалах у залежності від встановленого діапазону. За великою шкалою відраховуються сотні та тисячі герц, а за малою – одиниці та десятки герц.

Вихідна напруга регулюється грубо за допомогою перемикача „Пределы шкал” і плавно ручкою „Регулировка выхода”. Знімається вихідний сигнал з роз’ємів „Выход”, які є рівнозначними.

ДОДАТОК Г

Маркування опору резисторів

Маркування у вигляді кольорових смуг показано на рисунку Г.1.

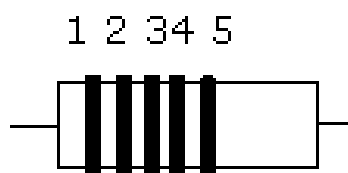


Рисунок Г.1 – Маркування опору

1-а і 2-а смуги позначають першу і другу цифри числа, 3-я смуга – множник, 4-а – допустиме відхилення опору від номінала, 5-а – надійність (може бути відсутня).

У таблиці Г.1 приведена розшифровка кольору смуг.

Таблиця Г.1

Цифри числа (1 і 2 смуги)	Колір смуги	Множник (3 смуга)
-	Сріблястий	10-2
-	Золотистий	10-1
0	Чорний	100
1	Рудий	101
2	Червоний	102
3	Оранжевий	103
4	Жовтий	104
5	Зелений	105
6	Блакитний	106
7	Фіолетовий	107
8	Сірий	-
9	Білий	-

Допустиме відхилення опору (колір 4-ої смуги):

- 2% – червоний;
- 5% – золотистий;
- 10% – сріблястий;
- 20% – не маркується.

Навчальне видання

**ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОПРОЦЕСОРНА
ТЕХНІКА**

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
(для студентів денної форми навчання
спеціальності 151)

Укладач

Степан Павлович Сус

За авторською редакцією