

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
до лабораторного практикуму з дисципліни
“Електронні системи”
для студентів спеціальності
6.050801 “Мікро- та наноелектроніка”,
денної і заочної форм навчання

2012

Методичні вказівки до лабораторного практикуму з дисципліни “Електронні системи” для студентів спеціальності 6.050801 “Мікро- та наноелектроніка” денної і заочної форм навчання / Укл.: Н.М. Нагорна, Є.Л. Жавжаров. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2012.– 62 с.

Укладачі: Н.М. Нагорна, ст. викладач
Є.Л. Жавжаров, доц., канд.фіз.-матем. наук

Рецензент: О.В.Томашевський, доц., канд.техн.наук

Відповідальний за випуск: Г.В. Сніжної, доц., канд.фіз.-матем. наук

Затверджено
на засіданні кафедри
“Мікро- та наноелектроніка”
Протокол № 9
від 16 червня 2012 р.

ЗМІСТ

1 Лабораторна робота №1 „Перетворення вихідних сигналів датчиків”	4
1.1 Теоретичні відомості	4
1.2 Завдання.	10
1.3 Зміст звіту.	11
1.4 Контрольні запитання.	11
2 Лабораторна робота №2 „Формування кодів індикаторів”. ..	12
2.1 Теоретичні відомості	12
2.2 Завдання.	19
2.3 Зміст звіту	20
2.4 Контрольні запитання	20
3 Лабораторна робота №3 „Спектральне представлення сигналів”	21
3.1 Теоретичні відомості.	21
3.2 Завдання.	32
3.3 Зміст звіту.	32
3.4 Контрольні запитання.	32
4 Лабораторна робота №4 „Дослідження цифрових вимірювальних систем”.	33
4.1 Теоретичні відомості.	33
4.2 Завдання.	44
4.3 Зміст звіту.	45
4.4 Контрольні запитання.	46
5 Лабораторна робота №5 „Завадостійке кодування”.	46
5.1 Теоретичні відомості.	46
5.2 Завдання.	55
5.3 Порядок оформлення звіту.	55
5.4 Контрольні запитання.	55
6 Лабораторна робота №6 „Системи захисту інформації”.	56
6.1 Теоретичні відомості	56
6.2 Завдання.	61
6.3 Порядок оформлення звіту.	62
6.4 Контрольні запитання.	62
Рекомендована література.	62

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 "ПЕРЕТВОРЕННЯ ВИХІДНИХ СИГНАЛІВ ДАТЧИКІВ"

Метою роботи є: вивчення способів перетворення сигналів датчика на основі оптопари в сигнали прямокутної форми заданої частоти і коефіцієнта заповнення.

1.1 Теоретичні відомості

1.1.1 Принцип дії оптопереривачів

Оснoву оптопари складає випромінюючий діод, який може працювати або у видимому світлі або у інфрачервоному діапазоні, а також приймач випромінювання.

Існують оптопари із закритим і відкритим оптичними каналами.

Оптопари із *закритим оптичним каналом* застосовуються в електронних системах для гальванічної розв'язки різних ділянок схеми.

Оптопари з *відкритим оптичним каналом* називають *щілинними* оптронами - *оптопереривачами*. Принцип їх дії полягає у зміні стану фототранзистора при перетині оптичної осі непрозорим предметом.

При проектуванні систем збору і обробки даних розробники можуть застосовувати оптопереривачі з різною шириною оптичного каналу, що випускаються промисловістю.

За функціональним призначенням щілинні оптопари (оптрони) є сенсорними пристроями - датчиками.

Щілинні оптрони застосовують у системах для реєстрації періодично повторюваних механічних рухів, наприклад, руху стрічки конвеєра, переміщення приводних механізмів пристроїв автоматики.

Вони можуть бути датчиками положення, датчиками кута повороту, тахометрами (лічильниками числа обертів), електронними кінцевими вимикачами. Використовують їх в офісній техніці, телекомунікаціях, системах охоронної сигналізації, комп'ютерних системах.

Структурну схему перетворювача, що включає оптрон, наведено на рис. 1.1. Оптрон в схемі представлений трьома блоками: випромі-



Рисунок 1.1 - Узагальнена структурна схема перетворювача

нювачем, оптичним середовищем і фотоприймачем.

Блок вхідного пристрою служить, в загальному випадку, для оптимізації робочого режиму випромінювача, наприклад, для зміщення світлодіода на лінійну ділянку ватт-амперної характеристики. Вхідний блок має мати високий ККД перетворення, високу швидкодію, широкий динамічний діапазон допустимих вхідних струмів (для лінійних електронних систем), мале значення "порогового" вхідного струму, при якому забезпечується надійна передача інформації по ланцюгу.

Пристрій керування є присутнім в схемі у разі використання оптрона з керованим оптичним каналом.

Вихідний пристрій необхідний для перетворення сигналу фотоприймача у стандартну форму, зручну для впливу на подальші за оптроном каскади. Практично обов'язковою функцією вихідного пристрою є підсилення сигналу.

Типову схему ввімкнення оптопереривача наведено на рис. 1.2. У схемі присутні два струмообмежувальні резистори.

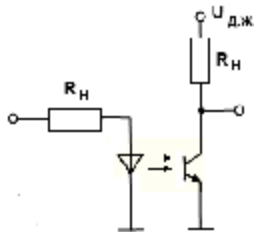


Рисунок 1.2 – Типова схема ввімкнення оптопереривача

Якщо оптичний канал оптрона відкритий, то під дією випромінювання фототранзистор перебуває в режимі насичення. Якщо непрозорий предмет перетне простір між світлодіодом і фототранзистором, то потік випромінювання урветься, фототранзистор перейде у закритий стан. При цьому на виході оптрона встановлюється напруга, близька до напруги живлення, тобто, на виході оптрона формується електричний відгук роботи системи, що детектується, в реальному часі.

Транзисторні оптопари (рис. 1.2) своїми властивостями вигідно відрізняються від інших видів оптронів. Це передусім гнучкість схемотехніки, що проявляється в тому, що колекторним струмом можна управляти як по ланцюгу світлодіода (оптично), так і по базовому ланцюгу (електрично), а також в тому, що вихідний ланцюг може пра-

цювати і в лінійному і в ключовому режимі. Механізм внутрішнього підсилення забезпечує набуття великих значень коефіцієнта передачі струму K_i , так що подальші підсилювальні каскади не завжди потрібні. Важливо, що при цьому інерційність оптопар не дуже велика і для багатьох випадків цілком допустима. Вихідні струми фототранзисторів значно вищі, ніж, наприклад, у фотодіодів, що робить їх придатними для комутації широкого кола електричних ланцюгів. Нарешті, слід зазначити, що усе це досягається при відносній технологічній простоті транзисторних оптопар.

Найважливішою характеристикою оптрона є коефіцієнт передачі за струмом (КПС) - відношення вихідного струму колектора фототранзистора до вхідного струму через світлодіод. Типовий струм світлодіода складає 10...20 мА, і при КПС щільного перемикача порядку 0,1 вихідний струм фототранзистора складає 1...2 мА.

КПС залежить від характеристик світлодіода і фототранзистора, тому номінал колекторного резистора повинен гарантувати насичення фототранзистора (при його роботі в ключовому режимі) і струм, достатній для отримання амплітуд логічних рівнів при підключенні датчика до мікроконтролера або іншої цифрової схеми.

1.1.2 Схеми на основі інтегрального таймера КР1006ВИ1

Однієї з найширше вживаних в електронних системах аналого-цифрових ІМС є інтегральний таймер типу КР1006ВИ1 (зарубіжні аналоги SE555, NE555).

Таймер призначений для формування як поодинокого імпульсу заданої тривалості, так і безперервної послідовності імпульсів із заданою частотою та коефіцієнтом заповнення.

Розглянемо найтипівіші параметри імпульсного сигналу. На рис. 1.3 показані наступні параметри імпульсного сигналу:

- t_f – час наростання (фронту);
- t_c – час спаду (зрізу);
- t_{BM} – час вмикання;
- t_{BIM} – час вимикання.

Коефіцієнт заповнення сигналу визначається за формулою:

$$K_z = \frac{t_{BM}}{t_{BM} + t_{BIM}} \cdot 100\%$$

Частота повторення імпульсів характеризує число імпульсів, що

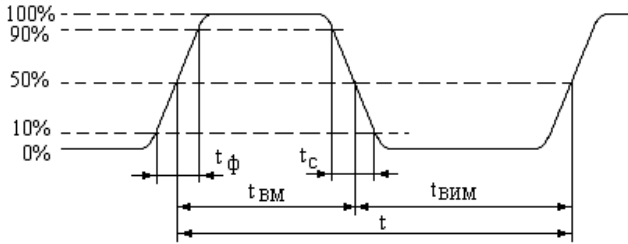


Рисунок 1.3 – Параметри імпульсного сигналу

припадає на заданий часовий інтервал, зазвичай на 1с. Сигнал з частотою $f = 1000$ кГц відповідає 1000 імпульсів в секунду.

Період імпульсів імпульсного сигналу - це час одного повного циклу імпульсу: $t = 1/f$.

Схема таймера (рис. 1.4) складається з двох операційних підсилювачів, використовуваних як компаратори, RS -тригера, прецизійного резистивного дільника напруги, вихідного підсилювача потужності, працюючого в режимі AB ($VT2$, $VT3$) і вихідного каскаду на $VT1$.

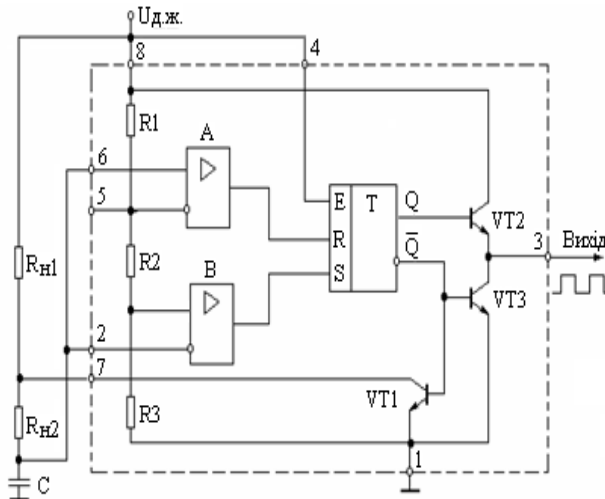


Рисунок 1.4 - Функціональна схема таймера і мультивібратора на його основі

Дільник $R1$, $R2$, $R3$ задає порогову напругу для компараторів. На компаратор A подається опорна напруга $2/3U_{Д.ж.}$, на компаратор B - $1/3U_{Д.ж.}$. Через вивід 5 опорну напругу можна регулювати, не замінюючи напругу живлення.

Джерело живлення підключається до виводу 8. Напруга живлення таймера може змінюватися в інтервалі 5...15 В.

На вивід 4 подається сигнал дозволу E . Якщо $E = "1"$ (більше 1В), то робота таймера дозволена, якщо $E = "0"$ (менше 0,4 В), то вихід таймера перебуває у стані "нуль" (менше 0,1 В). Це пасивний режим.

Вихідний каскад на $VT2$, $VT3$ забезпечує вихідний струм до 100 мА, величина якого дозволяє безпосередньо управляти електромагнітним реле.

Компаратори A і B призначені для керування тригером, на вході якого формуються імпульси прямокутної форми.

Розглянемо роботу таймера в режимі мультивібратора. До входів 2, 4, 6, 7 підключається часозадавальний RC - ланцюг.

Нехай в початковий момент ємність C не заряджена. При вмиканні живлення вона починає заряджатися через R_{H1} і R_{H2} .

Напруга на ємності U_C подається на входи компараторів A і B .

Коли $VT1$ відкривається, конденсатор C починає розряджатися по ланцюгу R_{H2} , $VT1$ на землю. Коли $VT1$ закривається, конденсатор заряджається. І весь цикл роботи таймера повторюється безперервно.

Основні параметри мультивібратора розраховуються так:

$$t_{BM} = 0,693(R_{H1} + R_{H2})C; \quad t_{BIM} = 0,693R_{H2}C;$$

$$t = t_{BM} + t_{BIM} = 0,693(R_{H1} + 2R_{H2})C;$$

$$f = \frac{1,44}{(R_{H1} + 2R_{H2})C}; \quad K_3 = \frac{t_{BM}}{t_{BM} + t_{BIM}} = \frac{R_{H1} + R_{H2}}{R_{H1} + 2R_{H2}} \cdot 100\%.$$

Коефіцієнт форми сигналу

$$K_{\phi} = \frac{t_{BM}}{t_{BIM}} = \frac{R_{H1} + R_{H2}}{R_{H2}}.$$

Для отримання симетричного прямокутного сигналу слід вибрати резистор $R_{H2} \gg R_{H1}$.

Одновібратор на базі таймера КР1006ВИ1 показано на рис. 1.5.

Дільник $R1$, $R2$, $R3$ задає порогову напругу для компараторів. На компаратор A подається опорна напруга. На вхід 2 подається спадаючий фронт сигналу, тобто перехід від "1" до "0". До приходу сигналу "Запуск" на виході компаратора B присутня напруга низького рівня, оскільки $U_{вхВ} > U_{опВ}$ (тобто $S = 0$).

На виході компаратора A низький рівень, оскільки $U_{вхА} < U_{опА}$

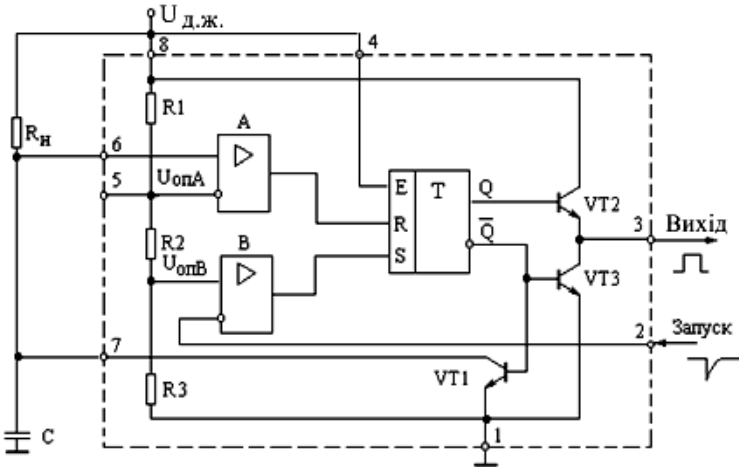


Рисунок 1.5 - Функціональна схема таймера і одновібратора на його основі

(тобто $R = 0$). На прямому виході Q низький рівень, такий же рівень і на виході схеми. На інверсному виході тригера високий рівень. Ємність весь час розряджена, оскільки $VT1$ відкритий.

Якщо на вхід 2 надходить імпульс "запуск", то $U_{вихB} = "1"$, $S = "1"$, $Q = "1"$, на виході схеми з'являється поодинокий імпульс. Його тривалість залежить від часу зарядки ємності C до $U_{опA}$.

Часовий інтервал, протягом якого на виході діє напруга високого рівня, $t = 1,1R_H C$. Послідовні режими роботи одновібратора наведено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Стани елементів і вузлів одновібратора

Стани		Назва режиму			
		Очікування	Надходження сигналу "запуск"	Припинення сигналу "запуск"	Розрядка конденсатора до $U_C = 0$
Конденсатор C		Розряджений $U_C = 0$	Зарядка $U_C < U_{опA}$	Зарядка $U_C < U_{опA}$	Розрядка $U_C > U_{опA}$
Компаратор	A	$U_{вхA} < U_{опA}$	$U_{вхA} < U_{опA}$	$U_{вхA} < U_{опA}$	$U_{вхA} > U_{опA}$
	B	$U_{вхB} > U_{опB}$	$U_{вхB} < U_{опB}$	$U_{вхB} > U_{опB}$	$U_{вхB} > U_{опB}$
Тригер		Зберігання $R=S=0; Q=0$	Установка 1 $R=0; S=1; Q=1$	Зберігання $R=S=0; Q=1$	Установка 0 $R=1; S=0; Q=0$
Транзистор	$VT1$	Відкритий	Закритий	Закритий	Відкритий
	$VT2$	Закритий	Відкритий	Відкритий	Закритий
	$VT3$	Відкритий	Закритий	Закритий	Відкритий
Вихід схеми		0	1	1	0

Вхідний струм компаратора складає $\approx 0,1$ мА, струм закритого транзистора $VT1 \approx 0,5$ мкА. Цими струмами визначається найбільший допустимий опір часозадавального резистора R_H . Рекомендоване значення R_H : $1 \text{ кОм} \div 10 \text{ МОм}$. Найменша можлива тривалість імпульсу обмежена швидкодією таймера і рівна 10 мкс. Найбільша тривалість практично обмежена лише допустимими габаритними розмірами конденсатора C . Рекомендована ширина запускаючого імпульсу $t_{\text{зап}} < t_{\text{вм}}/4$.

1.2 Завдання

1.2.1 Розгляньте схему установки, представлену на рис. 1.6, і опишіть принцип її роботи. При описанні врахуйте, що для компараторів таймера справедливі умови: при $U_{\text{вх А}} > U_{\text{оп А}}$ вихідна напруга компаратора A $U_{\text{вих А}} = 1$, а при $U_{\text{вх В}} > U_{\text{оп В}}$ вихідна напруга компаратора B $U_{\text{вих В}} = 0$. За таких умов інформаційні сигнали тригера $S=0$, $R=1$.

1.2.2 На основі рис. 1.6 складіть схему експерименту з урахуванням того, що до виходу схеми підключатиметься осцилограф або мультиметр (за вибором викладача).

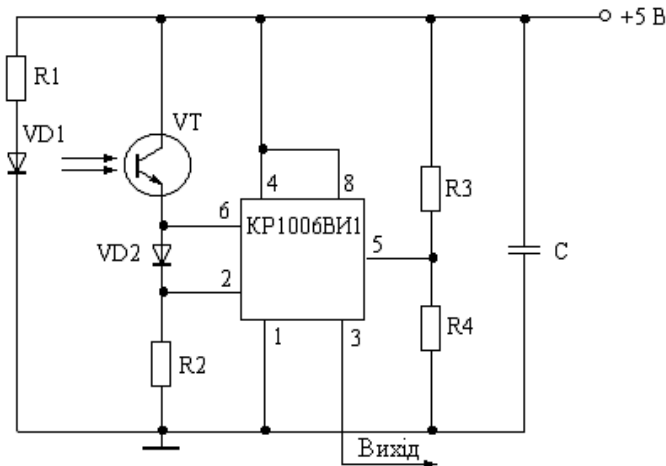


Рисунок 1.6 – Схема дослідної установки

1.2.3 Зберіть схему експерименту і дослідіть її роботу в різних режимах. Зафіксуйте, як змінюється напруга на фототранзисторі залежно від режиму роботи схеми. Зробіть висновок щодо величини опору фототранзистора в різних режимах його роботи.

1.2.4 Зобразьте часові діаграми роботи схеми в різних режимах.

1.2.5 Внесіть пропозиції щодо зміни параметрів компонентів схеми при необхідності зміни параметрів імпульсів на виході схеми. Параметри змінених імпульсів задаються викладачем.

1.3 Порядок оформлення звіту

Звіт повинен містити: опис роботи схеми; схему експерименту; часові діаграми; результати вимірів; висновки за результатами роботи.

1.4 Контрольні запитання

1.4.1 На виході електронного пристрою мають бути сформовані серії імпульсів: по 5 імпульсів в кожній серії. Частота надходження імпульсів в кожній серії складає 10 Гц, коефіцієнт заповнення дорівнює 0,5. Часовий інтервал між серіями імпульсів повинен складати 0,1 секунду. З якою швидкістю повинна рухатися перфорована стрічка в оптичному середовищі оптопереривача, якщо ширина отворів в ній складає 25 мм і відстань між отворами також дорівнює 25 мм? Яка має бути відстань між групами отворів на стрічці?

1.4.2 На виході пристрою повинні формуватися серії імпульсів в кількості 10 імпульсів у кожній серії. Частота надходження імпульсів складає 10 Гц, коефіцієнт заповнення $K_z = 0,5$. Часовий інтервал між серіями імпульсів дорівнює 1 с. Швидкість руху перфорованої стрічки, що рухається у оптичному середовищі оптопереривача, дорівнює 0,1 м/с. Яким чином повинна бути перфорована стрічка для отримання імпульсів заданих параметрів. Інерційність елементів електронної схеми враховувати не треба.

1.4.3 Розрахуйте опорну напругу на входах компараторів мікросхеми таймера, якщо, як показано на рис. 1.6, в схемі дослідної установки до виводу 5 мікросхеми підключені резистори R_3 , R_4 . Номінали вказаних резисторів R_3 , R_4 складають 470 Ом. При розрахунку слід врахувати, що значення опорів резисторів R_1 , R_2 , R_3 , що входять до складу дільника мікросхеми таймера, складають 1,5 кОм (рис. 1.4).

Яка опорна напруга буде встановлена на входах компараторів мікросхеми таймера за відсутності опорів R_3 , R_4 (при цьому вивід 5 залишається вільним)?

За результатами розрахунків зробіть висновок щодо необхідності присутності резисторів R_3 , R_4 в схемі дослідної установки.

1.4.4 Розрахуйте падіння напруги на світлодіоді (рис. 1.6), якщо опір резистора R_1 складає 200 Ом, а струм в ланцюзі світлодіода Дорі-

вноє 20 мА.

1.4.5 Для чого в схемі дослідної установки (рис. 1.6) є присутнім конденсатор C ?

1.4.6 Номінали резисторів R_3 , R_4 в схемі дослідної установки (рис. 1.6) складають 470 Ом. Розрахуйте частоту височастотних завад, присутніх на шині живлення, при яких активний опір конденсатора був би в 2 рази менше суми опорів R_3 , R_4 .

1.4.7 Падіння напруги на відкритому фототранзисторі VT складає 0,4В (рис. 1.6), на діоді VD_2 - 0,7 В. Опір резистора R_2 складає 33 кОм. Розрахуйте струм в емітерному ланцюзі фототранзистора VT . Максимальні входні струми (виводи 6, 2) таймера складають 2 мА. Тому при розрахунку ними можна знехтувати.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

"ФОРМУВАННЯ КОДІВ ІНДИКАТОРІВ"

Метою роботи є: вивчення принципу дії перетворювача двійкового коду в код семисегментного індикатора, розгляд його структурної схеми і проведення експериментальних досліджень.

2.1 Теоретичні відомості

2.1.1 Керування семисегментними індикаторами

Для візуальної індикації стану електронних цифрових пристроїв служать індикаторні пристрої. На практиці широко застосовуються семисегментні світлодіодні індикатори. Такі індикатори дозволяють візуально реєструвати числа в десятковій, вісімковій, шістнадцятковій системах числення.

Позначення сегментів семисегментного індикатора наведено на рис. 2.1,а.

У табл. 2.1 наведено основні параметри семисегментних індикаторів типу АЛС. У табл. 2.2 наведено номери їх виводів (позначення DP – десяткова точка).

Перетворювачі двійкового коду в семисегментний код застосовуються в пристроях візуальної індикації десятичних цифр на світловому табло, що використовують світлодіоди, індикатори на рідких кристалах, електролюмінісцентні або електровакуумні прилади.



а



б

Рисунок 2.1 – Позначення сегментів індикатора (а) та відображення цифр індикатором (б)

Яскравість сегмента залежить від прямого струму $I_{\text{пр}}$. У табл. 2.1 струм $I_{\text{пр}}$, для якого наведено значення сили світла, вказано в дужках.

Таблиця 2.1 – Основні параметри світлодіодних індикаторів

Тип індикатора АЛС	Колір	Сила світла, мкд	$U_{\text{пр}}$, В	$I_{\text{пр max}}$, мА	Спільний електрод
314А	Красний	0,285(5)	2	8	Катод
314Б	Красний	0,285(5)	2	8	Анод
321А	Жовто-зелений	0,12(20)	3,6	25	Катод
321Б	Жовто-зелений	0,12(20)	3,6	25	Анод
324А	Красний	0,15(20)	2,5	25	Катод
324Б	Красний	0,15(20)	2,5	25	Анод

Таблиця 2.2 - Номери виводів світлодіодних індикаторів

АЛС	Номери виводів								
	А	В	С	Д	Е	F	G	DP	Спільний електрод
314А	7	6	4	2	1	10	9	5	3,8
314Б	7	6	4	2	1	10	9	5	3,8
321А	14	13	8	7	6	1	2	9	4,12
321Б	1	13	10	8	7	2	11	6	3,9,14
324А	14	13	8	7	6	1	2	9	4,12
324Б	1	13	10	8	7	2	11	6	3,9,14

Перетворювачі двійкового коду в семисегментний код мають у своєму складі дешифратори, призначені для формування сигналів, що керують роботою пристроїв індикації.

Для сполучення сегментних індикаторів з мікросхемами ТТЛ-логіки використовуються мікросхеми К514ИД1, К514ИД2, К514ИД4.

На рис. 2.2 показані ІС перетворювачів двійково-десятьового коду, виготовлені за ТТЛ-технологією (у дужках вказані номери виводів для ІС КР514 ИД1/2, а без дужок – К514ИД1/2; $+U_{д.ж.}$ – вивід 14, спільний вивід – вивід 6 для ІС КР514ИД1/2).

Мікросхеми К514ИД1 та К514ИД4 мають відкриті емітерні виходи, а також вбудовані струмообмежувальні резистори в колекторних ланцюгах транзисторів. Вказані мікросхеми використовуються для керування індикаторами зі спільним катодом без зовнішніх резисторів. ІС 514ИД1 слід використовувати для управління індикатором АЛС314А, оскільки $I_{пр} = 3 \text{ мА}$ не забезпечує прийнятної яскравості інших індикаторів.

Мікросхема К514ИД2 має відкриті колекторні виходи і використовується з індикаторами, що мають спільний анод (рис. 2.2). При цьому потрібно застосування зовнішніх резисторів. Допустимий струм мікросхеми по кожному виходу 22 мА.

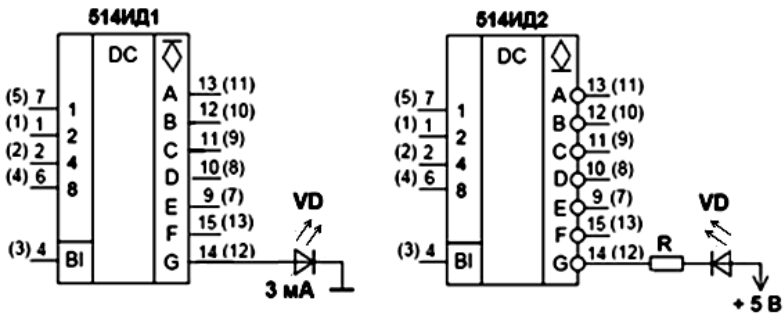


Рисунок 2.2 - Перетворювачі двійкового коду в семисегментний код

Логічне функціонування перетворювача 514ИД2, що формує код керування семисегментним індикатором, визначається табл. 2.3.

У табл. 2.3 позначення вихідних сигналів відповідають позначенням сегментів А...G індикатора (рис. 2.1,а).

Таблиця 2.3 – Логічне функціонування перетворювача 514ИД2

Вхідні сигнали				Вихідні сигнали							Символ
x_3	x_2	x_1	x_0	A	B	C	D	E	F	G	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	2
0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	3
0	1	0	0	1	0	0	1	1	0	0	4
0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	5
0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	6
0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	7
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	9

2.1.2 Принцип дії досліджуваного пристрою

Досліджуваний пристрій здійснює відображення цифрової інформації чотирирозрядного двійкового коду за допомогою двох семисегментних світлодіодних індикаторів.

За допомогою чотирьох розрядів двійкового числа можна закодувати числа від 0 до 15 включно. Графічний вид таких сигналів наведено на рис. 2.3, а.

Наприклад, числу 1 відповідає високий логічний рівень (логічна "1") в самому молодшому розряді з вагою 2^0 , а в інших трьох - низькі рівні, що відповідають логічному нулю. Код в цьому випадку запишеться у вигляді: 0001. Для числа 2 високий логічний рівень буде в другому, більш старшому розряді - 2^1 . У цьому

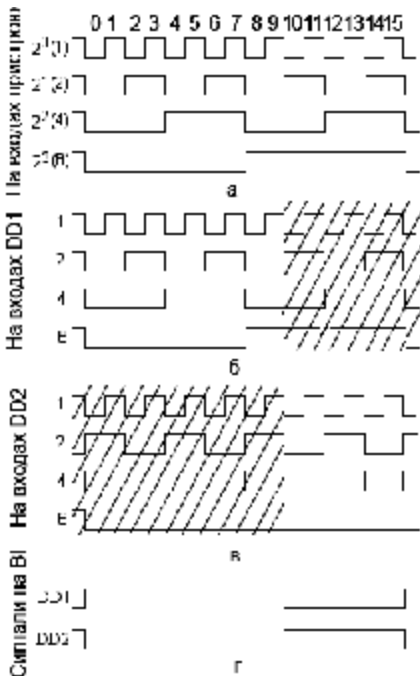


Рисунок 2.3 – Часові діаграми роботи перетворювача коду

випадку код запишеться у вигляді: 0010. Числу 3 відповідатиме код 0011 тощо.

Принципову схему перетворювача, який візуально відображає інформацію у вигляді десяткового коду, наведено на рис. 2.4.

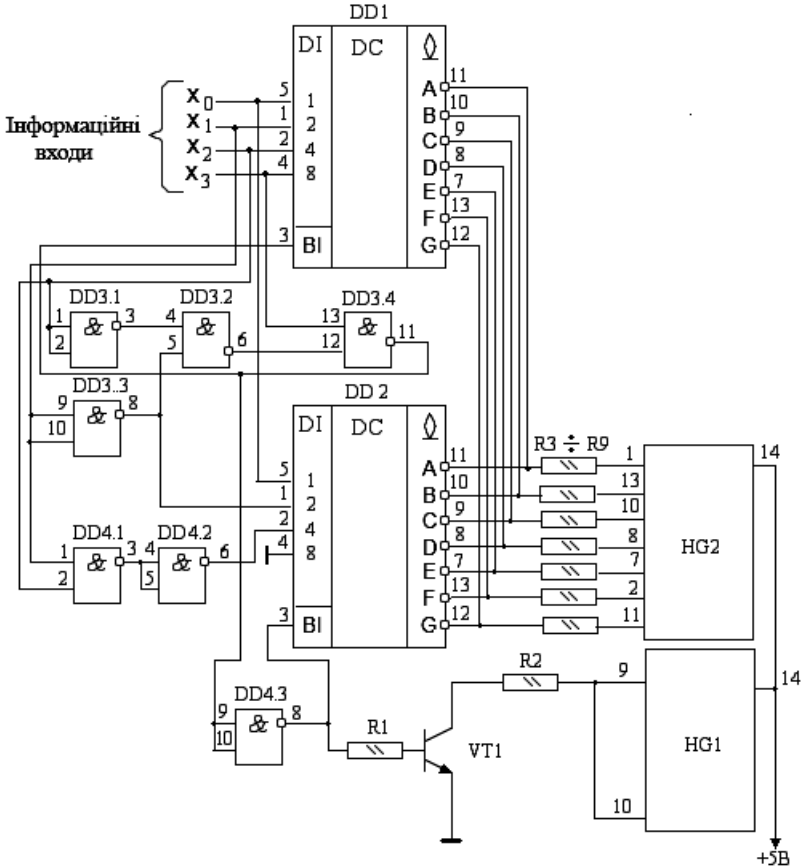


Рисунок 2.4 – Принципова схема перетворювача коду

Основу пристрою складають два двійково-десяткові дешифратори типу КР514ИД2, що працюють у протифазі по вмиканню.

Табло перетворювача складається з двох світлодіодних матриць типу АЛС321Б - HG_1 і HG_2 , які мають стандартно розташовані сім сегментів: A, B, C, D, E, F, G і відображають відповідно розряди десятків і одиниць числа.

Матрицею *HG1* керує транзисторний ключ *VT1*, а матрицею *HG2* – або дешифратор *DD1*, або дешифратор *DD2* в залежності від числа на вході пристрою. Так, при надходженні чисел від 0 до 9 матрицею керує дешифратор *DD1*, а з надходженням чисел, більших за 9, - *DD2*.

Таке включення дешифраторів виявилось можливим за рахунок використання особливостей мікросхеми КР514ИД2. А саме: можливості перемикання мікросхеми у стан "високого імпедансу" і наявності "відкритого колектора" у вихідних каскадах, що, у свою чергу, дозволяє підключати виходи декількох мікросхем типу К514ИД2 до одного і того ж навантаження.

В даному випадку паралельно підключені сім відповідних виходів двох мікросхем *DD1* і *DD2*. А спільним навантаженням для них є сім відповідних сегментів світлодіодного індикатора *HG2*. У стан "високого імпедансу" мікросхема перемикається поданням на вхід *BI* (ви-від 3) логічного нуля. Роботу перетворювача наочно ілюструють діаграми сигналів на відповідних входах *DD1* і *DD2* (рис. 2.3, б, в).

Сигнали, що приходять на вхід пристрою (рис. 2.3, а), передаються на відповідні входи *DD1* без зміни.

Принцип побудови схеми перетворювача можна пояснити за допомогою таблиці перекодування для дешифратора *DD2* (табл. 2.4), яка складена на основі рис. 2.2.

Таблиця 2.4 - Таблиця перекодування дешифратора *DD2*

Входи схеми				Входи DD2				Символ, що відображається
x_3	x_2	x_1	x_0	D_3	D_2	D_1	D_0	
1	0	1	0	0	0	0	0	0
1	0	1	1	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	1	0	2
1	1	0	1	0	0	1	1	3
1	1	1	0	0	1	0	0	4
1	1	1	1	0	1	0	1	5

З аналізу таблиці складаються логічні рівняння для входів *DD2*

$$D_0 = x_0; \quad D_1 = \bar{x}_1; \quad D_2 = x_2 x_1; \quad D_3 = 0. \quad (2.1)$$

Відповідно рівнянням (2.1) побудована схема (рис. 2.4). А саме: без зміни приходять сигнали молодшого розряду x_0 на вхід D_0 мікро-

схеми *DD2*.

Сигнал x_1 поступає на вхід D_1 мікросхеми *DD2* через інвертор *DD3.3*. На вхід D_2 мікросхеми *DD2* приходить сигнал, сформований елементами *DD4.1* і *DD4.2*.

Вхід D_3 мікросхеми *DD2* приєднаний до спільного дроту. Вид сигналів на вході *DD2* показаний на рис. 2.3, в.

При надходженні на вхід будь-якого коду з чисел від 0 до 9 включно в робочому режимі знаходиться *DD1* (на рис. 2.3, б незаштрихована частина). В цей час *DD2* знаходиться в стані "високого імпедансу", тобто фактично в неробочому режимі. Якщо ж код числа, що поступив на вхід, перевищує 9, то *DD1* автоматично переводиться у неробочий, а *DD2* - в робочий стани. Вид сигналів на вході мікросхеми *DD2*, що знаходиться в робочому режимі, не заштрихований (рис. 2.3, в).

Сигнал дозволу на входах дешифраторів формується відповідно рівнянь

$$BI_{DD1} = \overline{(x_2 + x_1)x_3}; \quad BI_{DD2} = \overline{BI_{DD1}}.$$

По незаштрихованій частині графіка, зображеного на рис. 2.1, в, легко переконатися, що при появі на вході перетворювача будь-якого з кодів від 10 до 15 на індикаторі *HG2* спалахуватимуть цифри від 0 до 5 відповідно. А транзисторний ключ *VT1* у цей момент включатиме сегменти "В" і "С" індикатора *HG1* (на індикаторі горітиме цифра 1).

Для конструктивної реалізації перетворювача коду використані мікросхеми: дешифратори КР514ИД2 (рис.2.4), елементи "І-НЕ" К155ЛА3, індикатори АЛС324Б, транзистор КТ315, резистори МЛТО 25.

Транзистор КТ315 є транзистором *n-p-n* типу провідності, що дозволяє при поданні на базу транзистора рівня логічної 1 відкрити транзистор і подати, у свою чергу, логічну 1 на індикатор *HG1*.

Резистор *R1* номіналом 5,6 кОм обмежує струм бази транзистора *VT1* і не дозволяє йому потрапляти в режим насичення, що забезпечує стійку роботу ключа.

Резистори *R3*, ..., *R9* служать для обмеження струму колектора вихідних транзисторів, що знаходяться в мікросхемах *DD1* і *DD2*.

2.2 Завдання

2.2.1 Зберіть схему, що включає досліджувану установку і джерело стабілізованої напруги +5 В.

2.2.2 Перевірте працездатність установки шляхом подання на входи різних комбінацій вхідних сигналів.

2.2.3 Зобразьте на часових діаграмах послідовності вхідних сигналів і відповідні їм сигнали, що формуються перетворювачем на входах $DD1$, $DD2$ і BI_{DD1} , BI_{DD2} .

2.2.4 Синтезуйте перетворювач чисел від 0 до K у код семисегментного індикатора. Параметр K і тип світлодіода вибираються у відповідності з заданим номером варіанта (табл.2.5).

2.2.5 Зобразьте принципову схему розробленого перетворювача.

Таблиця 2.5 – Параметри синтезуемого перетворювача

№ варіанту	K	Індикатор	№ варіанту	K	Індикатор
1	16	АЛС321А	13	20	АЛС324А
2	17	АЛС321А	14	21	АЛС324А
3	18	АЛС321А	15	22	АЛС324А
4	19	АЛС321А	16	23	АЛС324Б
5	16	АЛС321Б	17	24	АЛС324Б
6	17	АЛС321Б	18	25	АЛС324Б
7	18	АЛС321Б	19	26	АЛС324Б
8	19	АЛС321Б	20	27	АЛС324Б
9	20	АЛС321А	21	28	АЛС324А
10	21	АЛС321А	22	29	АЛС324А
11	22	АЛС321А	23	30	АЛС324А
12	23	АЛС321А	24	31	АЛС324Б

Вказівки:

– необхідні типи дешифраторів виберіть самостійно, користуючись інформацією п. 2.1.1 (табл. 2.1, 2.2, рис. 2.2);

– при синтезі перетворювача бажано скласти логічні рівняння, що описують роботу перетворювача, на основі складеної таблиці істинності, форма якої показана у табл. 2.6; верхня частина таблиці відповідає вхідним сигналам $DD1$, нижня – $DD2$;

– якщо $K > 20$, то для індикації старшого розряду десяткового числа індикатором $HG1$ передбачити керування дешифратором.

Таблиця 2.6 – Форма таблиці істинності синтезуемого перетворювача

Чис- ла	Вхідні сигн.	Вхідні сигнали дешифраторів $D_3 D_2 D_1 D_0$	Сигнали керування BI	
	$x_4 x_3 x_2 x_1 x_0$		для $DD1$	для $DD2$
0			1	0
.			.	.
.			.	.
9			1	0
10			0	1
.			.	.
.			.	.
K			0	1

2.3 Порядок оформлення звіту

Звіт повинен містити: мету роботи; часові діаграми, отримані в результаті досліду; результати синтезу перетворювача коду у код семисегментного індикатора; висновки за результатами роботи.

2.4 Контрольні запитання

2.4.1 Індикатор АЛС321Б під'єднується до перетворювача коду. Напруга на спільному аноді складає 5 В. Розрахуйте номінали резисторів в катодних ланцюгах індикатора.

2.4.2 В чому полягає відмінність між перетворювачами 514ИД1 та 514ИД2?

2.4.3 Який принцип дії має досліджуваний пристрій?

2.4.4 Від чого залежить яскравість сегмента і індикатора?

2.4.5 Чим відрізняються схеми вихідних каскадів перетворювачів двійкового коду у код семисегментного індикатора, якщо один з них має вихідні каскади з відкритими емітерами, а другий – з відкритими колекторами?

2.4.6 Яку роль відіграє транзистор $VT1$ в схемі перетворювача коду (рис. 2.4)?

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

"СПЕКТРАЛЬНЕ ПРЕДСТАВЛЕННЯ СИГНАЛІВ"

Метою роботи є: ознайомлення з теоретичними відомостями щодо регулювання спектрів звукових сигналів; вивчення принципу роботи схеми спектрального індикатора; експериментальне дослідження роботи основних блоків спектрального індикатора; оцінка результатів експерименту.

3.1 Теоретичні відомості

3.1.1 Еквалайзери звукових сигналів

Сучасна аудіоапаратура й акустичні системи повною мірою забезпечують високоякісне відтворення звуку лише в спеціально обладнаному приміщенні, призначеному для прослуховування музики. Більшість же житлових приміщень, особливо невеликих розмірів, непридатна для цієї мети. У будь-якій точці подібних приміщень має місце таке явище, як інтерференція (додавання з різними фазами) звукових хвиль, що прийшли безпосередньо від акустичних систем і відбитих від стін, стелі, меблів. При цьому на деяких частотах виникають стоячі хвилі – пучності і провали інтенсивності звуку, що викликає необхідність регулювання АЧХ аудіосистеми у визначених смугах частот.

Регулювання АЧХ необхідне і для рішення інших задач: корегування звучання фонограм невисокої якості і похибок АЧХ апаратури, компенсування вікових змін слуху, підбору тембрального звучання за смаком слухача.

Для регулювання АЧХ використовують регулятори тембру і еквалайзери.

Регулятори тембру відносно прості, вони дозволяють плавно змінювати АЧХ на низьких і високих частотах на величину до 14÷18 дБ на краях діапазону.

Багато це чи мало? У невеликих приміщеннях звукові коливання з частотами нижче 40 Гц сильно послабляються, а в смузі 80÷200 Гц, навпаки, трохи підсилюються. Спад на нижчих частотах може досягати 10 дБ і більше. Здавалося б, регулятор тембру має достатні можливості для компенсації цього спаду. Але вирівняти АЧХ на цій ділянці простим регулятором тембру принципово неможливо. При підйомі найнижчих частот одночасно будуть підсилені і без того завищені си-

гнали в смузі 80...200 Гц. Положення може виправити лише **еквалайзер** – багатосмуговий регулятор, що дозволяє встановлювати необхідний коефіцієнт передачі у вузькій смузі частот.

Існують еквалайзери з ручним і електронним керуванням. Еквалайзери з ручним керуванням розділяють на графічні, параметричні і параграфічні.

У *графічних еквалайзерах* діапазон звукових частот розбитий на смуги (максимально – 24 смуги). Коефіцієнт передачі в окремих смугах регулюють змінними резисторами, наприклад, типу СПЗ-23, з лінійним регулятором, так що положення їхніх движків на панелі регулювань наочно відбиває форму АЧХ, це і визначає назву – графічні.

У сучасних еквалайзерах використовуються пасивні й активні RC-фільтри.

Параметричні еквалайзери відрізняються від графічних меншим числом смуг і тим, що центральні частоти смуг та їх ширина (добротність фільтра) можуть бути змінені слухачем.

Три – п'ятисмугові варіанти цих пристроїв дозволяють забезпечити ефективне регулювання АЧХ із результатами, досяжними в графічних еквалайзерах з 8...11 смугами.

Параграфічні еквалайзери за побудовою схем нічим не відрізняються від параметричних. У них лише використовується зовнішня сторона графічного еквалайзера – наочне представлення АЧХ.

Електронні еквалайзери дозволяють встановлювати одну з декількох заздалегідь сформованих АЧХ. Форми таких характеристик для прослуховування звукових програм різного характеру вже склалися. Для реалізації фіксованого набору АЧХ використовуються спеціалізовані мікросхеми.

3.1.2 Методика синтезу активного смугового фільтра

Активні фільтри - це електронні підсилювачі, що містять RC-ланцюги, включенні так, що підсилювачі проявляють виборчі властивості.

Передавальні функції простих фільтрів є рівняннями першого порядку. Коефіцієнт підсилення у них зменшується з частотою на 20 дБ/дек, що показує погані виборчі властивості. Для поліпшення вибіркової треба підвищувати порядок передавальних функцій за рахунок введення додаткових RC-ланцюгів або послідовного включення ідентичних активних фільтрів.

Схему смугового фільтра із складним негативним зворотним зв'язком наведено на рис. 3.1.

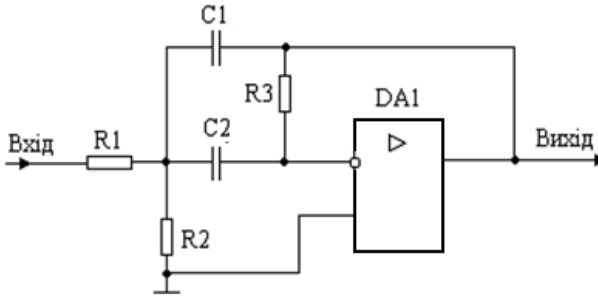


Рисунок 3.1 - Схема смугового фільтра другого порядку

Передавальна функція вказаного фільтра

$$K(p) = \frac{\frac{R2 \cdot R3}{R1 + R2} \cdot C1 \cdot p}{1 + \frac{R1 \cdot R2}{R1 + R2} \cdot (C1 + C2)p + \frac{R1 \cdot R2 \cdot R3}{R1 + R2} \cdot C1 \cdot C2 \cdot p^2}$$

Основними параметрами смугового фільтра другого порядку є: резонансна частота, коефіцієнт передачі на резонансній частоті, ширина смуги пропускання, добротність.

Резонансна частота смугового фільтра із складним негативним зворотним зв'язком рівна

$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R1 + R2}{R1 \cdot R2 \cdot R3 \cdot C1 \cdot C2}};$$

коефіцієнт передачі на резонансній частоті

$$-K_0 = 0,5 \cdot \frac{R3}{R1};$$

ширина смуги

$$B = 1/(\pi \cdot R3 \cdot C \cdot f_0), \text{ якщо прийняти } C = C1 = C2.$$

Добротність смугового фільтра визначається як відношення резонансної частоти до ширини смуги

$$Q = \pi \cdot R3 \cdot C \cdot f_0, \text{ якщо прийняти } C = C1 = C2.$$

З наведених формул видно, що коефіцієнт передачі, добротність, резонансна частота даного смугового фільтра можуть вибиратися довільно. Крім того, величина K_0 не залежить від R_2 , що не призводить до зміни коефіцієнта передачі і ширини смуги пропускання фільтра.

Якщо виключити зі схеми опір R_2 (тобто $R_2 \rightarrow \infty$), то з наведених формул виходить, що

$$-K_0 = 2Q^2.$$

При цьому, якщо коефіцієнт зворотного зв'язку значно більше одиниці, диференціальний коефіцієнт підсилення операційного підсилювача має бути більший за $2Q^2$. Про це слід пам'ятати при виборі ОП, особливо при роботі у високочастотному діапазоні.

За допомогою резистора R_2 можна добитися високої добротності при малому коефіцієнті передачі на резонансній частоті. Як видно зі схеми, зниження коефіцієнта передачі за допомогою R_2 визначається лише послабленням вхідного сигналу дільником напруги R_1, R_2 .

3.1.3 Спектральний індикатор

Спектральний індикатор може бути використаний як приставка до наявної аудіосистеми, або він може бути убудований у конкретний апарат: підсилювач, магнітофон, акустичну систему.

Спектральний індикатор, що досліджується в роботі, складається з наступних функціональних вузлів: суматора стереоканалів (ССК) і буферного масштабуючого підсилювача; блоку смугових фільтрів; блоку детекторів відфільтрованих сигналів; блоку компараторів; блоку підсилювачів струму - мультиплексорів; задаючого генератора прямокутних імпульсів (ГПІ); лічильника імпульсів; очікуючого формувача пілкоподібних імпульсів; джерела напруги живлення; блоку світлової індикації.

Структурна схема спектрального індикатора представлена на рис. 3.2. На схемі вказані номери виводів установки спектрального індикатора.

Суматор стереоканалів призначений для підсумовування звукових сигналів, що надходять від двох каналів (лівого і правого) звуковідтворюючого пристрою, до якого підключається спектральний індикатор. Схема суматора стереоканалів показана на рис. 3.3.

Блок смугових фільтрів. Кожний із смугових фільтрів, що входять в блок смугових фільтрів, призначений для виділення зі всього

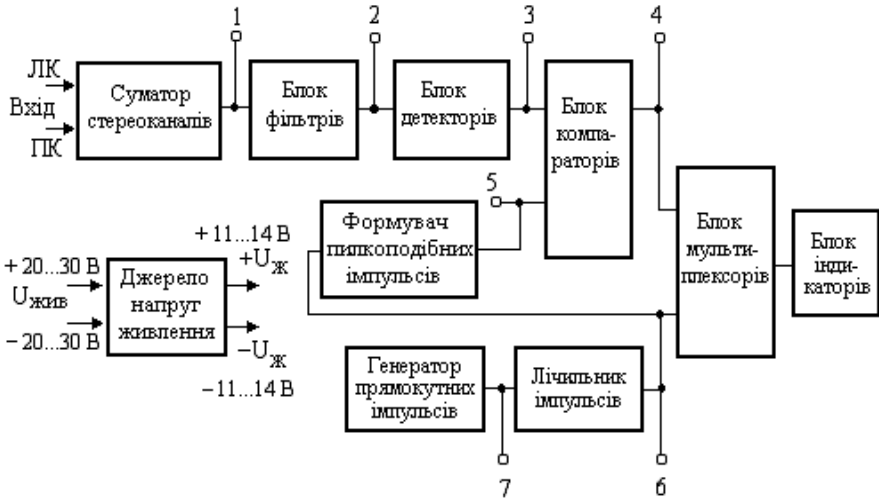


Рисунок 3.2 – Структурна схема спектрального індикатора

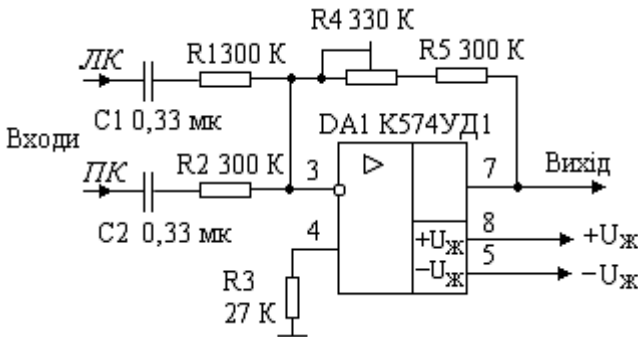


Рисунок 3.3 – Схема суматора стереоканалів

спектра сигналу досить вузької смуги, рівень сигналу в якій надалі відображається. Схеми всіх фільтрів однакові (рис. 3.4) і розрізняються тільки номіналами частотозадавальних елементів.

Схеми смугових фільтрів побудовані за схемою активного фільтра другого порядку з нахилом асимптот АЧХ ± 12 дБ на октаву (октава - одиниця частотного інтервалу, рівна інтервалу між двома частотами f_1 і f_2 , логарифм відношення яких $\log_2(f_2 / f_1) = 1$, що відповідає відношенню $f_2 / f_1 = 2$). Вибір такої схеми обумовлений тим, що фільтри першого порядку з нахилом асимптот АЧХ ± 6 дБ на октаву не до-

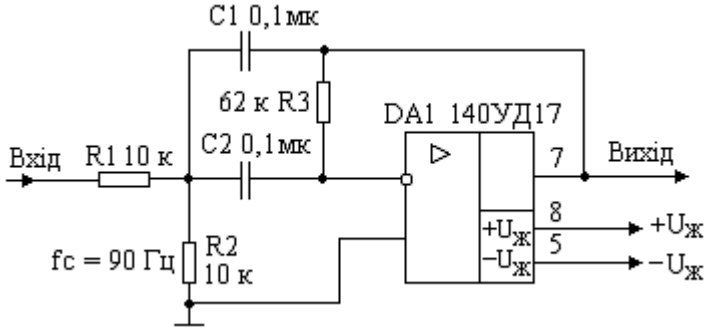


Рисунок 3.4 – Смуговий фільтр

звояють щільно розташувати частоти фільтрації на лінії у області найбільш значущих нижніх частот, фільтри ж третього порядку складні. На рис. 3.4 вказані номінали ємностей і резисторів для настройки фільтра на частоту 90 Гц. Для настроювання на інші частоти параметри елементів фільтра розраховуються за формулою:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R1 + R2}{R1 \cdot R2 \cdot R3 \cdot C1 \cdot C2}}.$$

Всі входи фільтрів об'єднуються і підключаються до виходу суматора стереоканалів через підстроювальний резистор опором $4,7 \div 30$ кОм, необхідний для регулювання рівня сигналу.

При виготовленні фільтрів для створення їх найбільшої вибіркової відповідні резистори і конденсатори підбираються попарно по однаковому значенню, а також по ідентичних температурних коефіцієнтах (ТКР і ТКЕ).

Фільтри можуть настроюватися на частоти, що знаходяться в діапазоні від 90 Гц до 14000 кГц. Однак розраховувати фільтри на частоти 4,5...10 кГц не має особливого сенсу, оскільки в реальному музичному сигналі кількість спектральних складових на цих частотах мала. Основна і головна музична інформація передається на частотах 200...1500 Гц. Цей діапазон має питому вагу до 50% в сумарній енергетичній насиченості спектра високоякісного сигналу.

Блок детекторів відфільтрованих сигналів. Виходи кожного смугового фільтра підключаються до відповідного демодуючого пристрою. Демодулятор (або, як його звичайно називають, детектор)

перетворює сигнал на його вході в сигнал інформації за допомогою перетворення частоти. На виході детектора формується сигнал звукової частоти.

Схема простого детектора зображена на рис. 3.5.

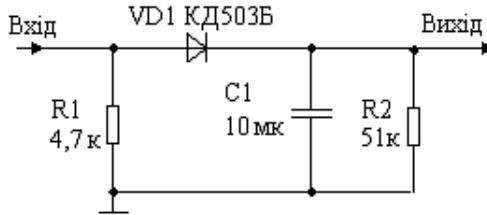


Рисунок 3.5 – Схема простого детектора

Для багатосмугових спектральних індикаторів високої якості прості детектори неприйнятні, оскільки мають досить виражену нелінійність і поріг спрацьовування на рівні 0,5...0,9 В, що приводить до звуження динамічного діапазону пристрою (при цьому спектральний індикатор не сприймає тихих сигналів). Схема двопівперіодного детектора високої якості на ОП зображена на рис. 3.6. Рівень спрацьовування такого детектора 2...3 мВ, динамічний діапазон 40...60 дБ.

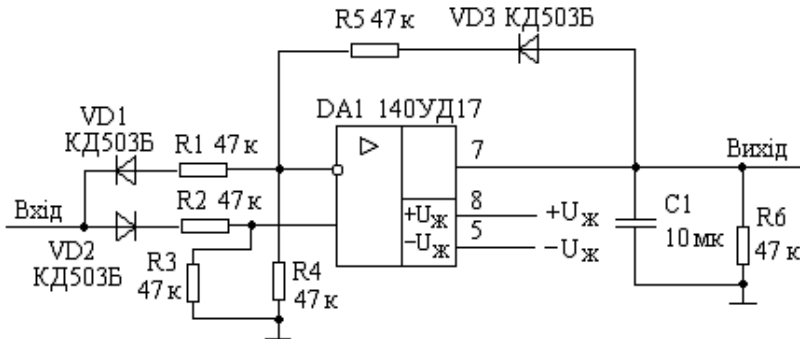


Рисунок 3.6 – Двопівперіодний детектор

Блок компараторів. Виходи детекторів підключаються до одного з входів порівняння відповідного рівня компаратора, побудованого на спеціалізованому інтегрованому компараторі серії 554 (можна також використовувати спеціалізовані компаратори серій 554, 597). Схема блоку компараторів показана на рис. 3.7.

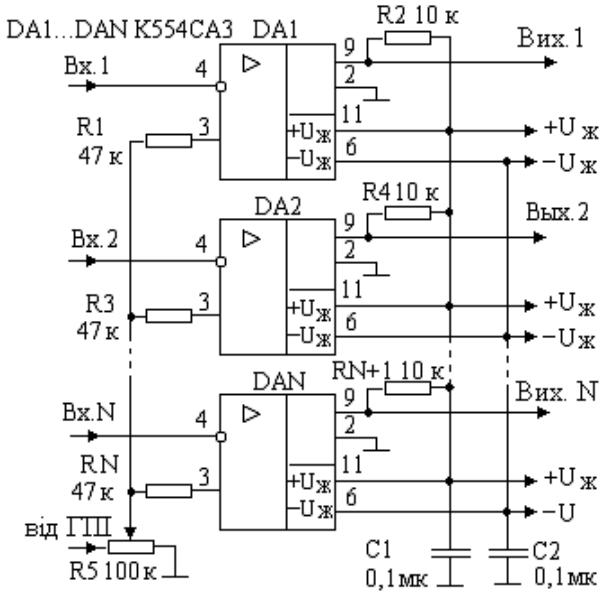


Рисунок 3.7 – Схема блоку компараторів

У схемі на рис. 3.7 резистори $R_2, R_4, \dots, R_{N+1}$ показані для випадку використання ІМС K554CA3, що мають відкриті колекторний (вивід 9) і емітерний (вивід 2) виходи; у інших випадках ці резистори не потрібні.

Блок підсилювачів струму - мультиплексорів. Виходи компараторів підключаються до управляючих входів підсилювачів струму - мультиплексорів, що забезпечують динамічне управління світлодіодними індикаторами. Мультиплексори можуть бути побудовані на цифрових ІМС КМОН-технології серій K176, K561, 564, K1561. Схема підсилювачів струму - мультиплексорів і вихідних світлодіодних смугових індикаторів для 8-ступінчастої індикації показана на рис.3.8.

Застосування в схемі ІС K561КП1 і K561КП2 дає можливість підключати індикатори зі спільним катодом або спільним анодом. Для переходу на систему зі спільним катодом достатньо з'єднати виходи мультиплексорів зі спільною шиною 0 В, а для системи зі спільним анодом, навпаки, з $+U_{дж}$.

Схема на рис. 3.8 працює так. На входи A1, A2, A3 ІС K561КП2 подається двійковий трирозрядний код, формований лічильником

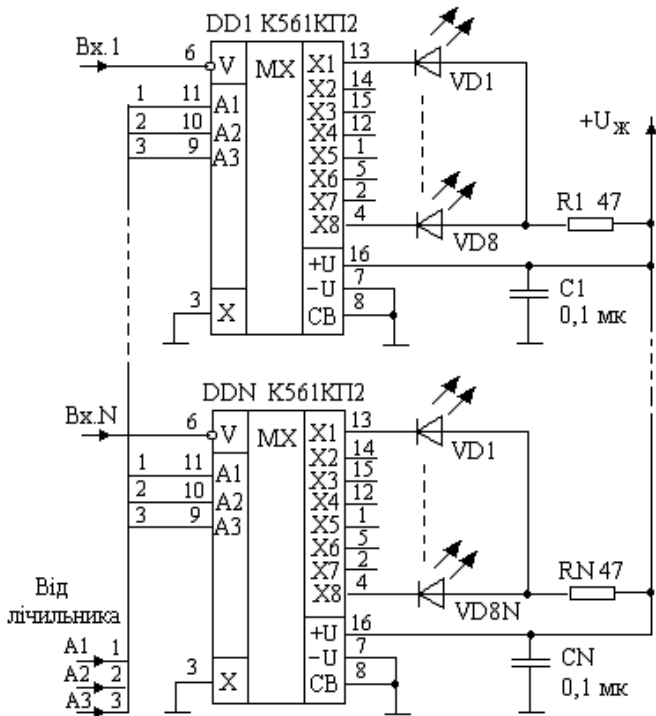


Рисунок 3.8 – Схема блоку підсилювачів– мультиплексорів

(ЛЧ). Лічильник має 8 станів, кожному з них відповідає один з каналів, що відкривається в мультиплексорі протягом рахункового періоду. Проте проходження струму через канал, що відкривається, можливе тільки за наявності сигналу дозволу на вході V IC K561KP2. Цей сигнал формується на виході компаратора, який також протягом рахункового періоду порівнює рівні напруг на двох своїх входах. На один з входів подається продетектований сигнал з фільтра, а на інший - логарифмічно спадаюча пилоподібна напруга з виходу генератора пилоподібної напруги (ГПН), яка формується їм з початком кожного рахункового періоду. Отже, в ті моменти часу, коли рівень з виходу фільтра перевищує поточний рівень з виходу ГПН, компаратор видає сигнал дозволу на мультиплексор, і відповідний світлодіод спалахує. Процес протікає таким чином, що проміжки між окремими спалахами кожного світлодіода невиразні для ока.

На практиці частота задаючого генератора прямокутних імпульсів регулюється, виходячи з компромісу між непомітністю мерехтіння індикатора і втратою яскравості свічення. Для переважної більшості типів світлодіодів мінімальна довжина імпульсу запалення складає 0,85...0,9 мс, що відповідає частоті запалення 1000...1300 Гц. Межі компромісу звужуються до мінімальних при збільшенні числа ступенів індикації.

Задаючий генератор прямокутних імпульсів. Схема задаючого генератора на ІС КМОН-технології показана на рис. 3.9. Період проходження імпульсів задаючого генератора можна обчислити за наближеною формулою $t \gg RC$, а частоту - за формулою $F = 1/t$, де F змінюється в межах 150...900 Гц.

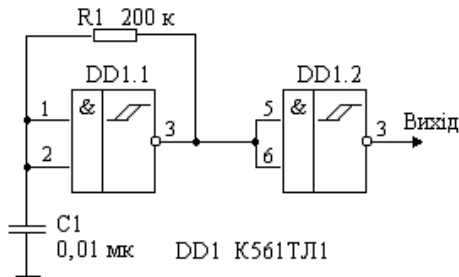


Рисунок 3.9 - Задаючий генератор

Лічильник імпульсів. На рис.3.10 показана схема двійкового лічильника К561ІЕ10.

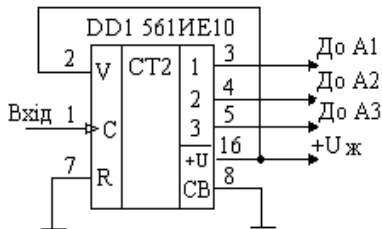


Рисунок 3.10 – Двійковий лічильник

Очікуючий формувач пилкоподібних імпульсів. Особливий вузол в схемі спектрального індикатора - генератор пилкоподібної напруги (ГП). Форма імпульсів цього генератора визначає передавальну і динамічну характеристики спектрального індикатора; вона має бути мо-

жливо ближчою до логарифмічної. Схема ГПІ зображена на рис. 3.11.

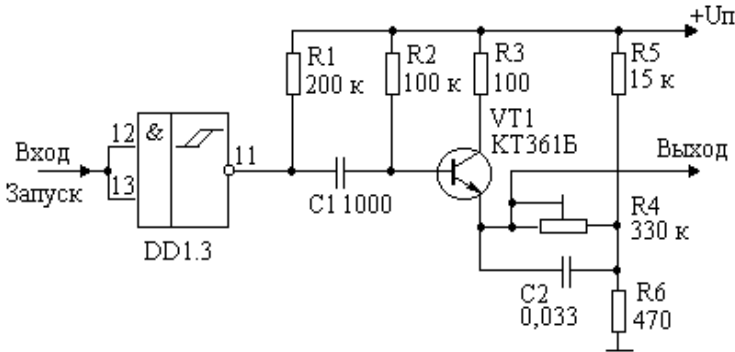


Рисунок 3.11 – Генератор пилоподібної напруги

ГПІ, побудований на транзисторі, що забезпечує надійний запуск і гнучке регулювання форми пилоподібної напруги в досить широких межах: практично від лінійної до логарифма у квадраті. Вхід запуску ГПІ підключають до виходу самого старшого (нижнього за схемою) розряду лічильника через буферний формувач на елементах *DD1.3*, *DD1.4*. Така побудова пояснюється тим, що слабкострумові виходи лічильників ІС, побудовані за КМОН-технологією, не працюють при ємностях навантаження, що перевищують 4000 пФ. Резистором *R4* регулюється форма вихідних імпульсів, при цьому максимальному

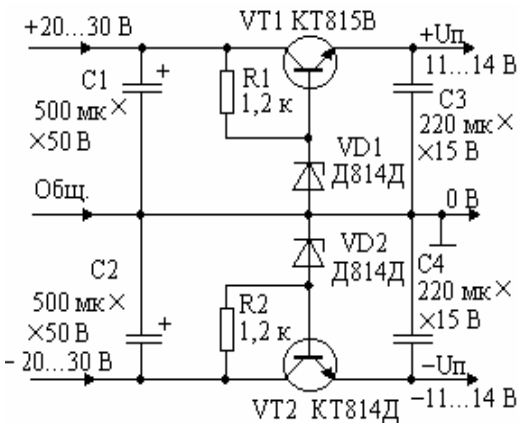


Рисунок 3.12 – Внутрішнє джерело живлення

опору відповідає лінійна форма. Дільник *R5*, *R6* потрібен для завдання невеликого початкового порогу спрацьовування індикатора, що забезпечує подавлення його паразитних спалахів від шумового сигналу.

Джерело напруги живлення. Внутрішнє джерело живлення побудоване за схемою, представленою на рис. 3.12.

3.2 Завдання

3.2.1 Розробіть і зберіть схему експерименту, що включає двополярне джерело напруги, установку спектрального індикатора, один або декілька осцилографів, джерело звукових сигналів.

3.2.2 Дослідіть роботу кожного блоку спектрального індикатора. Номери виводів блоків показані на рис. 2.1.

3.2.3 Розрахуйте параметри компонентів смугового фільтра, схема якого представлена на рис. 3.2, при заданих параметрах фільтра: резонансній частоті, добротності, коефіцієнті передачі. Вихідні дані задані в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані до завдання 3.2.3

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Резонансна частота f_0 , Гц	30	60	120	240	480	960	1920	3840	7680	15360
Ємність конденсаторів С1, С2, мкФ	1	0,5	0,22	0,1	0,068	0,033	0,015	0,0068	0,0033	0,0015

3.2.4 Розробіть схему блоку підсилювачів – мультиплексорів при підключенні до них індикаторів із спільним катодом.

3.3 Зміст звіту

Звіт повинний містити: мету роботи; схему експерименту; результати досліджень; результати розрахунку смугового фільтра; схему блоку підсилювачів – мультиплексорів з підключеними до них індикаторами зі спільним катодом; висновки по роботі.

3.4 Контрольні запитання

3.4.1 З якою метою регулюються АЧХ аудіосистем?

3.4.2 Як поведуть себе звукові коливання у приміщеннях?

3.4.3 Чим за принципом дії відрізняється еквалайзер від регулятора тембру?

3.4.4 Чим відрізняються АЧХ смугових фільтрів першого і другого порядків? Зобразіть їх приблизний вигляд.

3.4.5 Що таке еквалайзер? Як класифікуються еквалайзери?

3.4.6 Яке призначення мають функціональні блоки структурної схеми спектрального індикатора?

3.4.7 Чому в схемі досліджуваного спектрального індикатора використаний двопівперіодний детектор замість простого детектора?

3.4.8 В залежності від чого змінюються опорні напруги компараторів, що входять до складу блоку компараторів спектрального індикатора?

3.4.9 За яким принципом розраховується частота роботи лічильника, який формує адресні сигнали для блоку підсилювачів– мультіплексорів?

3.4.10 Генератор прямокутних імпульсів (рис. 3.9) формує імпульси з частотою 200 Гц, Ємність конденсатора $C1$ складає 0,01 мкФ. Який опір повинен мати резистор $R1$?

3.4.11 Яке призначення компонентів схеми генератора пилкоподібної напруги (рис. 3.11) і який принцип дії генератора?

3.4.12 Як працюють світлодіоди, під'єднані до виходів мультіплексора $DD1$ у схемі блоку підсилювачів– мультіплексорів (рис. 3.8), якщо на його вході дозволу (вхід 1) сформований нульовий логічний рівень?

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 "ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ"

Метою роботи є: ознайомлення з принципами побудови електронних цифрових вимірювальних систем; розгляд принципів побудови аналого-цифрового перетворювача у складі ІМС К572ПВ2, дослідження роботи схем цифрових вимірювальних приладів.

4.1 Теоретичні відомості

4.1.1 Класифікація і параметри аналого-цифрових перетворювачів

В основі роботи цифрових вимірювальних систем лежить принцип аналогово-цифрового перетворення. Дані прилади мають цифровий вихід, за допомогою якого вони підключаються до ЕОМ, що істотно прискорює процес досліджень завдяки його автоматизації, зокрема, можливості швидкої обробки великих масивів одержаних даних.

Аналого-цифровим перетворювачем (АЦП) називають пристрій, що перетворює вхідну аналогову величину у відповідний їй цифровий еквівалент-код, що є вихідним сигналом перетворювача. АЦП забезпечує як дискретизацію безперервного сигналу за часом, так і його квантування за рівнем.

Найпоширенішою є класифікація АЦП за схемним принципом, за якою перетворювачі підрозділяються на дві групи:

- АЦП *прямого перетворення* або розімкнені перетворювачі, де відсутній зворотний зв'язок з виходу на вхід;
- АЦП *врівноважуючого* або *компенсаційного перетворення* з негативним зворотним зв'язком з виходу на вхід, який містить цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП).

У свою чергу, АЦП прямого перетворення підрозділяються на три основні види:

- АЦП *частотного перетворення*, в яких вимірювана величина спочатку перетворюється у послідовність електричних сигналів з частотою, що пропорційна вимірюваній величині, а потім частота сигналів перетворюється в код шляхом підрахунку числа цих сигналів цифровим лічильником за фіксований інтервал часу;
- АЦП *часового перетворення*, в яких вимірювана величина перетворюється в інтервал часу, тривалість якого визначається шляхом заповнення цього інтервалу імпульсами стабільної частоти і їх підрахунку цифровим лічильником (мікросхема К572ПВ2);
- АЦП *амплітудного перетворення* послідовного або паралельного типу, в яких вхідна величина перетворюється відразу в код шляхом порівняння з набором опорних електричних величин (мікросхем К1107ПВ1 - К1107ПВ4).

Основні технічні характеристики АЦП: точнісні, часові, надійнісні і вартісні.

Характеризуючи точність АЦП, зазвичай враховують наступні похибки:

- *методичну*, яка є наслідком квантування безперервної величини (методичну похибку називають також похибкою квантування Δ_K);
- *інструментальну* Δ_I (апаратну), пов'язану з неідеальністю використовуваних елементів, а також шумами і завадами у вхідному сигналі і у вузлах АЦП.

Максимальне значення *похибки квантування* пов'язане з чутливістю АЦП q і дорівнює:

$$\Delta_K = \pm \frac{1}{2} q = \pm \frac{1}{2} M3P, \quad (4.1)$$

де $1M3P = X_{\max}/N_{\max}$ — одиниця молодшого значущого розряду або крок квантування - найменша аналогова змінна вхідного сигналу, яка може розрізнитися перетворювачем;

$N_{\max}=2^n-1$ - максимальне число рівнів квантування; n - число двійкових розрядів, що визначає роздільну здатність АЦП;

$X_{\max}$ — діапазон вхідної напруги.

Інструментальна похибка - це сумарна похибка, визначувана впливом похибок налаштування, пов'язаного з розкидом параметрів елементів АЦП, температурної і часової нестабільності параметрів окремих вузлів і елементів, похибки від зміни параметрів зовнішніх джерел живлення і сигналів керування.

4.1.2 Мікросхема КР572ПВ2

Мікросхема КР572ПВ2 (рис. 4.1) має електронні ключі $A1-A11$, буферний операційний підсилювач $DA1$, працюючий у режимі повторювача, інтегратор на операційному підсилювачі $DA2$, компаратор $DA3$ і цифрову частину, що складається з тактового генератора G , логічного пристрою $DD1$, лічильника CT , регістра пам'яті RG і вихідного дешифратора DC . Ключі $A1-A11$ вмикаються в певній послідовності логічним пристроєм $DD1$, працюючим спільно з лічильником CT .

Мікросхема працює за принципом подвійного інтегрування. Ідея цього методу полягає в тому, що спочатку інтегруючий конденсатор заряджається впродовж певного часу струмом, пропорційним вимірюваній напрузі, а потім розряджається певним струмом до нуля. Час, впродовж якого відбувається розрядка конденсатора, пропорційний вимірюваній напрузі. Цей час вимірюється лічильником, вихідні сигнали якого подаються на цифрові індикатори.

Розглянемо роботу мікросхеми детальніше. На виводи 30 і 31 мікросхеми подається вимірювана напруга $U_{ВХ}$, на виводи 35 і 36 подається зразкова напруга $U_{ЗРАЗ}$. Цикл вимірювання складається з трьох фаз: інтегрування сигналу (ІНТ), розрядки інтегруючого конденсатора (PI) і автоматичної корекції нуля (АК). Кожній фазі відповідає певна комутація елементів мікросхеми, що виконується ключами $A1-A11$ на

МОН-транзисторах.

На рис. 4.1 написи у ключів означають фазу, впродовж якої ключ увімкнений. Впродовж фази ІНТ, що триває 4000 періодів T тактової частоти, вхідний сигнал через ключі $A1$, $A2$ і буферний підсилювач $DA1$ подається на вхід інтегратора $DA2$. Це викликає на конденсаторі $C_{\text{ІНТ}}$ накопичення заряду, який пропорційний за величиною і відповідає за знаком прикладеній вхідній напрузі. Напряга на виході інтегратора $DA2$ змінюється з постійною швидкістю, пропорційною вхідному сигналу.

Припустимо, що до моменту початку фази ІНТ заряди на конденсаторах $C_{\text{ІНТ}}$ і $C_{\text{АК}}$ і напруга зміщення нуля підсилювачів $DA1$ - $DA3$ дорівнюють нулю. Оскільки вхідний струм інтегратора $DA2$ малий, заряд на конденсаторі $C_{\text{АК}}$ не змінюється, і він фактично не впливає на процес інтегрування.

Конденсатор $C_{\text{ЗРАЗ}}$ заряджений від джерела зразкової напруги до величини $U_{\text{ЗРАЗ}}$.

У кінці фази ІНТ за допомогою компаратора $DA3$ визначається знак вхідної напруги за знаком напруги на виході інтегратора $DA2$. Чутливість компаратора $DA3$ така, що полярність вхідного сигналу визначається навіть тоді, коли він складає долю одиниці відліку. При роботі мікросхеми у фазі РІ вхідний сигнал на інтегратор не подається, але до нього підключається через ключі $A7$, $A8$ або $A6$, $A9$ конденсатор $C_{\text{ЗРАЗ}}$, заряджений до зразкової напруги і орієнтований (відповідним ввімкненням ключів) за полярністю так, щоб конденсатор $C_{\text{ІНТ}}$ розряджався.

Як тільки він розрядиться повністю, напруга на виході $DA2$ стане рівною нулю. У цей момент підключений паралельно конденсатору $C_{\text{ІНТ}}$ (через конденсатор $C_{\text{АК}}$) компаратор $DA3$ спрацьовує і припиняє фазу РІ. Заряд конденсаторів $C_{\text{ЗРАЗ}}$ і $C_{\text{АК}}$ практично не змінюється. Тривалість розрядки конденсатора $C_{\text{ІНТ}}$, що виражена числом періодів тактових імпульсів, і є результатом вимірювання, що записується в лічильник CT . Стан лічильника переписується в регістр RG , а потім перетворюється в сигнали семисегментного коду, які надходять на індикатори.

Фаза АК розпочинається з припинення роботи лічильника, коли логічний пристрій $DD1$ вмикає ключі $A3$, $A4$ і $A11$. Відстежуюча система (з операційних підсилювачів $DA1$ - $DA3$), що утворилася при цьому, забезпечує зарядку конденсаторів $C_{\text{АК}}$ і $C_{\text{ІНТ}}$ до напруги, що

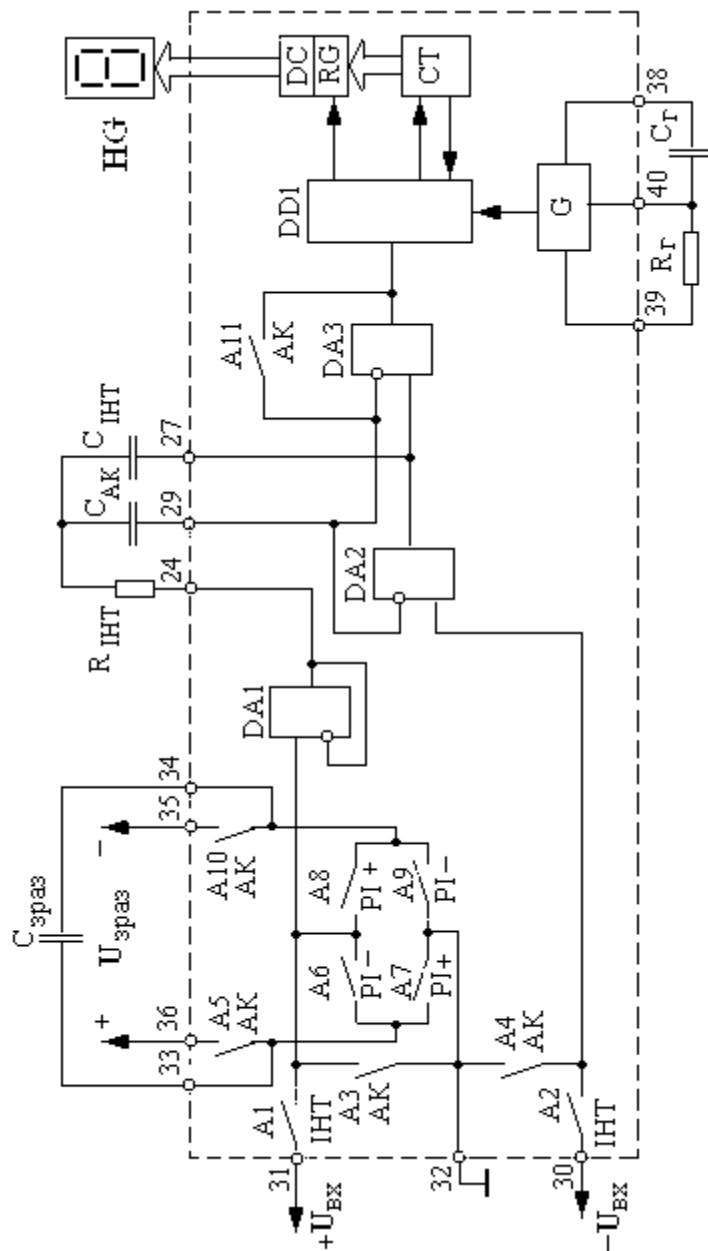


Рисунок 4.1 - Склад мікросхеми KP572PB2

компенсує зміщення нуля $DA1 - DA3$. Вона залишається незмінною впродовж подальших фаз ІНТ і РІ. У результаті приведена до входу похибка вимірювання через зміщення нуля і його температурного дрейфу не перевищує 10 мкВ.

До складу мікросхеми входить тактовий генератор. Частота надходження його імпульсів визначається зовнішніми елементами R_T і C_T . Для подавлення завад з частотами, кратними 50 Гц, частота повторення має бути такою, щоб у відрізок часу інтегрування (4000 періодів T тактового генератора) укладалося ціле число K періодів (20 мс) мережевої напруги. Інакше кажучи, $4000T = K \cdot 20$ мс, де $K = 1, 2, 3$ тощо. Звідси $f = 1/T = 200/K$ кГц, тобто 200, 100, 67, 50, 40 кГц тощо.

Номінали деталей частотозадаючих ланцюгів тактового генератора розраховуються за формулою $C_T = 0,45/(f_T R_T)$. Для підвищення стабільності частоти між виводами 39 і 40 може бути включений кварцовий резонатор (елементи R_T і C_T в цьому випадку не підключають). При роботі мікросхеми від зовнішнього генератора тактові імпульси подають на вивід 40, виводи 38 і 39 при цьому залишають вільними.

Діапазон вхідної напруги мікросхеми залежить від зразкової напруги $U_{ЗРАЗ}$ і визначається його співвідношенням з $U_{ВХ.макс} = \pm 1,999 U_{ЗРАЗ}$. Поточні покази індикаторів виражаються числом, рівним $1000 U_{ВХ}/U_{ЗРАЗ}$.

При використанні мікросхеми необхідно, щоб вихідна напруга буферного підсилювача $DA1$ та інтегратора $DA2$ не перевищувала граничної напруги лінійної ділянки, рівної 2В. Це накладає обмеження на співвідношення між зразковою напругою, частотою тактових імпульсів генератора, опором $R_{ІНТ}$ і ємністю $C_{ІНТ}$. Рекомендовані співвідношення при $f = 50$ кГц: $R_{ІНТ} = 47$ кОм, $C_{ІНТ} = 0,1$ мкФ, $C_{ЗРАЗ} = 1$ мкФ, $U_{ЗРАЗ} = 0,1$ В, $C_{АК} = 0,47$ мкФ або $R_{ІНТ} = 470$ кОм, $C_{ІНТ} = 0,1$ мкФ, $C_{ЗРАЗ} = 0,1$ мкФ, $U_{ЗРАЗ} = 1$ В, $C_{АК} = 0,047$ мкФ. Для вказаної частоти $C_T = 91$ пФ, $R_T = 100$ кОм. Допустимі відхилення від номіналів вказаних елементів - не більше $\pm 5\%$.

Період вимірів при частоті тактових імпульсів 50 кГц складає 320 мс (3 виміри в секунду). Максимальний струм, споживаний мікросхемою від обох джерел живлення, - не більше 1,8 мА, вихідний струм старшого розряду - не менше 10 мА, інших - не менше 5 мА. Коефіцієнт послаблення синфазної напруги 100 дБ, похибка перетворення не перевищує 1, 3 і 5 одиниць молодшого розряду для мікросхем КР572ПВ2А, КР572ПВ2Б і КР572ПВ2В відповідно. Вказані параметри

гарантуються при температурі $(25 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ і живлячій напрузі плюс 5 В і мінус 5 В з нестабільністю $\pm 1\%$ (напруга джерел живлення може бути плюс 5 В $\pm 10\%$ і мінус 4, мінус 5, ... мінус 8 В). Нестабільність зразкової напруги має бути не гірша 0,1 %, оскільки вона входить в похибку виміру. Вхідний опір мікросхеми перевищує 100 МОм.

4.1.3 Цифровий мультиметр

4.1.3.1 Параметри цифрового мультиметра

Досліджуваний цифровий мультиметр зібраний на базі мікросхеми КР572ПВ2А. Прилад забезпечує вимірювання постійної і змінної напруги (у вольтах) і струму (у міліамперах), та опори (у кілоомах) у чотирьох діапазонах з верхніми межами 0,199, 1,999, 19,99, 199,9.

Похибка вимірювання опорів, постійної напруги і струму менше $\pm (5\%+1 \text{ одиниця молодшого розряду})$. При вимірі змінної напруги і струму в діапазоні частот 20 Гц...5 кГц похибка виміру менше $\pm (5\%+1 \text{ одиниця молодшого розряду})$ в усьому діапазоні вимірювальної напруги. У діапазоні частот до 20 кГц при вимірі параметрів від 0,1 встановленої межі і вище похибка не перевищує 5 % від вимірюваної величини, а на частоті 50 кГц- 15 %.

Вказана точність для вольтметра змінних напруг на частотах більше 5 кГц гарантується на діапазонах 0,199 В, 1,999 В і 19,99 В. На діапазоні 199,9 В похибка на частотах більше 5 кГц збільшується.

Вхідний опір вольтметра - 1 МОм, ємність - 100 пФ, падіння напруги при вимірі струму не перевищує 0,2 В. Живиться прилад від двополярного джерела живлення +5 В, - 5 В, споживаний струм не перевищує 120 мА.

Структурну схему мультиметра наведено на рис. 4.2.

4.1.3.2 Робота омметра в цифровому мультиметрі

Принцип роботи омметра ілюструє рис 4.3. Вимірюваний опір включений в ланцюг зворотного зв'язку операційного підсилювача DA1, вхідний струм якого задається резисторами $R1 - R4$, що підключаються через секції X1 перемикачів до джерела постійного струму напругою $\pm 1,111 \text{ В}$. Оскільки опір резисторів, що включаються, кратний 1,111 кОм, то струм, що задається ними, має значення, кратні 10, а падіння напруги на вимірюваному опорі з точністю до множника 10^n дорівнює його величині. Це падіння напруги вимірюється за допомогою АЦП, підключеного безпосередньо до вимірюваного опору.

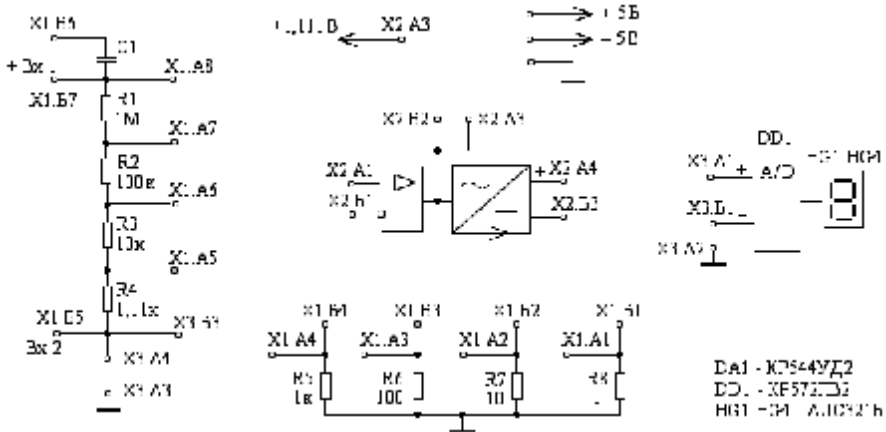


Рисунок 4.2 – Структурна схема мультиметра

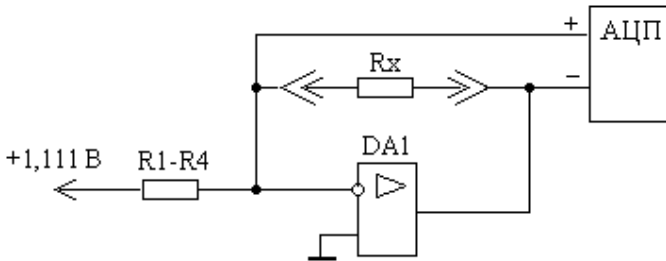


Рисунок 4.3 - Принцип роботи омметра мультиметра

Така побудова омметра дозволяє використати ті ж резистори, що і в дільнику вольтметра, і виключає їх підбір. Крім того, дрейф нуля операційного підсилювача не призводить до дрейфу нуля омметра, але збільшує його похибку. Так, при дрейфі нуля в 1 мВ похибка омметра складає 5 % від вимірюваної величини. Ось чому початкова установка нуля підсилювача *DA1* повинна проводитися дуже ретельно.

Схему комутації роботи омметра на мультиметрі наведено на рис. 4.4.

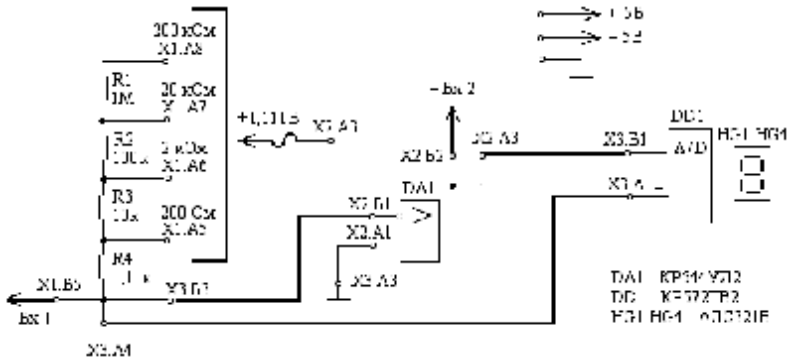


Рисунок 4.4 – Структурна схема омметра

4.1.3.3 Робота вольтметра у цифровому мультиметрі

Схема комутації ланцюгів вольтметра приведена на рис. 4.5.

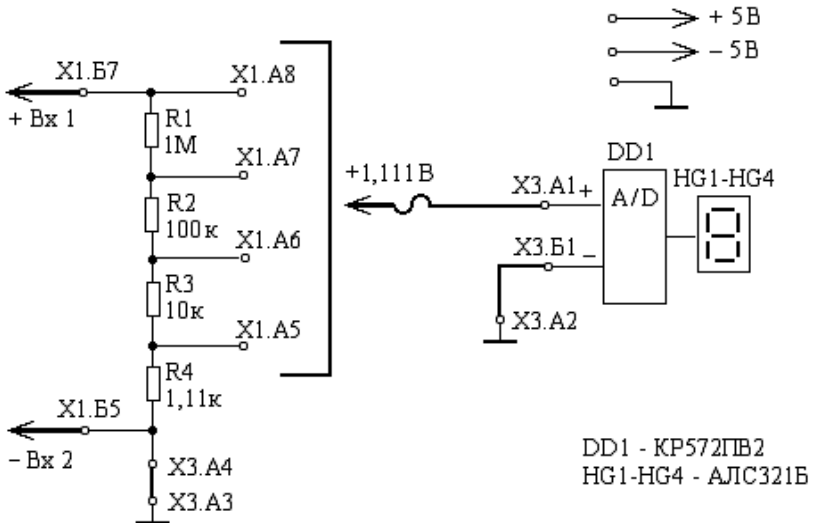


Рисунок 4.5 – Структурна схема вольтметра постійного струму

При вимірюванні постійної напруги вона надходить на резистивний дільник $R1 - R4$. При виборі відповідної межі виміру, напруга з дільника надходить на вхід "+" аналого-цифрового перетворювача (АЦП), при цьому вхід "-" АЦП підключений до спільного дроту.

Змінна напруга вимірюється так само, як і постійна напруга, але на вхід АЦП включається перетворювач змінної напруги в постійну (рис. 4.6). Вхідний дільник використаний так само, що і при вимірі постійної напруги.

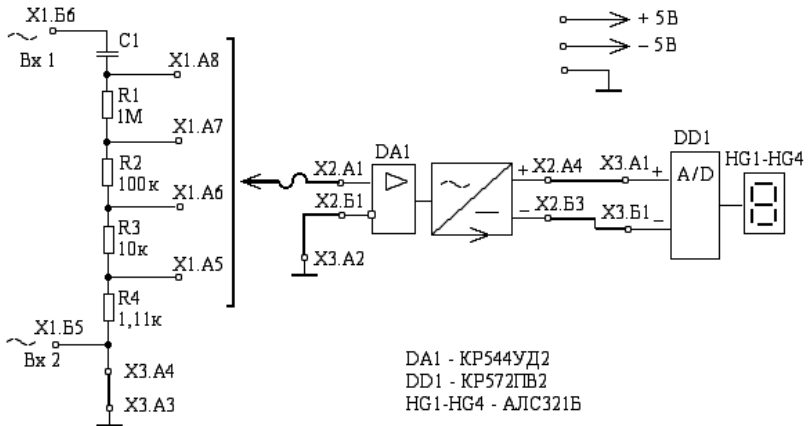


Рисунок 4.6 – Структурна схема вольтметра змінного струму

4.1.3.4 Перетворювач змінної напруги у постійну

Перетворювач змінної напруги у постійну (рис. 4.7) зібраний на операційному підсилювачі *DA1*, який використовується в омметрі. Вхідна напруга подається на неінвертуючий вхід підсилювача. Позитивна півхвиля підсиленої напруги виділяється на резисторі *R6*, негативна, - на резисторі *R5*. Між верхніми за схемою виводами резисторів *R5* і *R6* формується двопівперіодна випрямлена змінна напруга, яка через фільтруючі ланцюги *R9*, *C3* і *R10*, *C4* подається на вхід АЦП.

На резисторах *R7* і *R8* виділяються обидві півхвилі підсилюваної напруги. З них напруга зворотного зв'язку по змінному струму подається через конденсатор *C2* на інвертуючий вхід підсилювача, чим досягається висока точність і лінійність перетворення. Стабільність робочої точки підсилювача за постійним струмом забезпечується за рахунок зворотного зв'язку через резистор *R4*. Відносно великий опір цього резистора вибраний тому, що він не повинен шунтувати вимірювальний ланцюг *VD1*, *VD2*, *R5*, *R6*. Ємність конденсатора *C2* також вибрана порівняно великою, оскільки він утворює з паразитною ємні-

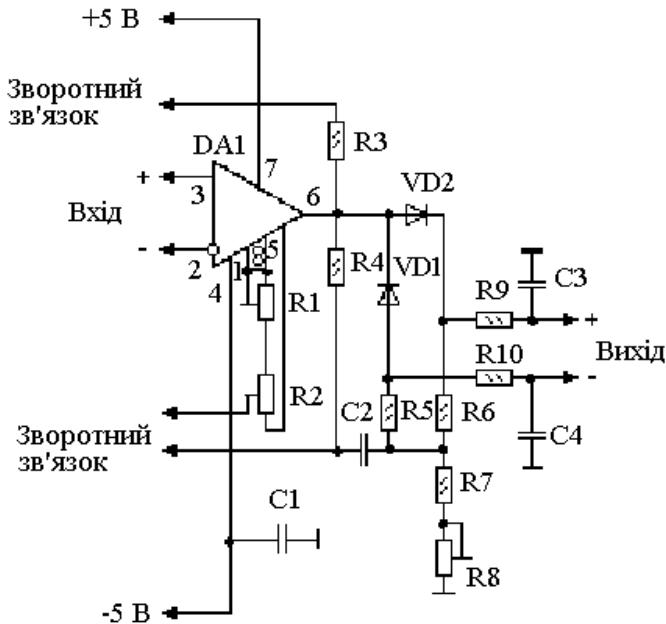


Рисунок 4.7 - Перетворювач змінної напруги у постійну

стю монтажу дільник вхідного сигналу, що поступає на інвертуючий вхід підсилювача.

При меншій ємності цього конденсатора виникає помітна похибка вимірювання змінної напруги на межі 1999В. З них напруга зворотного зв'язку по змінному струму подається через конденсатор $C2$ на інвертуючий вхід підсилювача, чим досягається висока точність і лінійність перетворення. Стабільність робочої точки підсилювача за постійним струмом забезпечується за рахунок зворотного зв'язку через резистор $R4$. Відносно великий опір цього резистора обрано тому, що він не повинен шунтувати вимірювальний ланцюг $VD1$, $VD2$, $R5$, $R6$. Ємність конденсатора $C2$ також вибрана порівняно великою, оскільки він утворює з паразитною ємністю монтажу дільник вхідного сигналу, що поступає на інвертуючий вхід підсилювача. При меншій ємності цього конденсатора виникає помітна похибка вимірювання змінної напруги на межі 1999 В.

Резистори $R1$ і $R2$ служать для установки нуля підсилювача $DA1$: $R2$ - для грубої, $R1$ - для точної. Конденсатор $C1$ - блокувальний, підстроювальний резистор $R8$ служить для точної установки коефіцієнта передачі перетворювача змінної напруги у постійну.

4.1.3.5 Схеми вимірювання струму

Схему комутації ланцюгів амперметра наведено на рис. 4.8.

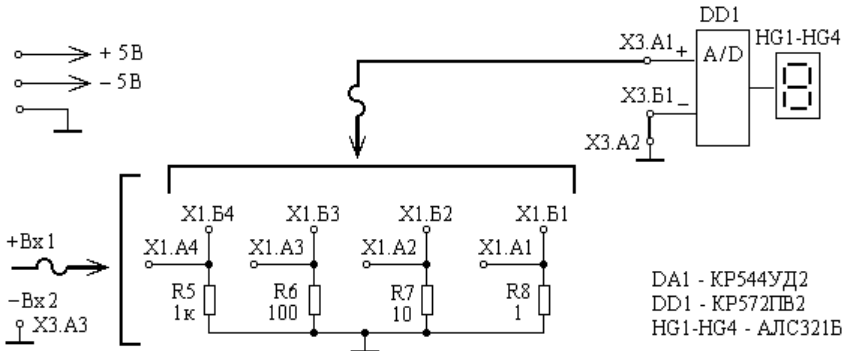


Рисунок 4.8 - Структурна схема амперметра для вимірювання постійного струму

При вимірюванні постійного струму АЦП підключений до одного з шунтів $R5 - R8$, через які проходить вимірюваний струм. При виборі відповідної межі напруга з відповідного шунта подається на вхід «+» АЦП, при цьому вхід «-» АЦП підключений до спільного дроту.

Змінний струм вимірюється так само, як і постійний струм, але на вхід АЦП включається перетворювач змінної напруги в постійну (рис. 4.9).

4.2 Завдання

4.2.1 Ознайомтеся зі структурою мультиметра.

4.2.2 Зберіть схему омметра і з його використанням зробіть декілька вимірів опорів змінного резистора. Аналогічні виміри зробіть фабричним мультиметром. Порівняйте покази приладів. Зробіть висновки.

4.2.3 Зберіть схему вольтметра для виміру постійної напруги і з його використанням зробіть виміри напруги в схемі, що дається викладачем.

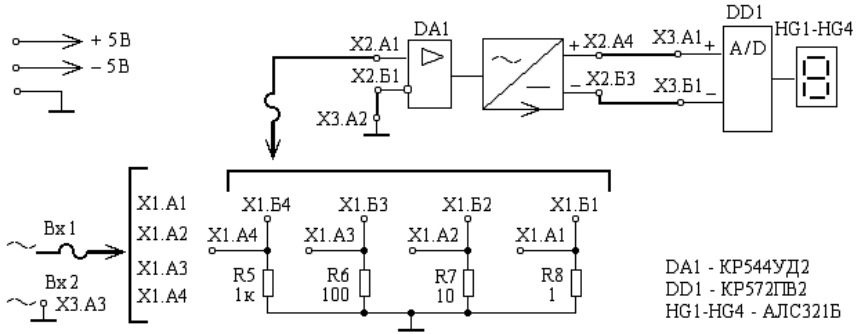


Рисунок 4.9 – Структурна схема амперметра для вимірювання змінного струму

4.2.4 Зберіть схему вольтметра для виміру змінної напруги і з його використанням зробіть виміри напруги в схемі, що дається викладачем.

4.2.5 Зберіть схему амперметра для виміру постійного струму і з його використанням зробіть виміри струмів у схемі, що дається викладачем.

4.2.6 Зберіть схему амперметра для виміру змінного струму і з його використанням зробіть виміри струмів у схемі, що дається викладачем.

4.2.7 Визначте роздільну здатність дванадцятирозрядного перетворювача КР572ПВ2 у вольтах, відсотках від повної шкали, одиницях динамічного діапазону у двох випадках: при зразковій (опорній) напрузі 1 В (вхідний сигнал може змінюватися в межах $\pm 1,999$ В), і при зразковій напрузі 0,1 В (вхідний сигнал може змінюватися в межах $\pm 199,9$ мВ). Вказівка: динамічний діапазон визначається за формулою

$$D = \frac{20 \lg U_{BXmax}}{U_{BXmin}} \text{ [дБ]}.$$

4.3 Порядок оформлення звіту

Звіт повинен містити: мету роботи; схеми і результати вимірювань; розрахунки відповідно вимогам пункту 4.2.7; висновки за результатами роботи.

4.4 Контрольні запитання

4.4.1 Напруга на вході АЦП змінюється в межах ± 1 В. Значення МЗР складає 7,81 мВ. МЗР визначається як відношення діапазону вхідного сигналу до $2^{\text{довжина слова АЦП}}$. Яку розрядність має АЦП?

4.4.2 З метою зниження шуму квантування збільшена частота дискретизації АЦП у 4 рази. Визначте нову частоту дискретизації $f_{s,n}$, якщо попередня частота дискретизації $f_{s,0} = 600$ Гц. Визначте, яке покращення відношення сигнал/шум відбудеться при цьому, якщо воно розраховується за формулою: покращення $SNR = 10\ln(f_{s,n} / f_{s,0})$ [дБ].

4.4.3 Визначте роздільну здатність в абсолютних одиницях і одиницях динамічного діапазону (дБ) 16-розрядного АЦП по входу, якщо його вхідна напруга може змінюватися від 0 В до 1 В.

4.4.4 В яких трьох режимах працює мікросхема КР572ПВ2?

4.4.5 Яку класифікацію за схемним принципом мають АЦП?

4.4.6 Поясніть принцип роботи омметра в цифровому мультиметрі.

4.4.7 Чим відрізняються структурні схеми вольтметрів постійного струму і змінного струму?

4.4.8 Чим відрізняються структурні схеми амперметрів постійного струму і змінного струму?

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 "ЗАВАДОСТІЙКЕ КОДУВАННЯ"

Метою роботи є: ознайомлення з теоретичними положеннями завадостійкого кодування; ознайомлення зі схемотехнічними принципами захисту даних; розгляд теоретичних положень формування коду Хеммінга і експериментальна перевірка роботи пристрою кодування кодом Хеммінга.

5.1 Теоретичні відомості

5.1.1 Класифікація завадостійких кодів

Завадостійкі коди – один з найбільш ефективних способів забезпечення високої ймовірності безпомилкової передачі дискретної інформації.

Під завадостійкими кодами розуміють коди, що дозволяють виявити або виявити і виправити помилки, що виникають унаслідок дії завад.

Завадостійке кодування забезпечується за рахунок уведення надмірності в кодові комбінації.

Усі завадостійкі коди можна розділити на два основних класи: *блокові і безперервні*.

У *блокових* кодах кожному повідомленню (або елементові повідомлення) зіставляється кодова комбінація (блок) з визначеної кількості сигналів. Блоки кодуються і декодуються окремо один від одного.

У *безперервних* кодах уведення надмірності в послідовність вхідних символів здійснюється без розбивки її на окремі блоки. Процеси кодування і декодування в безперервних кодах мають також безперервний характер.

Як блокові, так і безперервні коди в залежності від методів внесення надмірності підрозділяються на *роздільні і нероздільні*.

У *роздільних* кодах чітко розмежована роль окремих символів. Одні символи є інформаційними, інші є перевіірочними і служать для виявлення і виправлення помилок. Роздільні блокові коди називаються n, k – кодами, де n – довжина кодових комбінацій, k – число інформаційних символів у комбінаціях.

Нероздільні коди не мають чіткого поділу кодової комбінації на інформаційні і перевіірочні символи. Роздільні коди поділяються, у свою чергу, на *несистематичні і систематичні*.

Несистематичні роздільні коди будуються таким чином, що перевіірочні символи визначаються як сума підблоків довжини l , на які розділяється блок інформаційних символів.

Більшість відомих роздільних кодів складають *систематичні* коди. У цих кодів перевіірочні символи визначаються в результаті проведення лінійних операцій над визначеними інформаційними символами. Для двійкових кодів кожен перевіірочний символ вибирається таким, щоб його сума за модулем два з визначеними інформаційними символами була нульовою. Декодування зводиться до перевірки на парність визначених груп символів. У результаті таких перевірок дається інформація про наявність помилок, а в разі потреби – про позиції символів, де виникли помилки.

5.1.2 Основні принципи завадостійкого кодування

Подальший розгляд відноситься до завадостійких блокових і рівномірних кодів.

Для з'ясування ідеї завадостійкого кодування розглядається двійковий код, що знайшов на практиці широке застосування.

Кількість розрядів n у кодовій комбінації називається *довжиною* або *значністю* коду. Символи кожного розряду можуть приймати значення 0 і 1. Кількість одиниць у кодовій комбінації називають *вагою* кодової комбінації і позначають w .

Наприклад, кодова комбінація 100101100 характеризується значністю $n = 9$ і вагою $w = 4$.

Ступінь відмінності будь-яких двох кодових комбінацій даного коду характеризується так названою *відстанню* між кодами d . Вона виражається числом позицій або символів, у яких комбінації відрізняються одна від одної, і визначається як вага суми за модулем два цих кодових комбінацій.

Наприклад, для визначення відстані між комбінаціями 100101100 і 110110101 необхідно просумувати їх за модулем два:

$$\begin{array}{r} \oplus 100101100 \\ 110110101 \\ \hline 010011001 \end{array}$$

Отримана в результаті підсумовування нова кодова комбінація характеризується вагою $w = 4$. Отже, відстань між вихідними кодовими комбінаціями $d = 4$.

Помилки, унаслідок впливу завад, виявляються в тім, що в одному або декількох розрядах кодової комбінації нулі переходять в одиниці і, навпаки, одиниці переходять у нулі. У результаті створюється нова – помилкова комбінація.

Якщо помилки з'являються тільки в одному розряді кодової комбінації, то їх називають *однократними*. При наявності помилок у двох, трьох і т.д. розрядах помилки називають *двократними*, *трикратними* тощо.

Для визначення місць у кодовій комбінації, де виникають помилкові символи, використовується вектор помилки $\vec{e}$. Вектор помилки n – розрядного коду є n – розрядною комбінацією, одиниці в якій указують положення помилкових символів кодової комбінації. Наприклад, якщо для п'ятирозрядного коду вектор помилки має вигляд $\vec{e} =$

01100, то це означає, що мають місце помилки в третьому і четвертому розрядах кодової комбінації.

Вага вектора помилки w_e характеризує кратність помилки. Сума за модулем два помилкової кодової комбінації і вектора помилки дає вихідну неспотворену комбінацію.

5.1.3 Матриця відстаней між кодовими комбінаціями

Найменша відстань між дозволеними кодовими комбінаціями $d_{\min}$ - дуже важлива характеристика коду. Саме вона характеризує його коригувальні властивості.

Розглянемо конкретні приклади.

Нехай необхідно побудувати код, що виявляє всі помилки кратністю t і нижче.

Побудувати такий код – це означає з множини N_0 можливих вибрати N дозволених комбінацій так, щоб кожна з них у сумі за модулем два з будь-яким вектором помилок з вагою $w_l \leq t$ не дала б у результаті ніякої іншої дозволеної комбінації. Для цього необхідно, щоб найменша кодова відстань задовольняла умові

$$d_{\min} \geq t + 1.$$

Як приклад розглянемо код зі значністю $n = 3$. Усі можливі комбінації такого коду представлені в таблиці 5.1.

Матриця відстаней між кодовими комбінаціями має вигляд (табл. 5.2).

Таблиця 5.1 – Код зі значністю $n = 3$

A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
000	001	010	011	100	101	110	111

Таблиця 5.2 – Матриця відстаней між кодовими комбінаціями

	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
A ₁	0	1	1	2	1	2	2	3
A ₂	1	0	2	1	2	1	3	2
A ₃	1	2	0	1	2	3	1	2
A ₄	2	1	1	0	3	2	2	1
A ₅	1	2	2	3	0	1	1	2
A ₆	2	1	3	2	1	0	2	1
A ₇	2	3	1	2	1	2	0	1
A ₈	3	2	2	1	2	1	1	0

Для того, щоб код забезпечував виявлення однократних помилок, необхідно з усієї множини $N_0 = 8$ можливих комбінацій вибрати в якості дозволених такі, відстань між якими була б не менше $d = 2$.

5.1.4 Контрольний розряд перевірки на парність

При передачі або збереженні даних не можна цілком виключати можливість появи помилок. Тому часто використовують методи передачі, при яких фіксується виникнення помилок. Для цієї мети до інформаційних розрядів додається один або більш контрольних розрядів. Чим більше вводиться контрольних розрядів, тим більше помилок можна визначити або навіть виправити.

Найпростіший спосіб розпізнавання помилок полягає в передачі розряду перевірки на парність p . При цьому з інформаційних розрядів утворюються слова, що передаються або паралельно, або послідовно. Сигнал парності можна сформулювати двома способами. При перевірці на парність у додатковий розряд парності записується нуль, якщо число одиниць в інформаційному слові парне. Якщо воно не парне, то в контрольному розряді записується одиниця. При цьому загальна кількість переданих одиниць в інформаційному слові, включаючи контрольний розряд, завжди виявляється парним. При перевірці на парність картина зворотна.

На приймаючій стороні контрольний розряд обчислюється тим же способом для інформаційних розрядів слова і порівнюється з переданим контрольним розрядом. При розбіжності фіксується помилка передачі. При цьому способі може бути виявлена кожна одинична помилка. Однак виправлення її неможливе, тому що неправильний біт не можна локалізувати. Якщо порушено кілька розрядів, то можна знайти лише непарне число помилок.

Блок-схема для захисту даних за допомогою перевірки на парність представлена на рис. 5.1. Порівняння переданого контрольного розряду з обчисленим на приймальній стороні відбувається за допомогою елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО. Якщо вони розрізняються, то сигнал помилки $f = 1$.

Коди, розроблені вченим Р. Хеммінгом, мають здатність не тільки знаходження, але і локалізації одиночної помилки. По методу Хеммінга можуть бути побудовані коди різної довжини. При цьому чим більше довжина коду, тим менше відносна надмірність. Наприклад, для контролю числа, що має 48 двійкових розрядів, потрібно тільки

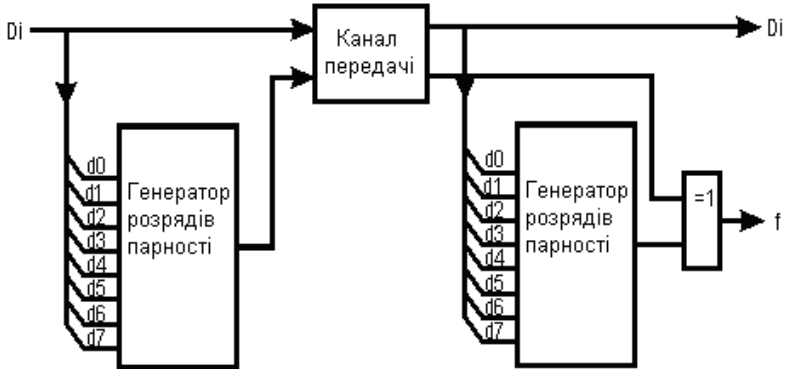


Рисунок 5.1 - Передача даних при перевірці на парність

шість додаткових (надмірних) розрядів.

5.1.5 Коди Хеммінга

Коди Хеммінга використовуються для контролю передачі інформації по каналах зв'язку.

Припустимо, що є код, що містить m інформаційних розрядів і k контрольних розрядів. При цьому довжина слова складає $m+k$ розрядів. Формування k контрольних розрядів здійснюється шляхом виконання перевірок на парність деяких груп інформаційних розрядів. Кількість контрольних розрядів визначається на основі нерівності

$$2^k \geq (m + k + 1)$$

Результати розрахунку важливих для практики варіантів зазначені у табл. 5.3. Зрозуміло, що доля контрольних розрядів у загальній довжині слова тим менше, чим більше довжина слова.

Таблиця 5.3 – Мінімально – необхідне число контрольних розрядів для виявлення і корекції одиничної помилки в залежності від довжини інформаційного слова.

Число інформаційних розрядів, m	1...4	5...11	12...16	27...57	58...120	121...247
Число контрольних розрядів, k	3	4	5	6	7	8

Для розміщення контрольних розрядів $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, \dots$ використовуються позиції 1, 2, 4, 8, 16, ... (номер позиції k_i контрольного розряду рівний 2^{k_i}). Вміст контрольних розрядів формується на основі логічних рівнянь, представлених в табл. 5.4, де p_i – вміст i -го розряду кодового слова.

Таблиця 5.4 – Вміст контрольних розрядів

Контрольний розряд	Логічне рівняння
k_1	$p_1 = p_3 \oplus p_5 \oplus p_7 \oplus p_9 \oplus p_{11} \oplus p_{13} \oplus \dots$
k_2	$p_2 = p_3 \oplus p_6 \oplus p_7 \oplus p_{10} \oplus p_{11} \oplus p_{14} \oplus p_{15} \oplus p_{18} \oplus p_{19} \oplus p_{22} \oplus p_{23} \oplus \dots$
k_3	$p_3 = p_5 \oplus p_6 \oplus p_7 \oplus p_{12} \oplus p_{13} \oplus p_{14} \oplus p_{15} \oplus p_{20} \oplus p_{21} \oplus p_{22} \oplus p_{23} \oplus \dots$
k_4	$p_4 = p_8 \oplus p_9 \oplus p_{10} \oplus p_{11} \oplus p_{12} \oplus p_{13} \oplus p_{14} \oplus p_{15} \oplus p_{24} \oplus \dots$
...	...

У таблиці 5.5 представлені приклади кодування інформації за методом Хеммінга для семирозрядного коду. Як видно з таблиці, в цьому випадку $n = 7, m = 4, k = 3$.

Таблиця 5.5 - Кодування інформації для коду з $n = 7, m = 4, k = 3$

Номер розряду	1	2	3	4	5	6	7
Десятковий код	k_1	k_2	m_1	k_3	m_2	m_3	m_4
0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	1	0	0	1
2	0	1	0	1	0	1	0
3	1	0	0	0	0	1	1
4	1	0	0	1	1	0	0
5	0	1	0	0	1	0	1
6	1	1	0	0	1	1	0
7	0	0	0	1	1	1	1
8	1	1	1	0	0	0	0
9	0	0	1	1	0	0	1
10	1	0	1	1	0	1	0
11	0	1	1	0	0	1	1
12	0	1	1	1	1	0	0
13	1	0	1	0	1	0	1
14	0	0	1	0	1	1	0
15	1	1	1	1	1	1	1

Блок-схему захисту даних, представлених кодом Хеммінга, наведено на рис. 5.2.

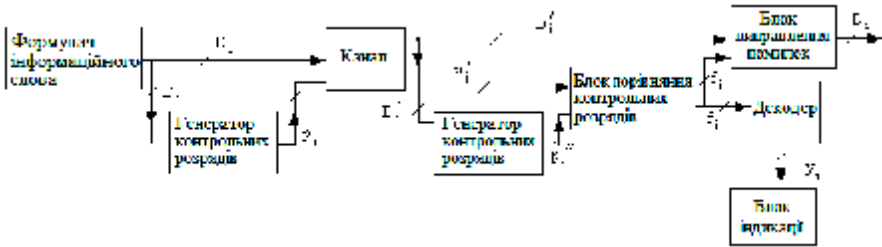


Рисунок 5.2 - Блок-схема захисту даних, представлених кодом Хеммінга

5.1.6 Дослідження принципів завадостійкого кодування на установці "Код Хеммінга"

Дана установка демонструє роботу коду Хеммінга. Вона складається з передавача сигналів, каналу передачі сигналів і приймача. Передавач складається з формувача інформаційного слова на перемикачах $SA1 - SA3$ і генератора розрядів парності, зібраного на логічних елементах ВИКЛЮЧНЕ АБО. У якості елементів ВИКЛЮЧНЕ АБО використовується мікросхема К555ЛП5 (7486).

Приймач складається з генератора розрядів парності, блоку порівняння контрольних розрядів (рис. 5.3), ОЗП та блоку індикації. Генератор розряду парності зібраний по тій же схемі, що й у передавачі. Блок порівняння контрольних розрядів порівнює інформаційне слово, сформоване генератором розрядів парності, що надійшло з передавача з інформаційним словом, сформованим генератором розрядів парності приймача. Виявлена інформаційна помилка надходить на ОЗП, де вона декодується, а потім надходить на інформаційне табло. ОЗП зібраний на програмуванні логічній матриці (ПЛМ). У якості елемента ВИКЛЮЧНЕ АБО використовують мікросхему К555ЛН1.

Прошивання ПЛМ виконується діодами КД522; резисторами ($R1 - R7$) 10 кОм. На виході ПЛМ використовується підсилювач за струмом, зібраний на транзисторах ($VT1 - VT8$) $n-p-n$ типу (КТ315) і обмежувальні резистори ($R8 - R15$) 220 Ом. Інформаційне табло представляє ряд світлодіодів, які мають кожний своє значення: помилка; помилка по шині $D0, D1, D2, P0, P1, P2$; непереборна помилка. Код помилок і їхнє декодування представлені в таблиці 5.6.

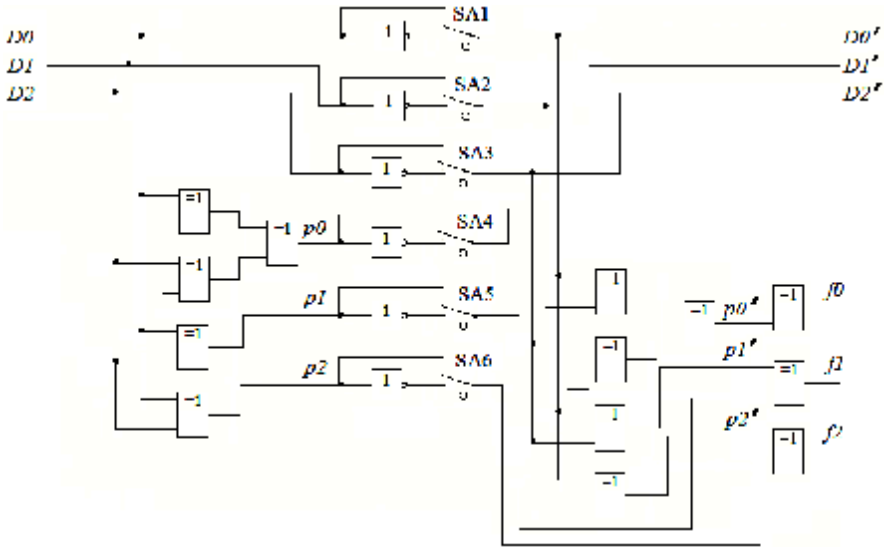


Рисунок 5.3 – Схема установки "Код Хеммінга"

У табл. 5.6 використовуються позначення: $VD1$ – світлодіод індикації будь-якої помилки, $VD2$ – світлодіод індикації помилки $D0$, $VD3$ – світлодіод індикації помилки $D1$, $VD4$ – світлодіод індикації помилки $D2$, $VD5$ – світлодіод індикації помилки $P0$, $VD6$ – світлодіод

Таблиця 5.6 - Код помилок і їхнє декодування

Наявність помилки							Індикатор						
D0	D1	D2	P0	P1	P2	VD1	VD2	VD3	VD4	VD5	VD6	VD7	VD8
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1

індикації помилки $P1$, $VD7$ – світлодіод індикації помилки $P2$, $VD8$ – світлодіод індикації невивпраляємої помилки.

Всі інші комбінації ведуть до неправильного визначення помилки, а так само і до неправильного виправлення цієї помилки.

5.2 Завдання

5.2.1 Під'єднайте установку до блоку живлення і ввімкніть її за дозволом викладача.

5.2.2 Наберіть вхідне трирозрядне слово.

5.2.3 Перевірте реакцію установки за відсутності завад у каналі.

5.2.3 Перевірте реакцію установки при наявності різних однократних помилок як у інформаційних розрядах, так і у контрольних. Результати експериментів підтвердіть ручними розрахунками.

5.2.4 Перевірте реакцію установки при наявності різних двократних помилок як у інформаційних розрядах, так і у контрольних. Результати експериментів підтвердіть ручними розрахунками.

5.3 Порядок оформлення звіту

Звіт має містити: мету роботи; схему експерименту; результати досліджень; результати ручних розрахунків; висновки по роботі.

5.4 Контрольні запитання

5.4.1 Закодуйте кодом Хеммінга комбінацію A , що вибирається за варіантом (табл. 5.7). Покажіть на прикладі виправлення будь-якої однократної помилки. Визначте надмірність коду Хеммінга.

Таблиця 5.7 – Варіанти завдань до пункту 5.4.1

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7
A	1010100	01100101	100011	10011011	10010011	1010111	10001101

5.4.2 Побудуйте код Хеммінга для виправлення однократної помилки при $k = 9$ для передачі слова 1101001111. Покажіть процес виявлення і виправлення помилки, що виникла в i -му розряді комбінації коду Хеммінга (табл.5.8).

5.4.3 За яким принципом діє установка "Код Хеммінга"?

5.4.4 Поясніть роботу схеми передачі даних при перевірці на па

Таблиця 5.8 – Варіанти завдань до пункту 5.4.2

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7
<i>i</i>	2	8	5	10	9	1	4

рність.

5.4.5 Визначте значність і вагу кодової комбінації 10110101110.

5.4.6 Що розуміють під поняттям ”завадостійке кодування”?

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 ”СИСТЕМИ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ”

Метою роботи є ознайомлення з сучасними засобами захисту інформації.

6.1 Теоретичні відомості

6.1.1 Системи захисту інформації та їх класифікація

Інформація в електронній системі вимагає того або іншого захисту, під яким розуміється сукупність методів, що дозволяють управляти доступом до інформації, що зберігається в системі.

Системи захисту інформації розглядаються в науці, яка називається криптографією.

Криптографія - наука про захист інформації від прочитання її сторонніми особами. Захист досягається шифруванням, тобто перетворенням, яке робить захищені вхідні дані важкорозкриваємими за вхідними даними без знання спеціальної ключової інформації - ключа.

Ключ - легкосмінна частина криптосистеми, що зберігається в таємниці і визначає, які шифруючі перетворення виконуються в даному випадку.

Криптосистема - множина перетворень, які перетворюють текст, що захищається, в шифрограму і навпаки.

Бажано, щоб методи шифрування мали, як мінімум, дві властивості:

- законний одержувач зможе виконати зворотне перетворення і розшифрувати повідомлення;
- криптоаналітик противника, що перехопив повідомлення, не зможе відновити по ньому початкове повідомлення без таких витрат

часу і засобів, які зроблять цю роботу недоцільною.

Криптосистеми поділяють на *симетричні* та з *відкритим ключем*.

У *симетричних криптосистемах* для шифрування і для дешифрування використовується один і той же ключ.

У *системах з відкритим ключем* використовуються два ключі - відкритий і закритий, які математично пов'язані один з одним. Інформація шифрується за допомогою відкритого ключа, який доступний всім охочим, а розшифровується за допомогою закритого ключа, відомого тільки одержувачу повідомлення.

Відкритий текст звичайно має довільну довжину. Якщо його розмір великий і він не може бути оброблений обчислювальним пристроєм шифратора цілком, то він розбивається на блоки фіксованої довжини, і кожен блок шифрується окремо, незалежно від його положення у вхідній послідовності. Такі криптосистеми називаються *системами блокового шифрування*.

Криптостійкість називають характеристики шифру, що визначає його стійкість до дешифрування без знання ключа (тобто криптоаналізу). Є декілька показників криптостійкості, серед яких:

- кількість всіх можливих ключів;
- середній час, необхідний для криптоаналізу.

6.1.2 Принципи шифрування

На практиці зазвичай використовують два принципи шифрування: розсіювання та перемішування.

Розсіювання полягає в розповсюдженні впливу одного символу відкритого тексту на багато символів шифротексту: це дозволяє приховати статистичні властивості відкритого тексту.

Перемішування полягає у використанні таких шифруючих перетворень, які виключають відновлення взаємозв'язку статистичних властивостей відкритого і шифрованого тексту. Поширений спосіб досягнення хорошого розсіювання полягає у використовуванні складового шифру, який може бути реалізований у вигляді деякої послідовності простих шифрів, кожний з яких вносить невеликий внесок в значне сумарне розсіювання і перемішування. У простих шифрах для цього частіше всього використовуються прості підстановки і перестановки.

Усе різноманіття існуючих криптографічних принципів шифрування можна звести до наступних класів перетворень, представлених на рис. 6.1.

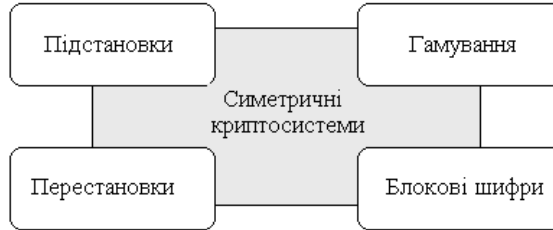


Рисунок 6.1- Класи перетворень криптографічних методів

Моно- і багатоалфавітні підстановки. Найпростіший вид перетворень, що полягає в заміні символів початкового тексту на інші (того ж алфавіту) за більш-менш складним правилом. Для забезпечення високої криптостійкості необхідно використовувати великі ключі.

Перестановки – це нескладний метод криптографічного перетворення. Використовується, як правило, в поєднанні з іншими методами.

Гамування. Принцип шифрування гамуванням полягає в генерації гами шифру за допомогою датчика псевдовипадкових чисел і накладенні одержаної гамми на відкриті дані (наприклад, використовуючи додавання за модулем 2).

Процес дешифрування даних зводиться до повторної генерації гами шифру при відомому ключі і накладенні такої гамми на зашифровані дані.

Блокові шифри - це послідовність (з можливим повторенням і зміною) основних методів перетворення, що вживаються до блоку (частини) шифрованого тексту. Блокові шифри на практиці зустрічаються частіше, ніж "чисті" перетворення того або іншого класу через їх вищу криптостійкість. Російський і американський стандарти шифрування засновані саме на цьому класі шифрів.

Процес криптографічного закриття даних може здійснюватися як програмно, так і апаратно. Програмна реалізація більш практична, вона допускає відому гнучкість у використуванні. Апаратна реалізація відрізняється істотно більшою вартістю, проте її властиві і переваги: висока продуктивність, простота, захищеність.

6.1.3 Апаратні засоби захисту

Апаратні способи шифрування інформації застосовуються для передачі секретних даних у телекомунікаційних мережах.

Для реалізації шифрування за допомогою змішаного алфавіту використовується перестановка окремих розрядів в межах одного або декількох символів.

На рис.6.2,а наведено схему апаратного шифрувача, що використовує операцію перестановки розрядів у межах одного байта інформації. Для розшифровки повідомлень застосовують симетричну перестановку. Блок перестановки може бути змінним або керованим. Блок керування (БК) синхронізує роботу шифрувального пристрою. Можливе число перестановок для n -розрядних символів складає $n!$ -1. Перестановку розрядів у межах декількох байт називають *заплутуванням*.

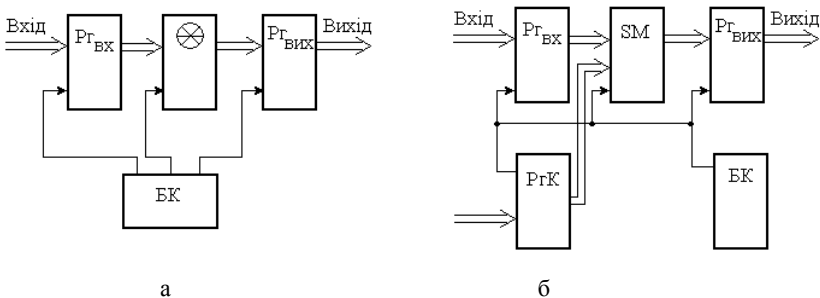


Рисунок 6.2 - Схеми шифрувачів: а – схема шифрувача з операціями перестановки; б – схема ключового шифрувача

Для шифрування за допомогою ключових слів застосовується операція додавання за модулем 2 (виключне АБО, XOR). Схему такого шифрувача показано на рис. 6.2,б.

Ключове слово зберігається в 64-розрядному регістрі ключа РгК. Інформація, що підлягає шифруванню, записується в 64-розрядний регістр інформації Рг_{вх}. Після заповнення регістра Рг_{вх} виконується операція додавання за модулем 2 кода Рг_{вх} з кодом РгК. Результат є зашифрованою інформацією, яка надходить у вихідний 64-розрядний регістр Рг_{вих}.

При визначенні кількості операцій заплутування і додавання за модулем 2 доводиться шукати компромісне рішення між складністю шифрування і часом перетворення.

Ключові слова для роботи схем шифрування вибираються за допомогою спеціальних генераторів випадкових чисел і передаються у приймальний пристрій в зашифрованому вигляді (їх шифрування виконується з використанням попередніх ключів). Дешифрування інфо-

рмації виконується в зворотній послідовності.

6.1.4 Принцип роботи пристрою "Шифратор"

Для наочного розуміння принципів криптографічного захисту інформації була створена лабораторна установка. Вказаний пристрій "Шифратор" призначений для моделювання апаратного шифрування двійкової інформації. В установці використовуються наступні способи шифрування: перестановка окремих бітів з одного двійкового числа в інше за певним законом; використання слова-ключа. Структурна схема пристрою представлена на рис.6.4.



Рисунок 6.4 – Структурна схема пристрою "Шифратор"

Блок індикаторів зібраний на чотирьох мікросхемах К561ІР9 (чотирирозрядні послідовно-паралельні регістри).

Блок керування складається з генератора прямокутних імпульсів, що зібраний на мікросхемі К555ЛН1 (мікросхема містить шість інверторів), і двійкового лічильника (К555ІЕ5). Генератор синхронізує роботу шифратора. Лічильник керує роботою блоку перестановки.

Шифратор працює так. За командою "завантаження" інформаційні слова і слово-ключ записуються в регістри в блоці вводу. На наступному кроці інформаційні слова по бітах надходять у блок перестановки на входи мікросхеми К561КТ3А. Відбувається це так: спочатку до входів блоку перестановки підключається вихід однієї з мікросхем з інформаційним словом, друга мікросхема відключена. Лічильник в блоці керування відлічує два імпульси і змінює підключення мікросхем, тобто перша мікросхема відключається, а друга підключається до входів блоку перестановки. Потім процес повторюється. Таким чином, на виході блоку перестановки формується наступна комбінація - два біти першого інформаційного слова, потім два біти другого інформаційного слова тощо. Одержана комбінація надходить у блок кодування. Туди ж надходить слово-ключ. У блоці кодування над ними виконується логічна операція *XOR*. Зашифрована інформація

надходить у блок індикаторів (завантажується в мікросхеми K561ІР9, вони дозволяють перетворити послідовний код в паралельний).

Отже, установка "Шифратор" працює за наступним алгоритмом.

Етап 1. Задане викладачем перше восьмирозрядне інформаційне слово набирається на лицьовій панелі установки. Друге інформаційне слово з метою спрощення схеми установки "защите" в шифраторі, його значення: 10110101. Інформаційні слова "перемішуються" в блоці перестановки. Внаслідок чого формується результуюче слово подвоєної довжини. Наприклад, задане перше інформаційне слово: 01010101, результуюче слово: 0110011101010101.

Етап 2. Задане викладачем восьмирозрядне ключове слово набирається на лицьовій панелі установки. У блоці кодування за модулем 2 складаються результуюче слово і подвоєне слово-ключ. Наприклад:

$$\begin{array}{r} 0110011101010101 \\ \oplus \quad 1010101010101010 \\ \hline 1100110111111111 \end{array}$$

Одержане результуюче слово відображається блоком індикаторів.

6.2 Завдання

6.2.1 За заданим варіантом (табл. 6.1) отримайте на установці "Шифратор" зашифроване слово.

Таблиця 6.1 - Варіанти завдань

№ варіанта	Інформаційне слово	Ключове слово
1	01010101	10101010
2	00010101	00100010
3	00010101	00100100
4	00010011	00100100
5	01010011	00101100
6	01010011	00011100
7	01010011	11100000
8	01111011	11100000
9	00000000	00100001
10	11111111	00100000
11	10011010	00100000
12	11011101	00011111
13	11010011	11100000
14	01110010	10100111
15	00101100	00101111
16	11010011	11101001

6.2.2 Перевірте правильність формування зашифрованого слова за допомогою алгоритму, що приводиться у підрозділі 6.1.

6.3 Порядок оформлення звіту

Звіт повинен містити: мету роботи, структурну схему пристрою "Шифратор", результати випробувань, висновки.

6.4 Контрольні запитання

- 1 Навіщо необхідно захищати інформацію в електронних системах?
- 2 Що вивчає криптографія?
- 3 Яку функцію виконує ключ у криптосистемі?
- 4 Які властивості мають методи шифрування?
- 5 Чим симетричні криптосистеми відрізняються від криптосистем з відкритим ключем?
- 6 Що таке криптостійкість шифру?
- 7 Які існують поширені принципи шифрування?
- 8 Як працюють блокові шифри?
- 9 Які переваги мають апаратні способи захисту інформації?
- 10 Яка операція називається заплутуванням?
- 11 Наведіть приклад схеми апаратного шифратора.
- 12 Як працює ключовий апаратний шифрувач?
- 13 Які блоки має лабораторний пристрій "Шифратор"?
- 14 Який принцип роботи лабораторного пристрою "Шифратор"?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1 Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. Учебник для вузов [Текст] /С.И.Баскаков . – М.: Высш. школа, 2005. - 463 с.

2 Кузьмин, И.В. Основы теории информации и кодирования [Текст] /И.В.Кузьмин, В.А. Кедрус. 2 - изд., перераб и доп. - К. : Вища шк. Головное изд-во, 1986.- 238 с.