

Хмельницький національний університет  
Міністерства освіти і науки України

# Електроніка

## Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт.

Рекомендовано для студентів спеціальностей «Електромеханіка»,  
«Компютерна інженерія», «Машинобудування», «Агроінженерія»

Хмельницький, 2020

Електроніка. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціальностей «Електромеханіка», «Компютерна інженерія», «Машинобудування», «Агроінженерія»/ А.С. Каштальян., А.В. Горошко, В.Д. Бідюк – Хмельницький: ХНУ, 2020. – 59с.

Укладачі: Каштальян А.С., к.т.н., доцент,  
Горошко А.В., д.т.н., професор,  
Бідюк В.Д., ст. викладач

Відповідальний за випуск: Косенков В.Д., к.т.н., професор.

## ПЕРЕДМОВА

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт пропонуються студентам спеціальностей «Електромеханіка», «Компютерна інженерія», «Машинобудування», «Агроінженерія».

Лабораторні заняття проводяться з метою успішного освоєння студентами теоретичного матеріалу й застосування його для рішення завдань й аналізу отриманих результатів. Завдання до лабораторних робіт охоплюють питання елементної бази електронних апаратів, аналогової та цифрової електроніки.

Студенти, які успішно завершили вивчення дисципліни, повинні знати механізми роботи аналогових та дискретних електронних схем, особливості технологічних процесів виготовлення інтегральних схем, принцип роботи та основи розрахунку вузлів аналогової схемотехніки, основні характеристики та застосування дискретних пристроїв; вміти користуватися довідниковими даними по основних параметрах та характеристиках схемотехнічної бази електронних систем, аналізувати складні функціональні вузли на основі інтегральної схемотехніки, визначати основні характеристики аналогових та дискретних вузлів; бути здатним застосовувати набуті знання для оцінки технічних параметрів та вибору електрообладнання при вирішенні практичних потреб виробництва.

## ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Лабораторні роботи є одним з видів занять для опанування дисципліни з вивчення електроніки. Основними задачами лабораторних занять є: засвоєння техніки експерименту; ознайомлення з практичними схемами електронних пристроїв; навчання грамотному опрацюванню та оформленню результатів вимірювання; практична перевірка положень, викладених в теоретичній частині курсу.

При виконанні лабораторних робіт необхідно дотримуватись правил з техніки безпеки:

- перед початком лабораторних робіт усі студенти повинні пройти первинний інструктаж з охорони праці на робочому місці;
- не можна самостійно робити будь-які вмикання або вимикання на головному розподільному щиті;
- складати коло за схемою можна тільки при вимкненій напрузі;
- необхідно використовувати ізольовані провідники з наконечниками відповідного перерізу;
- необхідно знати принцип дії і правила експлуатації приладів, з якими доводиться мати справу, засвоїти безпечні правила роботи з приладами;
- забороняється працювати на незаземленому обладнанні;
- вмикати живлення до складної схеми і приступати до виконання роботи можна тільки після перевірки схем викладачем і одержання дозволу;
- забороняється виконувати будь-які перемикання в схемі під напругою;
- забороняється торкатись руками оголошених провідників та клем, які можуть в цю мить пропускати струм;
- по закінченню роботи необхідно вимкнути електричне живлення лабораторного стенда та приладів, розібрати електричну схему, повідомити викладача або лаборанта про всі несправності, які виявленні під час роботи;
- при виявленні нагріву, запаху диму або надмірного відхилення стрілок приладів, потрібно негайно вимкнути електричне коло і повідомити про це викладача або лаборанта

Звіт з лабораторної роботи виконується кожним студентом індивідуально. Звіт повинен містити вихідні дані експерименту, схеми досліджуваних пристроїв, результати вимірювань, результати розрахунків, висновки щодо виконаної роботи.

В кінці кожної лабораторної роботи містяться контрольні запитання, які дозволяють підготуватися до виконання та захисту лабораторних робіт.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### Ознайомлення з будовою та параметрами пасивних елементів електронних схем

#### Теоретичні відомості

Пасивними елементами електричних кіл є елементи, у яких розсіюється (резистор) або накопичується (котушка індуктивності і конденсатор) енергія. Резистор, котушка індуктивності і конденсатор є пасивними двополюсними елементами. Відповідні ідеалізовані елементи з параметрами  $R$  (активний опір),  $L$  (індуктивність) і  $C$  (ємність) характеризуються рівняннями зв'язку між миттєвими значеннями струму  $i$  і напруги  $u$  :

$$u_R = i_R R, \quad u_L = L \frac{di_L}{dt}, \quad u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt$$

$$i_R = G u_R, \quad i_L = \frac{1}{L} \int u_L dt, \quad i_C = C \frac{du_C}{dt}$$

Напруга вимірюється в вольтах (В), струм – в амперах (А), опір – в омах (Ом), провідність – в сіменсах (См), індуктивність – в генрі (Гн), ємність – в фарадах (Ф).

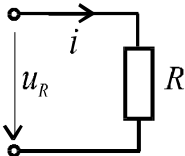


Рис. 1.1

На рис. 1.1 показане умовне графічне зображення активного опору. Миттєва потужність кола з активним опором

$$p_R = u_R \cdot i = R \cdot i^2 = \frac{u^2}{R} \geq 0.$$

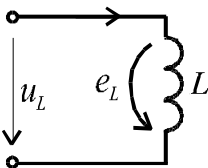


Рис. 1.2

На рис. 1.2 показане умовне графічне зображення індуктивності. Миттєва потужність кола з індуктивністю

$$p_L = u_L i = L i \frac{di}{dt}.$$

Енергія, накопичена індуктивністю

$$W_L = \int_{-\infty}^t p_L dt = L \int_0^i i di = \frac{Li^2}{2}$$

На рис. 3 показано умовне графічне зображення ємності. Миттєва потужність кола з ємністю

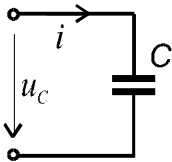


Рис. 1.3

$$p_C = u_C \cdot i = C u_C \frac{du_C}{dt}.$$

$$W_C = \int_{-\infty}^t p_C dt = C \int_0^{u_C} u_C du = \frac{C u_C^2}{2} \geq 0.$$

У реальних елементах електричних кіл необхідно враховувати паразитні процеси. Це досягається використанням схем заміщення, які містять ідеалізовані елементи.

Призначення резистора – створювати електричному струмові опір заданої величини. Резистори поділяються на постійні та змінні. Основними параметрами резисторів є: номінальний опір резистора, допустиме відхилення опору від номіналу (допуск), номінальна потужність, температурний коефіцієнт опору, рівень шумів.

Величину номінального опору та допуск вказують на корпусі резистора. В більшості випадків використовують кодоване позначення, яке відповідає міжнародним стандартам. Позначення величини опору складається з двох чи трьох цифр та літери, якою може бути R(Е), К, М, G(Г), Т. Літера ставиться на місці коми і означає оми, кілооми, мегаоми, гігаоми, тераоми відповідно. Після номіналу вказують допуск або у відсотках, або за допомогою літери (табл. 1.1)

Таблиця 1.1.

Допуск, %	±0,1	±0,2	±0,5	±1	±2	±5	±10
Позначення	B(B)	C(C)	D(D)	F(P)	G(Ж)	I(И)	K(K)

На невеликих за розмірами резисторах допускається маркування кольоровим кодом у вигляді крапок або кільця. Номінальний опір позначається трьома або чотирма кільцями чи крапками. Останнє кільце вказує на допуск, передостаннє на множник, перших два або три кільця є цифрами. В табл. 1.2 наведені позначення кольоровим кодом.

Таблиця 1.2.

Колір знаку	Номінальний опір, Ом			Множник	Допуск, %
	1 цифра	2 цифра	3 цифра		
Сріблястий	-	-	-	0,01	±10
Золотистий	-	-	-	0,1	±5
Чорний	0	0	0	1	-
Коричневий	1	1	1	10	±1
Червоний	2	2	2	100	±2
Рожевий	3	3	3	10 <sup>3</sup>	-
Жовтий	4	4	4	10 <sup>4</sup>	-
Зелений	5	5	5	10 <sup>5</sup>	±0,5

Блакитний	6	6	6	$10^6$	$\pm 0,2$
Фіолетовий	7	7	7	$10^7$	$\pm 0,1$
Сірий	8	8	8	$10^8$	$\pm 0,05$
Білий	9	9	9	$10^9$	

На конденсаторах, так як і на резисторах при кодованому позначенні номінальну ємність позначають двома (трьома) цифрами та літерою. Літера ставиться на місці коми на означає П(p) – пФ, Н(n) – нФ, М(μ) – мкФ, Ф – фаради.

### *Завдання на лабораторну роботу*

1. Визначити номінальний опір та допуск резистора заданих кодованим написом. Перепишіть з резистора кодований запис. Розшифрувати запис та записати номінальний опір в Ом та допуск в %.

2. Визначити можливий діапазон опорів заданого резистора, мінімально можливий опір в Ом та максимально можливий опір в Ом;

3. Виміряти мультиметром опір заданого резистора. На мультиметрі необхідно встановити перемикачі в потрібне положення та вибрати межу вимірювання. Вимірний опір записати в Ом;

4. Порівняти вимірний мультиметром опір з можливим в діапазоні опорів для заданого резистора і зробити висновок про відповідність.

5. Визначити номінальний опір та допуск резистора заданих кольоровим кодом. Вписати кольори кілець: 1, 2, 3, 4. Розшифрувати запис та записати номінальний опір в Ом та допуск: в %.

6. Вказати, якими двома факторами визначається допустима потужність резистора.

7. Визначити номінальну потужність резистора (більшого з заданих). Номінальну потужність записати у Вт.

8. Визначити максимально можливу постійну напругу, що можна прикласти до цього резистора, виходячи з його номінальної потужності. Максимально можливу напругу записати у В.

9. Визначити номінальну ємність та допуск конденсатора заданих кодованим написом. Переписати кодований запис. Розшифруйте запис, записати номінальну ємність: у Вт та допуск в %.

10. Визначити можливий діапазон ємностей заданого конденсатора. Записати мінімально можливу ємність та максимально можливу ємність.

11. Записати, від чого залежить допустима напруга конденсатора.

12. Знайти серед запропонованих елементів електролітичний конденсатор з радіальним розташуванням виводів і вписати його дані, а саме тип, номінальну ємність та номінальну напругу.

13. Знайти серед запропонованих елементів електролітичний конденсатор з аксіальним розташуванням виводів і вписати його дані, а саме тип, номінальну ємність та номінальну напругу.

14. Вказати, якими двома факторами відрізняється ферит, як феромагнітний матеріал, від електротехнічної сталі.

15. Знайти серед запропонованих елементів з'єднувач і записати інформацію про нього. Він призначений для з'єднань між блоками чи в середині блока? Він призначений для установки на друковану плату (корпус блоку) чи для приєднання дротів (шлейфу)? Він має гнізда чи штирі? Скільки віток він може комутувати?

### ***Контрольні питання.***

1. Основні параметри резисторів.
2. Цифро-літерне позначення резисторів.
3. Позначення резисторів кольоровими кільцями або крапками.
4. Типи резисторів.
5. Основні параметри конденсаторів.
6. Цифро-літерне позначення конденсаторів.
7. Будова і типи конденсаторів.
8. Галузі використання конденсаторів.
9. Основні параметри котушок індуктивності.
10. Групи комутаційних пристроїв.

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2**

### **Ознайомлення з будовою та параметрами напівпровідникових елементів електронних схем**

#### ***Теоретичні відомості***

Напівпровідникові прилади є широким класом електронних приладів, дія яких базується на використанні властивостей напівпровідникових матеріалів. Напівпровідникові матеріали за своїм питомим опором займають проміжне місце між провідниками і діелектриками. Для виготовлення напівпровідникових приладів використовують тверді напівпровідники, що мають кристалічну будову. Основними напівпровідниковими матеріалами є кремній (Si), карбід кремнію (SiC), з'єднання галію та індію.

До напівпровідникових приладів відносяться інтегральні схеми (мікросхеми); транзистори; напівпровідникові діоди, включаючи стабілітрони, варикапи і діоди Шоткі; напівпровідникові НВЧ-прилади (діоди Ганна, лавино-прольотні діоди); оптоелектронні прилади: фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори, сонячні елементи, фототеристори тощо.



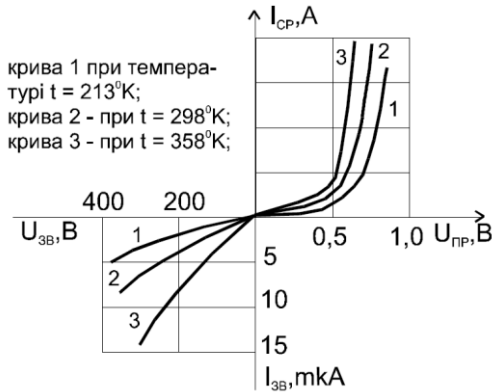


Рис. 2.1. ВАХ напівпровідникового діода

Конструктивно діод складається з р-п-переходу, укладеного в корпус (за винятком мікромодульних безкорпусних) і двох висновків: від р-області - анод, від п-області - катод. Залежність струму через прилад від значення прикладеної напруги називають вольт-амперною характеристикою (ВАХ). ВАХ діода зображена рис. 2.1. Основними параметрами випрямних діодів є: максимальна допустима постійна зворотна напруга  $U_{зв, \max}$ ; максимальний допустимий середній прямий струм  $I_{пр. \text{ср.} \max}$ ; постійний зворотний струм  $I_{зв}$  при певній постійній зворотній напрузі; постійна пряма напруга  $U_{пр}$  при певному постійному прямому струмі.

**Стабілітрони** характеризуються підвищеною концентрацією носіїв зарядів. Завдяки високій концентрації носіїв напруженість електричного

поля у р-п-переході зростає настільки, що при порівняно невеликій зворотній напрузі, прикладеної до стабілітрону, виникає лавинний пробій переходу і струм через перехід починає різко зростати при майже незмінній напрузі на

Принцип роботи більшості напівпровідникових приладів базується на властивостях електронно-діркового переходу (р-п - переходу).

**Діоди** - це напівпровідникові прилади з одним р-п - переходом і двома виводами. Основною властивістю р-п-переходу є одностороння провідність - струм протікає лише в одну сторону. Умовно-графічне позначення діода має форму стрілки, яка і вказує напрям протікання струму через прилад.

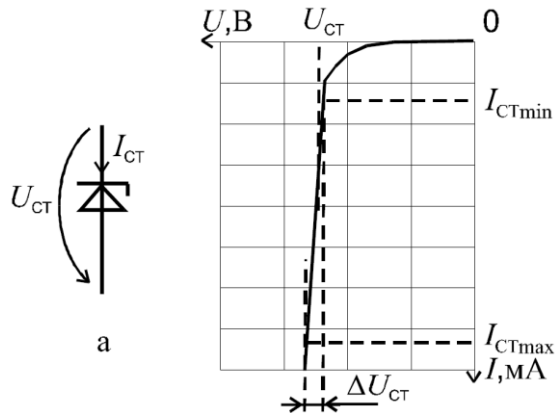


Рис. 2.1. ВАХ напівпровідникового стабілітрона

стабілітроні. Лавинний пробій не викликає руйнування електронно-діркового переходу, зі зменшенням зворотного напруги припиняється розмноження носіїв зарядів, і струм через перехід зменшується.

Стабілітрон працює на зворотній вітці ВАХ (рис. 2.2). Тому напруга на нього подають зворотної полярності, тобто включають так, щоб його анод був з'єднаний з негативним полюсом джерела живлення. Основними параметрами стабілітронів є: напруга стабілізації  $U_{cm}$  - це напруга, яке створюється між висновками стабілізатора в робочому режимі; струм стабілізації  $I_{cm}$ ; мінімальний струм стабілізації  $I_{cm.min}$  - це найменший струм через прилад, при якому починається стійка робота в режимі пробою; максимально допустимий струм стабілізації  $I_{cm.max}$  - це найбільший струм через прилад, при якому температура р-п переходу не перевищує допустимої.

*Транзистор* - це напівпровідниковий прилад, призначений для підсилення, генерування і перетворення електричних сигналів, а також комутації електричних кіл. Відмінною особливістю транзистора є здатність підсилювати напругу і струм - подані на вхід транзистора напруги і струми приводять до появи на його виході напружень і струмів значно більшої величини.

*Інтегральна мікросхема* – це електронна схема довільної складності, яка виготовлена на напівпровідниковій підкладці (пластині або плівці), яка знаходиться у нерозбірному корпусі. Класифікуються за ступенем інтеграції, технологією виготовлення, за видом сигналу, що обробляється.

### ***Завдання на лабораторну роботу***

1. Ознайомитись з класифікацією напівпровідникових приладів. Дослідити стабілітрон типу КС133А.
2. Ознайомитись з класифікацією транзисторів. Зняти статичну вхідну характеристику кремнієвого NPN транзистора.
3. Ознайомитись з зовнішнім виглядом мікросхем. Зарисувати зовнішній вигляд та основні геометричні розміри корпусів МС.
4. Дати відповідь на поставлені запитання, що стосуються напівпровідникових елементів.

### ***Виконання пункту 1 завдання***

Для стабілітрона КС133А відомо (з довідника): номінальна напруга стабілізації  $U_{cm} = 3,3$  В максимальний та мінімальний струми  $I_{cmmax} = 81$  мА та  $I_{cmmin} = 3$  мА відповідно; диференціальний опір  $r_{du\phi} = 65$  Ом. Для дослідження послідовно стабілітрону вмикають баластний резистор  $R_{бал}$  потрібної величини.

Розрахуйте величини баластних резисторів, що забезпечили б максимальний (при  $R_{бал1}$ ) та мінімальний (при  $R_{бал2}$ ) струми стабілізації у випадку приєднання через них стабілітрона КС133А до джерела з напругою 5В.

$$R_{\text{бал1}} = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{ст}}}{I_{\text{ст max}}}, \quad R_{\text{бал2}} = \frac{U_{\text{ж}} - U_{\text{ст}}}{I_{\text{ст min}}}$$

За  $R_{\text{бал1}}$  використайте опір між лівим та середнім виводами потенціометра, попередньо виставивши потрібне значення опору. (Вимірювання опорів здійснюється мультиметром при вимкненому вимикачі на лівій панелі стенду). Увімкніть  $R_{\text{бал1}}$  між клемми +5В та виводом стабілітрона на панелі стенда. Виміряйте напругу на стабілітроні  $U_{\text{cm1}}$ .

Повторіть дослід, використавши резистор  $R_{\text{бал2}}$  замість  $R_{\text{бал1}}$  (Для отримання потрібної величини  $R_{\text{бал2}}$  з'єднайте послідовно R2 та потенціометр), запишіть  $U_{\text{cm2}}$ .

За даними попереднього дослідження визначте:

$$\text{середнє значення напруги стабілізації } U_{\text{cm}} = \frac{U_{\text{cm1}} + U_{\text{cm2}}}{2},$$

зміну напруги стабілізації в робочому діапазоні струму через стабілітрон

$$\Delta U_{\text{cm}} = U_{\text{cm1}} - U_{\text{cm2}},$$

та величину диференціального опору стабілітрона

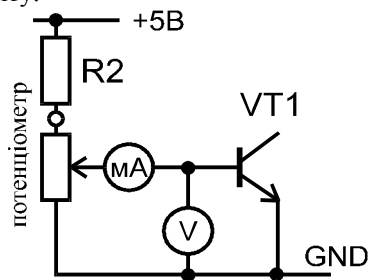
$$r_{\text{диф}} = \frac{U_{\text{cm1}} - U_{\text{cm2}}}{I_{\text{cm max}} - I_{\text{cm min}}}.$$

Отримані значення порівняйте з довідниковими, та зробіть висновки відносно відповідності досліджуваного стабілітрону

### **Виконання пункту 2 завдання**

Складіть коло для проведення експерименту.

Для вимірювання струму бази використайте мультиметр з універсальним шунтом. При цьому шунт потрібно увімкнути в вітку клемми з позначками "\*" та "20", а на мультиметрі вибрати "=U" та "2". Межа вимірювання при цьому буде 20 мА. (Покази на табло мультиметра потрібно помножити на 10). Для вимірювання напруги на базі також використайте мультиметр, встановивши його в режим вимірювання постійної напруги з межею вимірювання 2 В.



Після перевірки схеми викладачем увімкніть вимикач на лівій панелі стенда. Змінюючи напругу на базі VT1 зміною положення повзунка

потенціометра ручкою керування, запишіть в таблицю відповідні значення напруги та струму бази VT1.

$U_{BE}, \text{В}$	0	0,4	0,5			0,6		0,7	
$I_B, \text{мА}$									

Побудуйте отриману статичну вхідну характеристику транзистора.

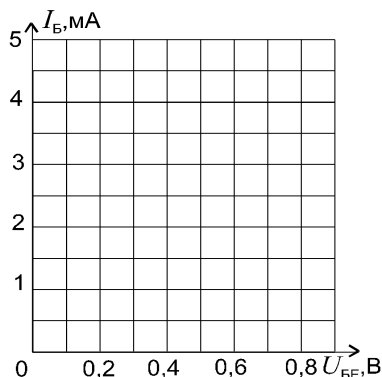
Апроксимуйте отриману характеристику ламаною лінією та зробіть висновок відносно напруги, при якій відкривається базовий  $p-n$  перехід кремнієвого транзистора.

### Виконання пункту 3 завдання

Знайдіть, серед запропонованих елементів мікросхему в корпусі DIP 14 pin, зарисуйте її та проставте на рисунку габаритні розміри та відстань між выводами. Мікросхеми, що містять логічні елементи в такому корпусі мають виводи: 7 для приєднання GND та 14 –  $+U_{ж}$ . Позначте на рисунку ці виводи і вкажіть, що до них підводиться.

### Контрольні питання

1. Чи можна величину диференціального опору стабілітрона виміряти мультиметром?
2. Чим обумовлене обмеження струму через стабілітрон по мінімуму?
3. Чим обумовлене обмеження струму через стабілітрон по максимуму?
4. Зарисуйте УГЗ біполярного  $n-p-n$  транзистора та уніполярних транзисторів з ізольованими затворами та індукованими каналами  $n$ - та  $p$ -типу.
5. Напругу якої полярності потрібно подати на колектор та базу  $n-p-n$  біполярного транзистора, щоб перевести його в робочий режим?
6. Залежність між якими величинами називається статичною вхідною характеристикою БТ? Що при її зніманні підтримується постійним?
7. Залежність між якими величинами називається статичною вихідною характеристикою БТ? Що при її зніманні підтримується постійним?
8. При якому абсолютному значенні напруги (вольт) на базі кремнієвого  $n-p-n$  БТ починає з'являтися струм бази?
9. Який з фотоприймачів, фотодіод чи фототранзистор, є більш світлочутливим?
10. Який з фотоприймачів, фотодіод чи фототранзистор, є більш інерційним?



11. Виберіть з ряду E24 номінал баластного резистора для забезпечення середнього значення струму стабілітрона (згідно варіанту з таблиці).

№ вар.	тип стабілітрона	$U_{Ж}$ , В	$I_{СТmin}$ , мА	$I_{СТmax}$ , мА	№ вар.	тип стабілітрона	$U_{Ж}$ , В	$I_{СТmin}$ , мА	$I_{СТmax}$ , мА
1	КС224Ж	30	0,5	2,1	8	КС175Ж	15	0,5	7
2	КС156А	10	3	55	9	КС215Ж	24	0,5	3,3
3	КС182Ж	15	0,5	15	10	КС515А	20	1	5,5
4	КС139А	12	3	60	11	КС468А	10	3	29
5	КС147А	12	3	58	12	КС533А	40	3	17
6	КС439А	10	3	51	13				
7	КС213Ж	26	0,5	4	14				

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

### Визначення статичних параметрів ТТЛ та КМОН

#### Теоретичні відомості

Статичні параметри МС.

1. *Середня потужність*, яка споживається від джерела -  $P_{спож}$ .

Цифрові структури на біполярних транзисторах споживають різну потужність при вихідному сигналі логічного нуля  $P_{спож}^0$  і логічної одиниці  $P_{спож}^1$ . Загальна споживана потужність визначається:  $P_{спож} = 0,5 (P_{спож}^0 + P_{спож}^1)$ . МС на КМОН транзисторах в статичних режимах практично не споживають потужності. Потужність споживається тільки в момент переходу з одного стану виходу в інший, тому величина цієї потужності залежить від частоти перемикавання та крутизни фронтів вхідних сигналів.

2. *Кількість і номінали джерел живлення.*

МС ТТЛ, ТТЛШ та перспективні серії ТТЛШ живляться напругою  $U_{Ж} = 5 \text{ В} \pm 5\%$ , МС на комплементарних парах транзисторів –  $U_{Ж} = 3...15 \text{ В}$ .

3. *Допустимі електричні рівні напруг логічного нуля та одиниці.*

для ТТЛ, ТТЛШ: "лог.0"  $U^0 = 0...0,4 \text{ В}$ , "лог.1"  $U^1 = 2,4 ... 5 \text{ В}$ ;

для КМОН напруги логічних рівнів залежать від величини напруги живлення.

Надвеликі інтегральні МС для зменшення потужності, що виділяється при роботі на високих частотах працюють при понижених напругах. Так ядро

сучасних процесорів працює при напрузі приблизно 2 В, а щоб забезпечити стандартні напруги "лог.0" та "лог.1" буферні регістри живляться напругою 3,3 В.

4. *Статична заводстійкість.* Найбільше значення напруги статичної завади по високому та низькому рівнях вхідної напруги, при якому ще не відбувається зміна стану виходу. Для ТТЛ та ТТЛШ вона рівна 0,4 В.

5. Вхідний струм в стані "лог.0"  $I_{вх}^0$  та "лог.1"  $I_{вх}^1$ .

6. Допустимий вихідний струм в стані "лог.0"  $I_{вих}^0$  та "лог.1"  $I_{вих}^1$ .

7. *Коефіцієнт розгалуження по виходу*, або навантажувальна здатність  $K_{РОЗ}$ .  $K_{РОЗ}$  показує на скільки входів цифрових елементів даної серії можна навантажити вихід цього елемента. Якщо вихід цифрового елемента однієї серії навантажується на входи елементів іншої серії, то  $K_{РОЗ}$  визначається виходячи з відповідних величин  $I_{вх}$  та  $I_{вих}$ . Деякі мікросхеми середнього ступеню інтеграції мають входи по споживанню як декілька стандартних.

8. *Коефіцієнт об'єднання по входу.* Число входів, по яких реалізується задана логічна функція.

9. *Вартість, надійність, температурний діапазон.* Вартість сильно залежить від типу корпусу МС. Температурний діапазон від мінус 50 до +125 °С. Надійність ТТЛ дуже висока, ТТЛШ – висока, КМОН до установки на плату можуть бути уражені статичною електрикою, після установки на плату їх надійність достатньо висока.

10. *Статична перехідна характеристика* ТТЛ - елемента показана на рис. 3.1.

Динамічні параметри МС.

1. *Час затримки розповсюдження* сигналу  $t_{зт}$  визначається як інтервал часу між точками на осцилограмах вхідної та вихідної напруг, що відповідають половині напруги логічної одиниці.

2. *Час перемикання виходу* визначається, як інтервал часу між точками на осцилограмі вихідної напруги, що відповідають значенням 0,1 та 0,9 напруги логічної одиниці.

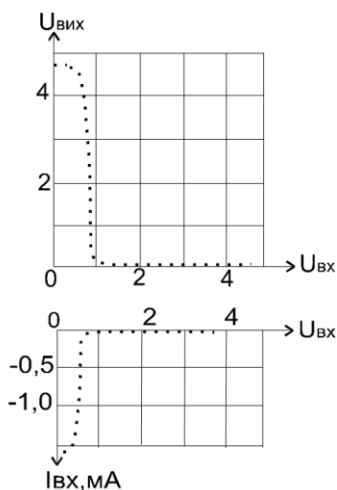


Рис. 3.1. Статична перехідна характеристика

3. *Енергія переносу одиницю інформації.* (Енергія споживана на біт інформації).

$$P_{пер} = \frac{P_{спож} \cdot t_{зм}}{2}, [\text{пДж}]$$

### ***Завдання на лабораторну роботу***

1. Ознайомитись з лабораторним стендом, та середньою частиною його правої панелі, котра використовується в експериментах.

2. Зняти статичну перехідну характеристику інвертора ТТЛ. Визначити задані параметри.

3. Визначити споживаний інвертором ТТЛ струм.

4. Зняти статичну перехідну характеристику інвертора КМОН. Визначити задані параметри.

5. Дати відповідь на поставлені запитання

### ***Довідки необхідні для виконання роботи***

З середньої частини панелі використовується: інвертор ТТЛ – К155ЛН1, інвертор КМОН – К561ЛН1, змінний дротяний резистор (потенціометр)  $R_{п}$  – 220 Ом, резистори  $R_1$  – 680 Ом та  $R_2$  – 390 Ом.

Враховуючи, що входи КМОН при поданому живленні НЕ МОЖНА ні на мить залишати неприєднаними між цими входами та шиною GND постійно увімкнуті резистори 1 МОм.

### ***Виконання пункту 2 завдання***

2.1. Зібрати схему експерименту, для чого: а) вивід від повзунка потенціометра приєднати до входу інвертора ТТЛ, лівий вивід – до шини GND; б) клему  $U_{ж}$  інвертора з'єднати з шиною +5 В; г) ввімкнути цифрові мультиметри для вимірювання напруг на вході та виході інвертора відносно шини GND.

2.2. Зняти статичну перехідну характеристику інвертора ТТЛ. Характеристику рекомендується знімати в два етапи: на першому етапі вхідну напругу встановлювати в діапазоні 0...1,7 В, на другому – в діапазоні 1,7...5 В. Для забезпечення вхідних напруг першого етапу правий вивід потенціометра приєднують до клемі "5 В" через резистор  $R_2$ , а другого етапу – безпосередньо до клемі "5 В". Дані занести в табл. 3.1. Обов'язково зафіксуйте напруги, при яких починається та закінчується процес перемикання інвертора.

Табл. 3.1

$U_{вх}$ В										
$U_{вих}$ В										

2.3. Нарисувати на рис. 3.1 отриману статичну перехідну характеристику інвертора ТТЛ.

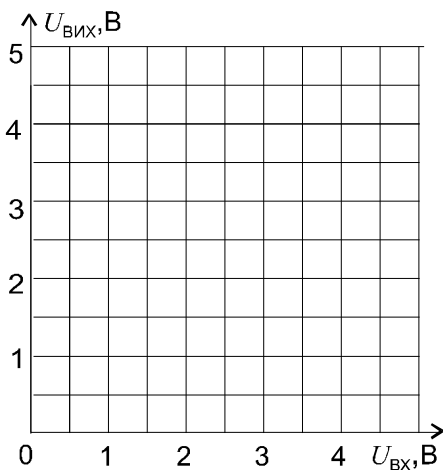


Рис. 3.1

### Виконання пункту 3 завдання

3.1. Повністю розібрати схему попереднього експерименту. Вихід інвертора ТТЛ через резистор R2 з'єднати з клемою +5 В (цей резистор буде імітувати 10 входів ТТЛ, приєднаних до досліджуваного елемента). Клему + $U_{ж}$  інвертора з'єднати з клемою +5 В через міліамперметр з межею вимірювання 20 мА.

3.2. Ввімкніть автомат на лівій панелі стенду та виміряйте струм, споживаний інвертором ТТЛ

а) коли його вихід знаходиться в стані "лог.0"  $I_{вих}^0$ ;

б) коли його вихід знаходиться в стані "лог.1"  $I_{вих}^1$ .

### Виконання пункту 4 завдання

4.1. Вхід інвертора КМОН з'єднати з повзунком потенціометра. Лівий вивід потенціометра - з GND, правий - з клемою +15 В. Клему + $U_{ж}$  інвертора КМОН з'єднати з клемою 15 В через міліамперметр 20 мА.

4.3. Ввімкніть стенд та змінюючи положення повзунка потенціометра, зніміть статичну перехідну характеристику інвертора КМОН, фіксуючи також значення споживаного струму  $I_{СПОЖ}$  в кожному положенні. Дані занесіть в табл. 3.2. Обов'язково зафіксуйте напруги, при яких починається та закінчується процес перемикання інвертора.

*Для зменшення температури перегріву кристалу необхідно максимально скоротити час проведення вимірювань на лінійній ділянці характеристики.*

Табл. 3.2

$U_{вх}, В$									
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

2.4. Визначити з графіка рис. 1:  
 а) найбільше значення напруги  $U^0$ , яка гарантовано сприймається інвертором як "лог. 0";  
 б) найменше значення напруги  $U^1$ , яка гарантовано сприймається як "лог. 1".

Переконайтесь, що неприєднання входу елемента ТТЛ рівнозначно подачі "лог.1". Для цього потрібно від'єднати дріт від входу інвертора та виміряти напругу на його виході.



$U_{вх}, В$								
$I_{спож}, мА$								

4.4. Побудуйте на рис. 3.2. отриману перехідну характеристику, і на тому ж графіку побудуйте криву  $I_{спож} = f(U_{вх})$

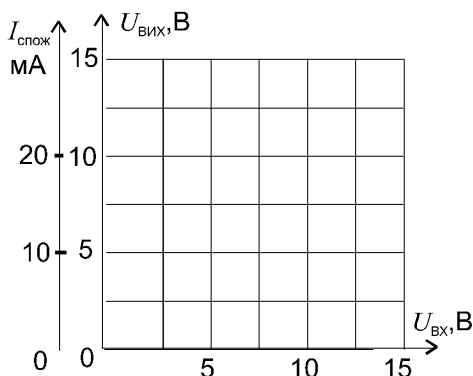


Рис. 3.2

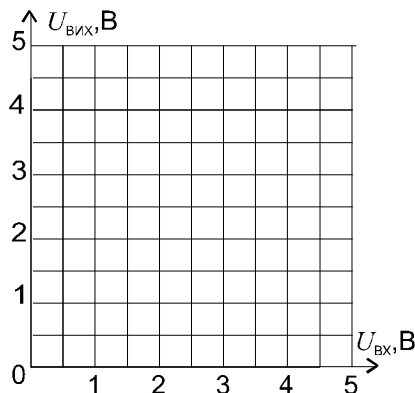


Рис. 3.3

4.5. Цифрові структури КМОН можуть нормально працювати при напругах живлення від 3 до 15 В. Зніміть та побудуйте перехідну характеристику інвертора КМОН при  $U_{ж} = 5 В$  (табл. 3.3 та рис. 3.3)

Табл. 3.3

$U_{вх}, В$								
$U_{вих}, В$								

4.6. Проаналізуйте графіки на рис. 3.2 та 3.3 і зробіть висновки: яка найбільша напруга гарантовано сприймається інвертором КМОН як напруга  $U^0$  та яка найменша напруга  $U^1$  гарантовано сприймається як напруга  $U^1$

при  $U_{ж} = 5 В - U^0 =$  \_\_\_\_\_ ; при  $U_{ж} = 15 В - U^0 =$  \_\_\_\_\_ ;

при  $U_{ж} = 5 В - U^1 =$  \_\_\_\_\_ ; при  $U_{ж} = 15 В - U^1 =$  \_\_\_\_\_ .

### Контрольні запитання

1. Чи може МС ТТЛ працювати на МС КМОН, якщо остання живиться напругою 15 В?

2. Чи може МС КМОН працювати на МС ТТЛ, якщо МС КМОН живиться напругою 15 В?

3. Чи може МС ТТЛ працювати на МС КМОН, якщо остання живиться напругою 5 В?

4. Чи може МС КМОН працювати на МС ТТЛ, якщо МС КМОН живиться напругою 5 В?
5. На скільки входів МС серії 74S можна навантажити вихід МС серії 74ALS?
6. Між якими рівнями вихідної напруги визначається час перемикання виходу?
7. Між якими рівнями вхідної та вихідної напруг визначається час затримки розповсюдження сигналу?
8. Який з корпусів МС є найдорожчим?
9. Який з корпусів МС є найменш надійним?
10. Який зв'язок між довжиною хвилі світла видимого спектру та мінімальним топологічним розміром при фотолітографії?
11. В яких МС, ТТЛ чи КМОН, споживана потужність сильніше залежить від частоти перемикання і чому?
12. Що представляє собою процес дискретизації аналогового сигналу?
13. Якої розрядності повинна бути шина для передачі 1 байта інформації в паралельному коді?
14. Що є основою УГЗ МС?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

### Здобуття навичок реалізації найпростіших логічних виразів

#### *Теоретичні відомості*

Елементарними логічними схемами, або логічними елементами, називають найпростіші схеми, з яких складаються будь-які цифрові схеми. Такими основними логічними елементами є НЕ, І, Або, а також елементи 0 і 1.

Логічний елемент НЕ, або інвертор, має один вхід і один вихід, на якому з'являється 0 тільки тоді, коли на його вході 1, а 1, коли на вході 0. Операція НЕ, або інверсія записується таким чином  $f = \bar{x}$ , читається «ф дорівнює не ікс».

Логічний елемент І, або кон'юнктор, має декілька входів і один вихід, на якому з'являється 1 тільки тоді, коли є сигнали 1 на всіх його входах. Операція І, кон'юнкція або логічне множення, записується  $f = x_1 \cdot x_2$ , читається «ф дорівнює ікс один і ікс два».

Логічний елемент АБО, або диз'юнктор, має декілька входів і один вихід, на якому з'являється 0 тільки тоді, коли всіх його входах 0. Операція АБО, диз'юнкція або логічне додавання, записується  $f = x_1 + x_2$

Назви та записи операцій (функцій) таблиці відповідності та умовне графічне позначення логічних елементів наведені в табл. 4.1

Таблиця 4.1

Назва операції (функції)	Запис операції (функції)	Таблиця відповідності	Умовне графічне позначення										
НЕ	$f = \bar{x}$	<table border="1"> <tr> <td><math>x</math></td> <td><math>f = \bar{x}</math></td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </table>	$x$	$f = \bar{x}$	0	1	1	0					
$x$	$f = \bar{x}$												
0	1												
1	0												
І	$f = x_1 \cdot x_2$	<table border="1"> <tr> <td><math>x_1 \ x_2</math></td> <td><math>f = x_1 \cdot x_2</math></td> </tr> <tr> <td>0 0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0 1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1 0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1 1</td> <td>1</td> </tr> </table>	$x_1 \ x_2$	$f = x_1 \cdot x_2$	0 0	0	0 1	0	1 0	0	1 1	1	
$x_1 \ x_2$	$f = x_1 \cdot x_2$												
0 0	0												
0 1	0												
1 0	0												
1 1	1												
АБО	$f = x_1 + x_2$	<table border="1"> <tr> <td><math>x_1 \ x_2</math></td> <td><math>f = x_1 + x_2</math></td> </tr> <tr> <td>0 0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0 1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1 0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1 1</td> <td>1</td> </tr> </table>	$x_1 \ x_2$	$f = x_1 + x_2$	0 0	0	0 1	1	1 0	1	1 1	1	
$x_1 \ x_2$	$f = x_1 + x_2$												
0 0	0												
0 1	1												
1 0	1												
1 1	1												

Порівнявши операції І та АБО, можна дійти висновку, що якщо в умовах, які визначають операцію І, значення всіх змінних і самої функції замінити їх інверсією, а знак логічного множення – знаком логічного додавання, дістанемо постулати, що визначають операцію АБО:

$$\text{якщо } x_1 \cdot x_2 = f, \text{ то } \overline{x_1 + x_2} = \bar{f},$$

$$\text{якщо } x_1 + x_2 = f, \text{ то } \overline{x_1 \cdot x_2} = \bar{f}.$$

Цю властивість взаємного перетворення постулатів операцій логічного додавання і множення називають принципом двоїстості.

Цей принцип також відображає теорема де Моргана, яка має важливе значення в цифровій схемотехніці:

$$\overline{x_1 \cdot x_2} = \overline{x_1 + x_2},$$

$$\overline{x_1 + x_2} = \overline{x_1 \cdot x_2}.$$

Крім основних логічних елементів використовуються також логічні елементи І-НЕ, АБО-НЕ, Виключне-АБО, Виключне-АБО-НЕ та інші.

### ***Завдання на лабораторну роботу***

1. Ознайомитись з правою панеллю стенда, знайти на ній елементи, котрі використовуються в експериментах.
2. Навчитись складати таблиці відповідності на основі експериментальних даних.
3. Навчитись апаратно реалізовувати логічні функції двох змінних в заданому базисі.

### ***Довідка, необхідна для виконання роботи***

З правої панелі стенду в даній роботі використовуються двовходові логічні елементи "2І", "2І-НЕ", "2АБО", "2АБО-НЕ" серії К155, тобто ТТЛ. На панелі розташовані також кнопки, при допомозі яких на елементи подають необхідні логічні рівні. Натиснута кнопка відповідає подачі напруги "лог.1", про це свідчить свічення світлодіоду біля неї, ненатиснута кнопка – напруга "лог. 0". На панелі також розташовані елементи індикації, котрі мають світлодіод, що засвічується при подачі "лог.1", їх з'єднують з виходом того вузла, стан якого хочуть контролювати. Елементи індикації можна також використовувати для розмноження контактних гнізд.

***Пам'ятайте, що виходи різних логічних елементів не можна з'єднувати між собою ні за яких обставин.***

### ***Виконання пункту 2 завдання***

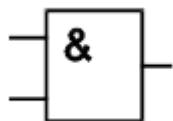
1. Скласти за результатами експерименту таблицю відповідності кожного з чотирьох вказаних логічних елементів. Для цього кнопки приєднують до входів, а один з елементів індикації - до виходу досліджуваного логічного елемента, і, перебираючи всі можливі комбінації станів входів, записують стани виходів, що відповідають кожній комбінації.

2. На основі експериментально складеної таблиці відповідності записати аналітичний вираз для отриманої логічної функції. Використовуючи закони і тотожності алгебри логіки, записати вираз для отриманої функції, у якому була б використана тільки одна логічна операція, протилежна до вихідної. Наприклад, якщо досліджується елемент "2І", то вибраний вираз повинен реалізовуватись з використанням елемента "2АБО" чи "2АБО-НЕ" та інверторів.

3. Вибрати вираз для реалізації та нарисувати і зібрати схему його реалізації.

4. Скласти таблицю відповідності для побудованої схеми та порівняти її з вихідної. Зробити висновки відносно їх тотожності та правильності застосованих законів та тотожностей.

Дослідження елемента 2І




---



---



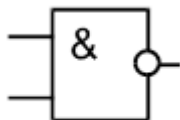
---



---

X1	X2	Y

Дослідження елемента 2І-НЕ




---



---



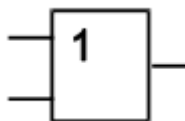
---



---

X1	X2	Y

Дослідження елемента 2АБО




---



---



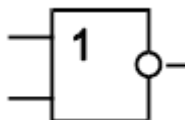
---



---

X1	X2	Y

Дослідження елемента 2АБО-НЕ




---



---



---

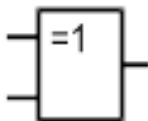


---

X1	X2	Y

### Виконання пункту 3 завдання

1. За заданою для елемента "суматор за модулем 2" таблицею відповідності записати аналітичний вираз логічної функції.
2. Використовуючи закони та тотожності алгебри логіки запишіть всі можливі вирази для отриманої логічної функції.
3. Виберіть вираз, який реалізується в базисі "І-НЕ", нарисуйте схему його реалізації.
4. Виберіть вираз, який можна реалізувати за допомогою двоступеневої логіки 2-2І-2АБО-НЕ та двох інверторів. Нарисуйте схему його реалізації.
5. Зберіть обидві схеми та складіть для них таблицю відповідності.
6. Порівняйте отримані таблиці з заданою. Зробіть висновки.




---



---



---



---

X1	X2	Y

### Контрольні запитання

1. Зобразіть умовне позначення для двовходових вентилів НЕ І, АБО, І-НЕ та АБО-НЕ.
2. Запропонуйте варіант побудови двовходового вентиля І-НЕ з інших основних логічних елементів.
3. Запишіть булевий вираз для логічного елемента АБО-НЕ з двома та трьома входами.
4. Виконайте побудову двовходового логічного елемента АБО на вентилях І-НЕ, запишіть булевий вираз перетворення.
5. Побудуйте таблицю істинності для тривходових вентилів І, АБО, І-НЕ, АБО-НЕ.
6. Запропонуйте варіант побудови двовходового вентиля АБО-НЕ з інших основних логічних елементів.
7. Запишіть булевий вираз для логічного елемента І-НЕ з двома та трьома входами.
8. Виконайте побудову двовходового логічного елемента І на вентилях І-НЕ, запишіть булевий вираз перетворення.
9. Запропонуйте варіант побудови двовходового вентиля І з інших основних логічних елементів.
10. Запишіть булевий вираз для логічного елемента АБО з двома та трьома входами.
11. Виконайте побудову двовходового логічного елемента АБО на вентилях АБО-НЕ, запишіть булевий вираз перетворення.

12. Запропонуйте варіант побудови двохходового вентиля АБО з інших основних логічних елементів.

13. Запишіть булевий вираз для логічного елемента І з двома та трьома входами.

14. Виконайте побудову двохходового логічного елемента І на вентилях АБО-НЕ, запишіть булевий вираз перетворення.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

### Здобуття навичок побудови цифрової схеми за заданою логічною функцією

#### *Теоретичні відомості*

Залежність скінченних змінних  $y_i$ , виражена через сукупність початкових змінних  $x_1, x_2, \dots, x_n$  за допомогою операцій алгебри логіки, називають функцією алгебри логіки або логічною функцією. Основними способами подання логічних функцій є опис у словесній формі, у вигляді таблиць відповідності (істинності), алгебраїчних виразів, послідовностей десяткових чисел, а також кубічних комплексів. Алгебра логіки дає змогу створювати складні функції, аргументи яких є функціями інших двійкових аргументів.

Досконалою диз'юнктивною нормальною формою (ДДНФ), канонічною сумою мінтермів або стандартною сумою добутків, логічної функції називають такий її вираз, який містить набори елементарних кон'юнкцій, пов'язані диз'юнкцією. Правила утворення ДДНФ такі:

1. За кожним набором двійкових змінних, за яких функція набуває значення 1, скласти елементарні кон'юнкції (мінтерми).

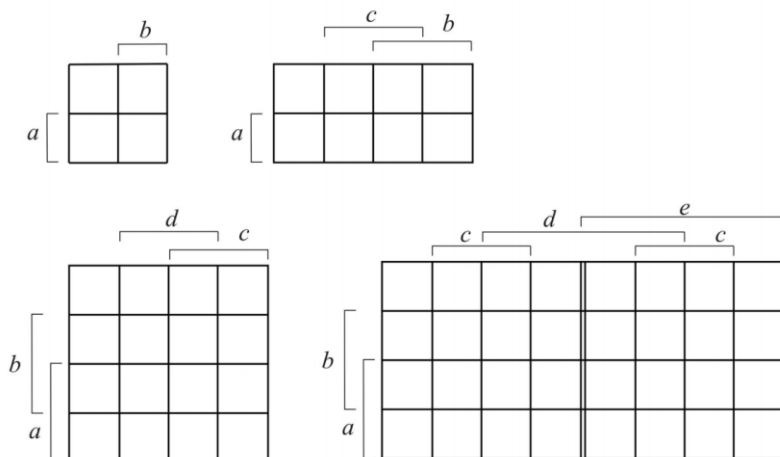
2. В елементарну кон'юнкцію записати неінвертованими змінні, що задані одиницею в таблиці істинності, а інвертованими – ті змінні, які в таблиці істинності задані нулем.

3. Елементарні кон'юнкції об'єднати знаком диз'юнкції.

Логічну схему, що реалізує заданий алгоритм перетворення сигналів, можна синтезувати безпосередньо за виразом, поданим у вигляді ДДНФ, проте отримано при цьому схема, як правило, не оптимальна з погляду її практичної реалізації. Тому логічну функцію звичайно мінімізують.

Метою мінімізації логічної функції є зменшення вартості її технічної реалізації. Критерії мінімізації залежать від типу задачі та рівня технологій. Основними вимогами є мінімальне число елементарних операцій у логічній формулі та їх однорідність. Основними методами мінімізації логічних функцій є використання безпосередніх алгебраїчних перетворень, карт Карно, чисельних методів.

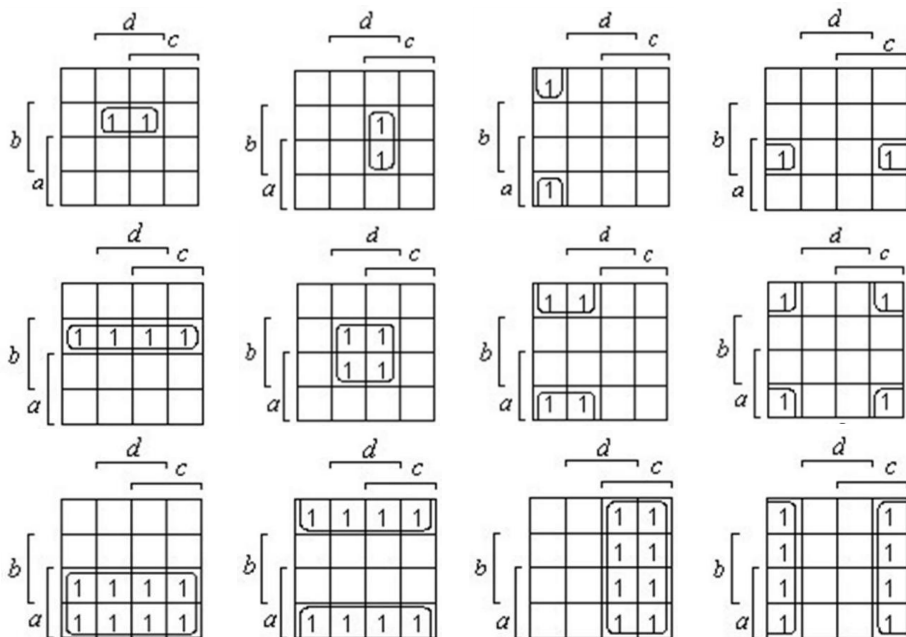
Карта Карно – один з графічних способів подання логічних функцій. Для функції  $n$  змінних вона складається з  $2^n$  клітинок, причому кожна клітинка відповідає певному набору змінних. Вигляд карт Карно для функцій двох, трьох, чотирьох і п'ятьох змінних зображено на рис. 5.1. Вхідні змінні розміщуються із зовнішніх сторін карти проти її рядків та стовпців. Значення вхідної змінної стосується усіх клітинок у рядку або стовпці і дорівнює одиниці, якщо проти рядка або стовпця є дужка з позначенням цієї змінної. Для решти рядків і стовпців значення змінної дорівнює нулю.



**Рис. 5.1. Вигляд карт Карно**

У клітинках карти Карно записується те значення функції, якого вона набуває, якщо набори вхідних змінних відповідають цим клітинкам. Будь-які клітинки, яким відповідають склеювані мінтерми, називаються сусідніми. Сусідніми є не тільки клітинки, що розміщені поряд в одному рядку або стовпці, але й клітинки на протилежних кінцях одного рядка або стовпця. Сусідні клітинки спочатку об'єднують у пари, потім у четвірки із сусідніх пар, тобто пар, що відрізняються тільки однією змінною, після цього сусідні четвірки об'єднують у вісімки тощо. Чим більше клітинок об'єднано у контур, тим простіший вираз, що відповідає контуру, тому слід прагнути того, щоб кожний контур мав якомога більше сусідніх клітинок. При цьому деякі контури можуть частково перекриватися, тобто ті ж самі клітинки можуть одночасно входити у кілька контурів. У контур можна об'єднувати не будь-яку парну кількість клітинок, а тільки  $2n$  клітинок, тобто 2, 4, 8, 16 тощо. Варіанти об'єднання наведено на рис. 5.2.





**Рис. 5.1.** Варіанти об'єднання мінтермів для карт Карно

Крім того, необхідно уникати створення зайвих контурів, тобто контурів, усі клітинки яких уже належать до інших контурів. Для цього об'єднання слід починати з тих одиниць, які можуть увійти тільки в один контур.

***Завдання на лабораторну роботу***

1. Використовуючи табл. 5.1 заповнити таблицю відповідності для логічної функції (ЛФ) заданого варіанту (табл. 5.2).
2. Записати аналітичний вираз ЛФ з табл. 5.2.
3. Використовуючи карту Карно записати вираз ЛФ в диз'юнктивній нормальній досконалій формі (ДНДФ).
4. Використовуючи необхідні логічні елементи побудувати функціональну схему реалізації отриманої ЛФ. Біля виходу кожного логічного елемента вказати виконувану ним елементарну логічну операцію.

***Примітка: кількість входів необхідних логічних елементів можна вибрати довільно.***

5. Привести вираз ЛФ до базису “ТА-НІ”, тобто трансформувати її таким чином, щоб використовувались лише операції кон'юнкції з запереченням (штрых Шеффера).

6. Розробити принципову електричну схему вузла використовуючи 2-х, 3-х, 4-х входові елементи “ТА-НІ” та інвертори.

7. Зібрати на панелі стенда розроблену схему і подаючи на входи відповідні комбінації логічних рівнів, перевірити, чи співпадають стани виходу з заданою таблицею відповідності (табл. 5.2).

Табл.5.1. Таблиця відповідності для всіх варіантів

№	Y <sub>1</sub>	Y <sub>2</sub>	Y <sub>3</sub>	Y <sub>4</sub>	Y <sub>5</sub>	Y <sub>6</sub>	Y <sub>7</sub>	Y <sub>8</sub>	Y <sub>9</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>	Y <sub>1</sub>
	0	1	2	3	4	5	6	7	8									
0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	1
1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1
2	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0
3	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
4	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	1
5	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
6	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
7	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	1
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	0	1
10	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
13	1	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0
14	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0
15	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1	0

***Хід виконання роботи***

Таблиця відповідності для заданого варіанта (табл. 5.2)

Карта Карно для заданої логічної функції

№	X <sub>3</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>1</sub>	X <sub>0</sub>	Y <sub>ЗЛД</sub>	Y <sub>ЕКС</sub>
0	0	0	0	0		
1	0	0	0	1		
2	0	0	1	0		
3	0	0	1	1		
4	0	1	0	0		
5	0	1	0	1		
6	0	1	1	0		
7	0	1	1	1		
8	1	0	0	0		
9	1	0	0	1		
10	1	0	1	0		
11	1	0	1	1		
12	1	1	0	0		
13	1	1	0	1		
14	1	1	1	0		
15	1	1	1	1		

X <sub>1</sub> \ X <sub>3</sub> X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub> X <sub>2</sub>			
	00	01	11	10
00				
01				
11				
10				

Y =

Записати вираз ЛФ у вигляді ДДНФ з табл. 5.2 Y = \_\_\_\_

Записати вираз ЛФ у вигляді ДНФ з карти Карно Y = \_\_\_\_

Записати вираз ЛФ в базисі "ТА-НІ" Y = \_\_\_\_

### Контрольні запитання

1. Сформулюйте мету та принципи мінімізації логічних пристроїв.
2. Поясніть, що таке мінімізацію функцій алгебри логіки за методом безпосередніх (алгебраїчних) перетворень.
3. У чому полягає мінімізація функцій за допомогою карт Карно?
4. Наведіть властивості карт Карно.
5. Зобразіть карти Карно функції трьох, чотирьох і п'яти змінних.
6. Що таке мінімізація не повністю визначеної функції алгебри логіки?
7. Особливості мінімізації у випадку побудови пристрою з декількома виходами.
8. Як визначати сусідні клітинки у картах Карно? Наведіть приклади.
9. Наведіть правило запису логічного виразу при об'єднанні клітинок карти Карно з одиницями.

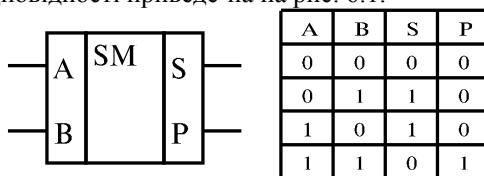
## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

### Дослідження роботи напівсуматора, суматора та цифрового компаратора

#### Теоретичні відомості

Цифрові вузли комбінаційного типу (комбінаційні схеми) характеризуються однозначною відповідністю діючих в даний час на входах допустимих комбінацій логічних рівнів і рівнів на виходах. За своїм призначенням комбінаційні схеми поділяються на: перетворювачі кодів, мультиплексери, демультиплексери, напівсуматори, суматори та компаратори чисел.

Напівсуматори мають два входи для однорозрядних двійкових чисел А та В, вихід суми S та вихід переносу до старшого розряду Р. УГЗ напівсуматора та його таблиця відповідності приведе-на на рис. 6.1.



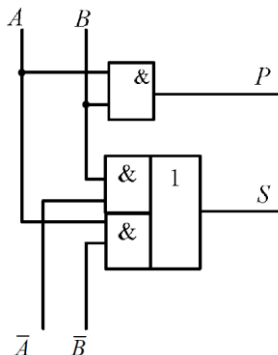
**Рис. 6.1.** УГЗ напівсуматора та його таблиця відповідності

Таблиці відповідності напівсуматора відповідають дві функції

$$S = \bar{A}B + A\bar{B} = A \oplus B,$$

$$P = AB.$$

Реалізація напівсуматора відповідно до цих функцій зображена на рис. 6.2.



**Рис. 6.2.** Схема реалізації напівсуматора.

Однорозрядний повний суматор. Крім входів для двох однорозрядних чисел має ще вхід переносу від молодшого розряду  $P_0$ . "лог.1" на виході S з'являється при непарному числі "лог1" на входах, на виході P - при двох чи

трьох "лог1" на входах. УГЗ повного однорозрядного суматора та його таблиця відповідності приведена на рис. 6.3.

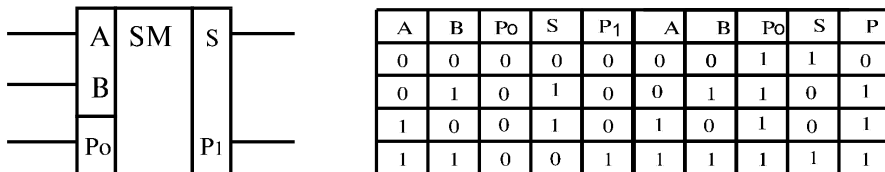


Рис. 6.3. УГЗ однорозрядного суматора та його таблиця відповідності

Цифровий компаратор виконує порівняння чисел, поданих у двійковому

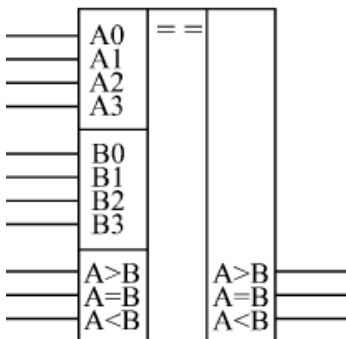


Рис. 6.4. УГЗ компаратора.

коді. Число входів компаратора визначається розрядністю порівнюваних кодів. Умовне графічне зображення цифрового компаратора наведено на рис. 6.4. Основними відносинами між кодовими словами можна вважати «дорівнює» і «більше», інші відносини можна визначити через основні. Так, ознаку нерівності кодових слів можна одержати як заперечення ознаки рівності

$F_{A \neq B} = \overline{F_{A=B}}$ , відношення «менше» - шляхом зміни місцями аргументів у функції  $F_{A > B} = F_{A < B}$ , а нестрогі нерівності - за

формулами

$$F_{A \geq B} = F_{A=B} + F_{A > B} = \overline{F_{A < B}},$$

$$F_{A \leq B} = F_{A=B} + F_{A < B} = \overline{F_{A > B}}$$

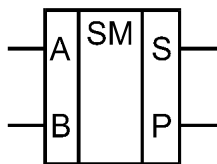
Співвідношення між числами в позиційних системах числення, у яких вага будь-якого старшого розряду більша за вагу будь-якого молодшого розряду, можна встановити через послідовне порівняння їх однойменних розрядів.

#### Завдання на лабораторну роботу

1. Використовуючи двохступеневу логіку та інші логічні елементи, наявні на панелі стенду, побудувати напівсуматор.
2. Побудувати однорозрядний повний суматор.
3. Проаналізувати роботу багаторозрядного суматора.
4. Проаналізувати роботу схеми порівняння двох дворозрядних двійкових чисел.

#### Виконання пункту 1 завдання

Напівсуматор має входи для двох однорозрядних двійкових чисел А та В, виходи суми S та переносу P.



УГЗ напівсуматора

A	B	S	P
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Використовуючи таблицю відповідності запишіть два можливі вирази для функції "S" (один безпосередньо, а другий – через інверсну функцію  $\bar{S}$ ).

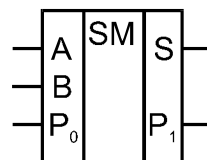
З таблиці відповідності запишіть вираз для "P"

Виберіть вираз для "S", що реалізується елементом двохступеневої логіки 2-2ТА-2АБО-НІ та двома інверторами. На панелі стенду зберіть схему, що реалізує вибрані логічні вирази для функції "S" та "P" і подаючи з кнопок потрібні логічні рівні на входи А та В зніміть таблицю відповідності побудованої схеми. Порівняйте отриману таблицю з заданою, і, якщо вони не співпадають, повторіть процес реалізації, виправивши допущені помилки.

*Не розбирайте схему після експерименту.*

### Виконання пункту 2 завдання

Суматор відрізняється від напівсуматора тим, що крім входів однорозрядних двійкових чисел у нього є вхід переносу  $P_0$  від попереднього, молодшого розряду. Рівень "лог.1" на виході S суматора з'являється при непарному числі "лог.1" на входах, а на виході  $P_1$  при двох чи трьох "лог.1" на входах. Заповніть до кінця таблицю відповідності суматора.



УГЗ повного суматора

$P_0$	A	B	S	$P_1$
0	0	0		
0	0	1		
0	1	0		
0	1	1		
1	0	0		
1	0	1		
1	1	0		
1	1	1		

Використовуючи таблицю відповідності запишіть вирази для функцій S та  $P_1$ .

Приведіть отримані ЛФ до такого вигляду, щоб можливо було використати попередню схему напівсуматора, а для повної реалізації обох функцій потрібно було ще два елементи 2-2І-2АБО-НЕ та 3 інвертори.

Нарисуйте схему побудови повного однорозрядного суматора

На панелі стенду зберіть схему і подаючи потрібні логічні рівні на її входи, зніміть таблицю відповідності побудованої схеми. Порівняйте отриману таблицю з попередньою, і, якщо вони не співпадають, повторіть процес реалізації, виправивши допущені помилки.

### Виконання пункту 3 завдання

Нарисуйте схему з'єднання однорозрядних суматорів для побудови дворозрядного з послідовним переносом. Заповніть таблицю відповідності




### ***Контрольні запитання***

1. Дати визначення напівсуматора.
2. Нарисувати умовне позначення однорозрядного суматора.
3. Записати логічний вираз для функцій  $F_{A>B}$  та  $F_{A=B}$  цифрового компаратора.
4. Нарисувати схему паралельного багаторозрядного суматора.
5. Дати визначення однорозрядного суматора.
6. Нарисувати умовне позначення цифрового компаратора.
7. Нарисувати схему однорозрядного суматора на основі двох напівсуматорів.
8. Нарисувати функціональну схему реалізації напівсуматора на основі базових логічних елементів.
9. Дати визначення цифрового компаратора.
10. Нарисувати умовне позначення суматора.
11. Побудувати таблицю відповідності однорозрядного суматора.
12. Записати логічні вирази функцій S і P (суми і переносу) напівсуматора.
13. Дати визначення суматора.
14. Побудувати таблицю відповідності напівсуматора.
15. Записати логічні вирази для функцій S і P (суми і переносу) напівсуматора.
16. Нарисувати частину функціональної схеми цифрового компаратора, що реалізує функцію  $F_{A>B}$ .

## **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №7**

### **Дослідження роботи дешифратора та мультиплексора**

#### ***Теоретичні відомості***

Перетворювач кодів призначений для перетворення двійкового числа з однієї форми представлення в іншу, наприклад, з двійкового коду з



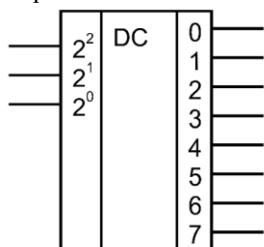
природною вагою розрядів у код Грея, або навпаки. При цьому розрядність вхідного та вихідного двійкового кодів може відрізнятися. Це спостерігається, наприклад, при перетворенні двійкового коду в двійково-десятьковий та навпаки.

УГЗ перетворювача кодів показана на рис. 7.1.  $X_3...X_0$  - розряди вхідного коду,  $Y_3...Y_0$  - розряди вихідного коду.

Для побудови перетворювача кодів завжди можна використати МС - постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП), в якому кількість комірок повинна бути не менша ніж  $2^n$ , а розрядність комірок не менша "m" ("n" - розрядність вхідного коду, "m" - розрядність вихідного коду). В кожен комірку з адресою, що співпадає зі значенням вхідного коду записують відповідне значення вихідного коду.

Дешифратор є частковим випадком перетворювача кодів. Його застосування дуже широке і різнобічне. Найбільш широко вживані дешифратори, за галузями застосування і відповідно їх побудовою, можна поділити на два типи: типу 1 - для дешифрації адрес - вони використовуються при побудові модулів пам'яті, мультиплексерів та пристроїв декодування інформації в системах зв'язку, керування, тощо; типу 2 - для керування роботою семи сегментними індикаторами різного принципу дії.

Дешифратор типу 1 має  $n$  інформаційних входів та  $2^n$  виходів. На виході, номер якого задається кодом на входах, з'являється "лог. 1", на всіх інших виходах - "лог. 0". Застосовуються дешифратори і з інверсними виходами, тобто на одному "лог. 0", на всіх інших виходах - "лог. 1". УГЗ дешифратора з трьома інформаційними входами та його таблиця відповідності приведена на рис. 7.2.



Входи			Виходи							
$2^2$	$2^1$	$2^0$	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

Рис. 7.2. УГЗ дешифратора та його таблиця відповідності.

Мультиплексер - комбінаційна схема, яка має  $n$  - адресних входів,  $k$  ( $k = 2^n$ ) інформаційних входів та один вихід. Інформація з інформаційного входу, номер якого задається кодом на адресних, передається на вихід. Таким чином мультиплексер є електронним швидкодіючим перемикачем. УГЗ

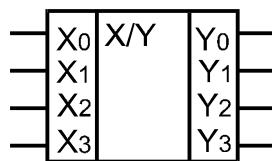


Рис. 7.1. УГЗ перетворювача кодів

мультиплексера на 2 інформаційних входи, його таблиця відповідності приведена на рис. 7.3.

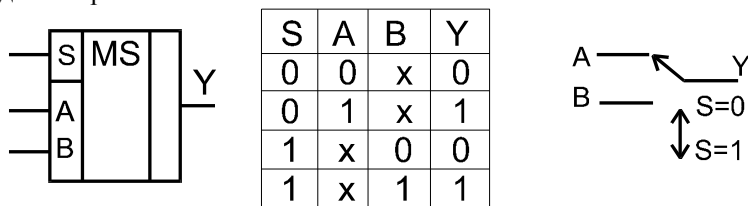


Рис. 7.3. УГЗ мультиплексера та його таблиця відповідності.

### Завдання на лабораторну роботу

1. Побудувати з наявних на панелі стенду логічних елементів дешифратор "з 2 в 4".
2. Побудувати з наявних логічних елементів мультиплексер "з 4 в 1".
3. Реалізувати на основі побудованого мультиплексера задану логічну функцію.

### Виконання пункту 1 завдання

Вказаний дешифратор має 2 входи та 4 виходи. Кожній з чотирьох можливих комбінацій логічних рівнів на входах відповідає рівень "лог.1" на одному з виходів, на всіх останніх при цьому - "лог.0".

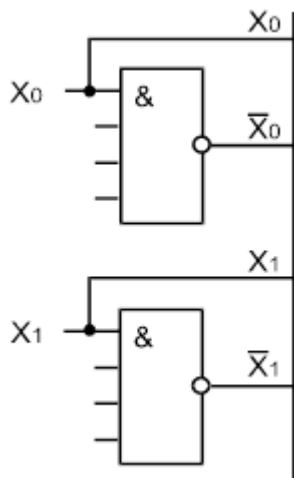
УГЗ дешифратора та його таблиця відповідності:

Входи		Виходи теоретично				Виходи експериментально			
$X_0$	$X_1$	$Y_0$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_0$	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$
0	0	1	0	0	0				
0	1	0	1	0	0				
1	0	0	0	1	0				
1	1	0	0	0	1				

Запишіть з таблиці відповідності (виходи теоретично) логічні функції для кожного з виходів дешифратора  $Y_0 \dots Y_3$ . Впишіть наявні на панелі логічні елементи

Приведіть отримані ЛФ до такого вигляду, щоб їх можна було реалізувати наявними на панелі логічними елементами. Один двовходовий елемент ТА-НІ повинен залишитись незайнятими.

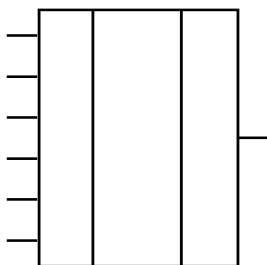
Нарисуйте та зберіть схеми, що реалізують ці вирази. Подаючи, з кнопок, потрібні логічні рівні на входи  $2^1$  та  $2^0$  заповніть колонки таблиці відповідності "виходи експериментально".



Порівняйте отримані значення з теоретичними, і, якщо вони не співпадають, повторіть процес реалізації, виправивши допущені помилки. Дорисуйте схему дешифратора. *Не розбирайте схему після проведення експерименту*

### Виконання пункту 2 завдання

Відомо, що мультиплексер має  $k$  - адресних входів,  $n = 2^k$  інформаційних входів та один вихід. Рівень з інформаційного входу, номер якого задається кодом на адресних, передається на вихід. Завершіть УГЗ та таблицю відповідності мультиплексера на  $n = 4$ .

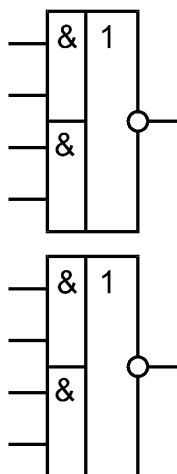
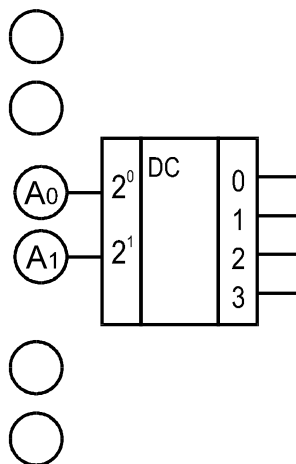


A <sub>1</sub>	A <sub>0</sub>	D <sub>0</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	Q
0	0					
0	0					
0	1					
0	1					
1	0					
1	0					
1	1					
1	1					

Запишіть логічну функцію для мультиплексера, що має 4 входи Q.

Приведіть отриману логічну функцію до вигляду, який можливо реалізувати використовуючи побудований раніше дешифратор, елемент 2ТА-НІ та два елементи 2-2ТА-2АБО-НІ.

Дорисуйте схему мультиплексера. Пусті кружечки – інформаційні входи мультиплексера



Використавши схему дешифратора, зібрану в попередньому експерименті, завершіть побудову схеми мультиплекера. Вихід мультиплекера приєднайте до елемента індикації. Позначте в пустих кружках інформаційні входи мультиплекера.

На адресні входи побудованого мультиплекера подайте будь який код, наприклад  $01_B$  (для подачі напруги низького рівня можна використати клеми з'єднані з  $GND$ ). Вхід, що вибирається поданим кодом та будь який інший вхід приєднайте до кнопок.

Переконайтесь, що а) логічний рівень з вибраного входу мультиплекера передається на його вихід; б) стан невибраного входу мультиплекера не впливає на стан його виходу.

*Не розбирайте схему після проведення експерименту*

### **Виконання пункту 3 завдання**

Логічна функція, яку потрібно реалізувати, задається викладачем у вигляді таблиці відповідності.

Входи		Задана ЛФ	Експериментальна ЛФ
$X_0$	$X_1$		
0	0		
0	1		
1	0		
1	1		

Реалізуйте цю ЛФ використовуючи зібраний раніше мультиплекер та перевірте правильність реалізації.

### **Контрольні запитання**

1. Дати визначення шифратора.
2. Нарисувати умовне графічне зображення шифратора.
3. Яка максимальна кількість входів шифратора, якщо він має 4 виходи? Чому?
4. Скласти таблицю істинності для шифратора із вісьмома входами.
5. Дати визначення дешифратора.
6. Нарисувати умовне графічне зображення дешифратора.
7. Яка максимальна кількість виходів дешифратора, якщо він має 4 входи? Чому?
8. Скласти таблицю істинності для дешифратора із вісьмома виходами.
9. Дати визначення мультиплекера.
10. Нарисувати умовне графічне зображення мультиплекера.
11. Яка максимальна кількість інформаційних входів мультиплекера, якщо він має 4 адресних входи? Чому?
12. Скласти таблицю істинності для мультиплекера із вісьмома інформаційними входами.

13. Дати визначення демультиплектора.
14. Нарисувати умовне графічне зображення демультиплектора.
15. Яка максимальна кількість виходів демультиплектора, якщо він має 4 адресних входи? Чому?
16. Скласти таблицю істинності для демультиплектора із вісьмома виходами.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №8

### Дослідження роботи тригерів

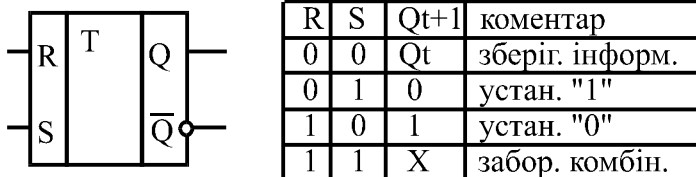
#### *Теоретичні відомості*

Тригером називається електронна схема, яка призначена для зберігання 1 біта інформації. Тригер є основним елементом цифрового вузла "з пам'яттю". Стан виходів такого вузла визначається не тільки діючими на його входах логічними рівнями, а і попереднім станом. Стан схеми "з пам'яттю" після появи на входах заданої комбінації логічних рівнів визначається таблицею переходів.  $Q_t$  - стан виходу  $Q$  до встановлення комбінації,  $Q_{t+1}$  - після.

Тригери розрізняються:

- за функціональним призначенням - на R-S, T, D та J-K;
- за способом керування - на асинхронні та синхронні (тактовані) ;
- синхронні за способом запису інформації - на статичні та динамічні.

Асинхронний R-S тригер має прямий  $Q$  (quit) та інверсний виходи, вхід установки в "1" ( $Q = 1, S = 0$ ) S (set) та вхід установки в "0" ( $Q = 0, R = 1$ ) R (reset). УГЗ R-S тригера та його таблиця переходів приведена на рис. 8.1.



**Рис. 8.1.** УГЗ та таблиця станів асинхронного R-S тригера

Синхронний статичний R-S тригер крім входів установки в "1" та в "0" має додатковий вхід синхронізації "C" (*Clock input*). Запис інформації в тригер здійснюється тільки при високому рівні сигналу на цьому вході. УГЗ синхронного статичного R-S тригера та його таблиця переходів приведена на рис. 8.2.

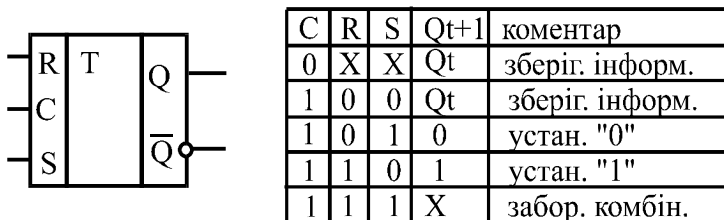


Рис. 8.2. УГЗ та таблиця станів синхронного R-S тригера

Синхронний статичний D тригер. Установки в "1" та в "0" тригера часто буває незручно, тому вхід R через інвертор приєднують до входу S. Через отриманий вхід, який називають D (*data*), здійснюється запис як "1" так і "0". Отриманий тригер має назву D - тригер (*Daley*). УГЗ синхронного статичного D - тригера та його таблиця переходів приведена на рис. 8.3.

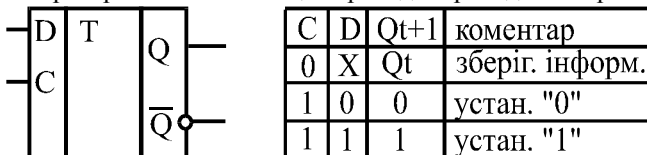


Рис. 8.3. УГЗ та таблиця станів статичного D тригера

Синхронні динамічні R-S та J-K тригери. Такі тригери будують за двоступеневою M-S схемою (*Master-Slave*). Запис інформації в тригер відбувається тільки в момент переходу рівня на вході C з одиниці в нуль. Синхронному динамічному R-S тригеру притаманний той самий недолік що і статичному. Для його усунення в схему вводять зворотні зв'язки, які забезпечують інверсію стану при J = K = 1 в момент переходу рівня на вході C з одиниці в нуль. Серійні MC J-K тригерів мають додаткові асинхронні пріоритетні входи установки в "1" та в "0" незалежно від рівнів напруг на входах J та K. УГЗ синхронного динамічного J-K тригера та його таблиця переходів приведена на рис. 8.4.

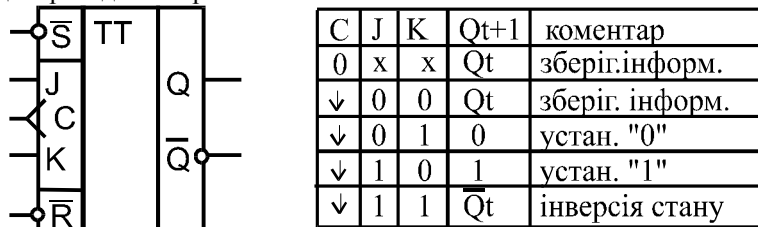


Рис. 8.4. УГЗ та таблиця станів динамічного J-K тригера

Синхронний динамічний D тригер. Такий тригер будують за схемою трьох тригерів, два з яких є тригерами синхронізації. Запис інформації в тригер відбувається тільки в момент переходу рівня на вході C з нуля в одиницю. Серійні MC D- тригерів мають додаткові асинхронні пріоритетні

входи установки в "1" та в "0" незалежно від рівнів напруг на вході D. УГЗ синхронного динамічного D- тригера та його таблиця переходів приведена на рис. 8.5.

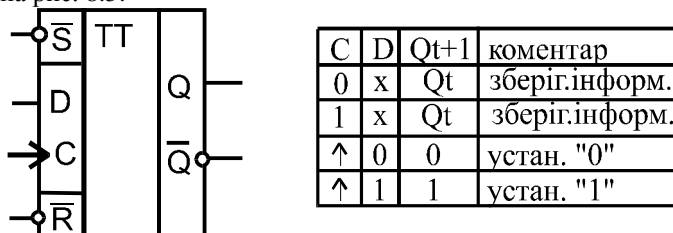


Рис. 8.5. УГЗ та таблиця станів динамічного D тригера

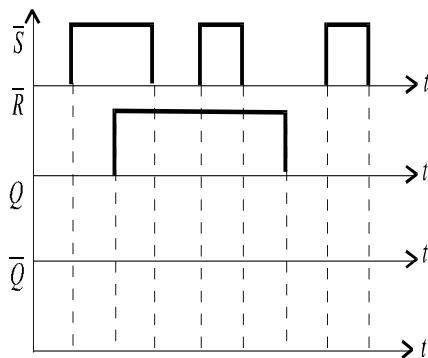
Лічильний T тригер. Такий тригер повинен інвертувати свій стан при надходженні кожного наступного імпульсу на вхід "C". Його можна побудувати як з D- тригера, з'єднавши інверсний вихід  $\bar{Q}$  з входом D, так і з J–K тригера, з'єднавши входи J та K з входом "C".

#### **Завдання на лабораторну роботу**

1. Побудувати та дослідити асинхронний  $\bar{R}-\bar{S}$  тригер на вентилях I-HE.
2. Побудувати та дослідити статичний синхронний D-тригер на вентилях 2I-HE.
3. Дослідити роботу синхронного динамічного J-K тригера та роботу лічильного тригер на основі J-K тригера.
4. Дослідити роботу синхронного динамічного D-тригера та роботу лічильного тригер на основі D-тригера.

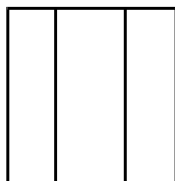
#### **Виконання пункту 1 завдання**

1. Нарисуйте схему  $\bar{R}-\bar{S}$  тригера на вентилях 2I-HE та зберіть її. До входів приєднайте контакти кнопок. Виходи вентилів з'єднайте з елементами індикації панелі. Подайте на входи тригера вказані на часовій діаграмі логічні рівні і дорисуйте діаграми зміни станів виходів. Послідовність зміни рівнів на входах тригера повинна строго відповідати діаграмі. Для подачі рівня "лог. 1" достатньо відповідний вхід залишити не приєднаним, для подачі рівня "лог. 0" – з'єднати з GND.

Часові діаграми роботи  $\bar{R}-\bar{S}$  тригера

На часовій діаграмі відмітьте інтервали часу, що відповідають режимам: а) – "запис 0"; б) – "запис 1"; в) – "зберігання інформації"; г) – "заборонена комбінація рівнів на входах". Результати аналізу часової діаграми використайте для складання таблиці переходів  $\bar{R}-\bar{S}$  тригера.

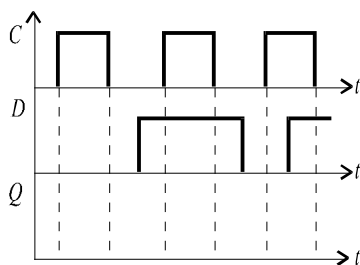
Завершіть УГЗ  $\bar{R}-\bar{S}$  тригера та складіть таблицю переходів.



$\bar{S}$	$\bar{R}$	$Q_{t+1}$	Коментар
1	1		
0	1		
1	0		
0	0		

### Виконання пункту 2 завдання

Послідовність виконання така ж як і пункту 1.



Часові діаграми роботи

Завершіть УГЗ синхронного  $D$  тригера та складіть таблицю переходів



--	--	--

$C$	$D$	$Q_{t+1}$	Коментар
0			
1			
1			

### Виконання пункту 3 завдання

Завершіть УГЗ та таблицю переходів J-K тригера

C	J	K		Коментар
0				
1				
↓				
↓				
↓				
↓				

--	--	--

Вкажіть, чим принципово відрізняється ця таблиця від таблиці переходів синхронного динамічного R-S тригера.

Знайдіть на панелі стенду J-K тригер. Вхід "C" тригера приєднайте до однієї з кнопок. Вихід тригера – до елемента індикації.

Увімкніть стенд. Зафіксуйте, який рівень з'явився на виході тригера

$Q = \underline{\quad}$ . Подайте на входи J та K рівні (крім  $J = K = 1$ ), що забезпечать протилежний, до попереднього значення, стан тригера  $J = \underline{\quad}$ ,  $K = \underline{\quad}$ . Натисніть кнопку. Зафіксуйте, чи змінився стан тригера. Відпустіть кнопку. Зафіксуйте, чи змінився стан тригер.

Зробіть висновок, в який саме момент часу відбувся запис в тригер протилежного рівня.

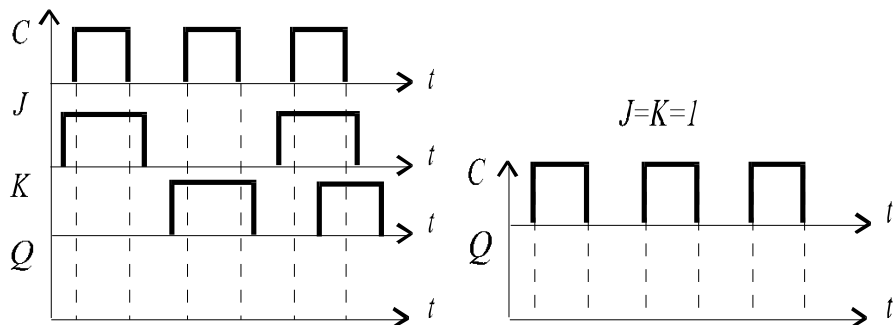
Подайте на входи J та K рівень "лог. 1". Натисніть та відпустіть кнопку. Зафіксуйте, як змінився стан тригера.

Повторіть натискання та відпускання кнопки декілька раз.

Що відбувається з тригером при кожному наступному натискання кнопки?

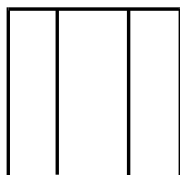
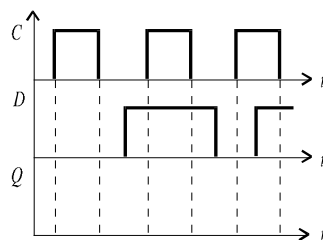
Що відбувається з тригером при кожному наступному відпусканні кнопки?

На підставі проведених експериментів завершіть часові діаграми досліджуваного тригера.



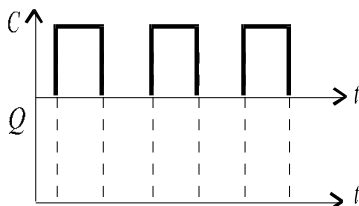
#### Виконання пункту 4 завдання

Знайдіть на панелі стенду D-тригер. Входи C та D тригера приєднайте до кнопок. Змінюючи рівні на входах, завершіть часову діаграму досліджуваного тригера. На діаграмі відмітьте моменти часу в які відбувається запис "0", запис "1" та інтервали часу, на яких стан тригера є незмінним. Результати аналізу часової діаграми використайте для складання таблиці переходів досліджуваного D-тригера.



C	D	$Q_{t+1}$	Коментар

Приєднайте вихід  $\bar{Q}$  до входу D. Вхід C – до однієї з кнопок. Завершіть схему. Натискаючи по чергово кнопку, завершіть часову діаграму отриманого тригера.



Прокоментуйте отриману діаграму.

#### Контрольні запитання

1. Нарисувати умовне позначення синхронного RS тригера.

2. Нарисувати функціональну схему синхронного RS тригера на елементах I-HE
3. Записати таблицю станів синхронного RS тригера.
4. Нарисувати часові діаграми роботи синхронного RS тригера
5. Нарисувати умовне позначення синхронного динамічного D тригера.
6. Нарисувати функціональну схему одноступеневого D тригера із синхронізацією рівнем.
7. Записати таблицю станів синхронного статичного D тригера.
8. Нарисувати часові діаграми роботи синхронного статичного D тригера.
9. Нарисувати умовне позначення лічильного T тригера.
10. Нарисувати функціональну схему лічильного T тригера на основі D та RS тригерів
11. Записати таблицю станів лічильного T тригера.
12. Нарисувати часові діаграми роботи лічильного T тригера.
13. Нарисувати умовне позначення JK тригера.
14. Нарисувати функціональну схему JK тригера
15. Записати таблицю станів JK тригера.
16. Нарисувати часові діаграми роботи JK тригера.
17. Пояснити, в чому проявляється універсальність JK тригера, нарисувати функціональну схему D тригера на основі JK тригера.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

### Дослідження роботи регістрів

#### *Теоретичні відомості*

Призначені для прийому, зберігання, простих перетворень та передачі  $n$ -розрядних двійкових чисел. Регістри поділяються на: паралельні, регістри зсуву та універсальні.

Паралельний регістр служить для запису та зберігання  $n$ -розрядного двійкового числа в паралельному коді. Будують на основі D-тригерів в яких з'єднують входи Clock input. По фронту імпульсу на цих входах здійснюється запис числа в регістр. Кожний тригер служить для зберігання певного розряду числа. Попередньо число, яке потрібно записати подають на D-входи три-герів. Зчитування числа може здійснюватися у будь який час з виходів тригерів.

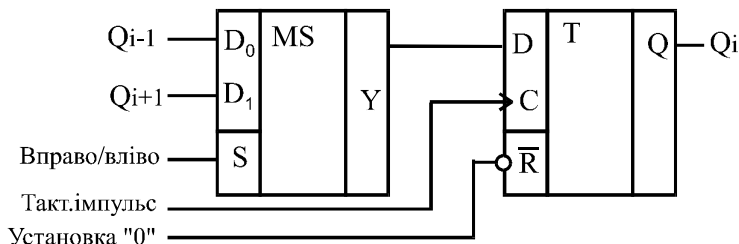
Регістр зсуву служить для зсуву розрядів числа в один бік (вправо чи ліво по схемі) та для перетворення чисел з послідовного коду в паралельний і навпаки. Зсув на один розряд виконується при надходженні кожного наступного імпульсу тактового генератора (по фронту чи зрізу імпульсу в

залежності від типу використаних у регістрі тригерів). Регістр можна побудувати як на основі D-тригерів так і на основі J-K тригерів.

В регістрі, побудованому на D-тригерах з входом D кожного тригера з'єднують вихід попереднього тригера при необхідності виконання зсуву вправо, і вихід наступного тригера при необхідності виконання зсуву вліво. У першому випадку вхід D першого тригера позначають DR (Data Right). У другому – вхід D останнього тригера позначають DL (Data Left).

В регістрі, побудованому на J-K - тригерах потрібно між тригерами виконати два з'єднання: вихід з'єднують з входом J, а вихід з'єднують з входом K. В обох випадках ім-пульси тактового генератора подають одночасно на входи Clock input усіх тригерів.

Реверсивний регістр зсуву краще будувати на D-тригерах, так як у цьому випадку потрібна у двічі менша кількість з'єднань. Враховуючи, що з входом D кожного тригера потрібно з'єднувати то вихід попереднього тригера, то вихід наступного тригера, кожний розряд регістра потрібно доповнити двовходовим мультиплексером, який буде здійснювати комутацію виходів згідно вибраного напрямку зсуву. Схема одного розряду регістра показана на рис. 9.1.



**Рис. 9.1.** Схема одного розряду реверсивного регістра

Паралельний запис числа в регістр зсуву. Порозрядний запис числа з додаткових входів в тригери відповідних розрядів регістра здійснюється через їх пріоритетні входи асинхронної установки в "нуль" та в "одиницю". Для того, щоб забезпечити можливість зсуву та можливість паралельного запису, до входів асинхронної установки в "нуль" та в "одиницю" та кожного з тригерів приєднують вихід вентиля "2ТА-НІ". По одному з входів вентилів з'єднують разом – це вхід дозволу запису. На інші входи підіють потрібні рівні напруг, необхідні для запису відповідного значення цього розряду записуваного числа. Схема асинхронного запису не залежить від типу вибраних тригерів і визначається тільки наявністю у них входів асинхронної установки в "нуль" та в "одиницю". Схема запису для одного розряду регістра показана на рис. 9.2.

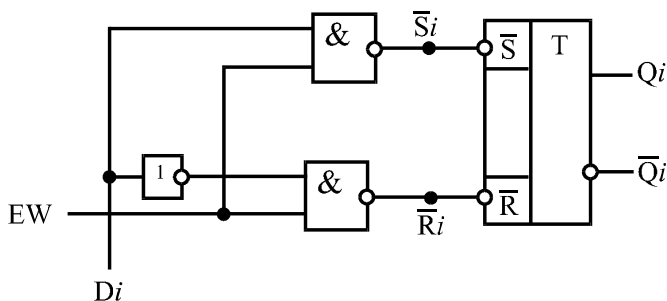


Рис. 9.2. Схема запису для одного розряду регістра

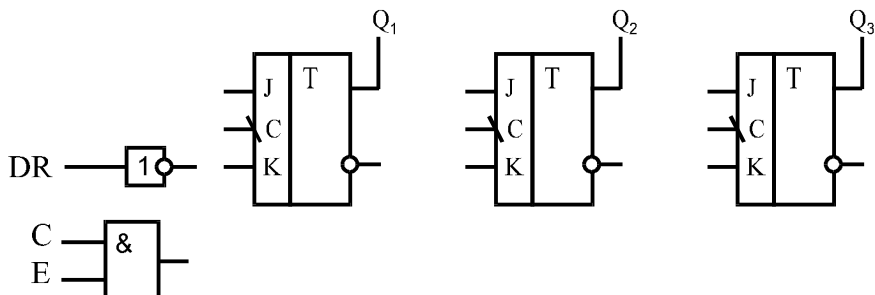
### Завдання на лабораторну роботу

1. Побудувати та дослідити 3-х розрядний регістр зсуву на J-K тригерах. В регістрі потрібно передбачити можливість зберігання інформації.
2. Побудувати та дослідити дворозрядний регістр зсуву на D тригерах з можливістю асинхронного запису інформації в паралельному коді.
3. Побудувати та дослідити 3-х розрядний універсальний регістр для зсуву числа в обох напрямках, можливістю запису числа в паралельному та послідовному кодах та зберігання числа.

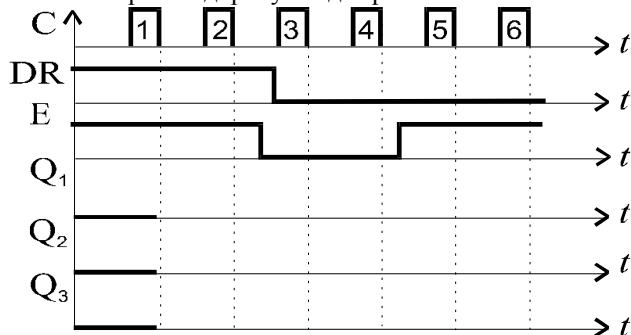
### Виконання пункту 1 завдання

Нанесіть позначення входів та виходів на УГЗ регістра, що буде досліджувати. Запишіть призначення входів.

Дорисуйте схему регістра зсуву. Для цього потрібно з'єднати входи та виходи тригерів між собою для забезпечення операції зсуву, відповідним чином з'єднати входи першого тригера для організації входу запису числа в послідовному коді, передбачити додатковий вентиль для імпульсів, якими здійснюється операція зсуву, з тим, щоб забезпечити режим зберігання інформації.



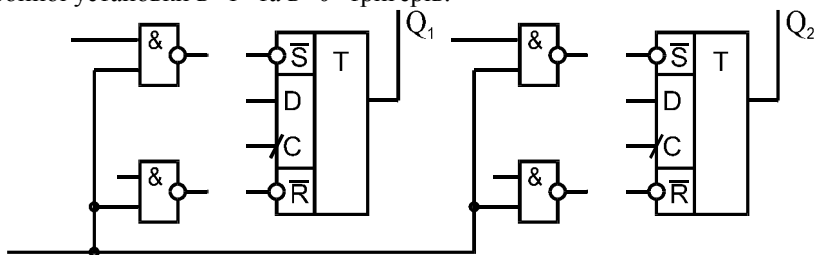
Зберіть схему. Виходи тригерів з'єднайте з елементами індикації панелі. До входів "E" та "C" приєднайте контакти кнопок. Подайте вказані на часовій діаграмі логічні рівні і дорисуйте діаграми зміни станів виходів.



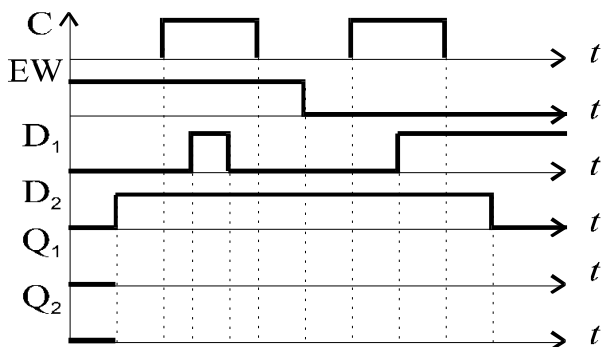
### Виконання пункту 2 завдання

Нанесіть позначення входів та виходів на УГЗ регістра, що буде досліджувати. Запишіть призначення входів.

Дорисуйте схему регістра зсуву. Для цього потрібно з'єднати входи та виходи тригерів між собою для забезпечення операції зсуву, відповідним чином з'єднати входи першого тригера для організації входу запису числа в послідовному коді, виконати з'єднання між вентилями, що будуть використовуватись для паралельного запису числа і приєднати їх до входів асинхронної установки в "1" та в "0" тригерів.



Зберіть схему. Виходи тригерів з'єднайте з елементами індикації панелі. До входів "EW" та "C" приєднайте контакти кнопок. На вхід послідовного запису постійно подано рівень "лог. 1". Подайте вказані на часовій діаграмі логічні рівні і дорисуйте діаграми зміни станів виходів.

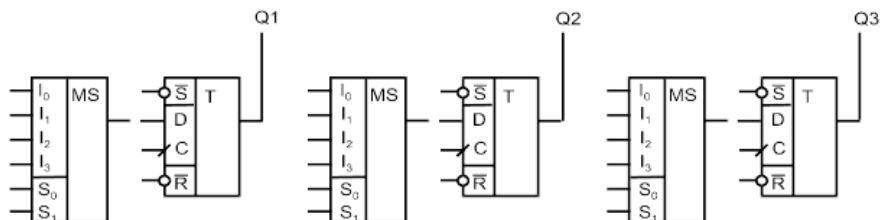


Проаналізувавши діаграму, зробіть висновки: 1) чи впливає зміна рівнів на входах паралельного запису на стан виходів при відсутності рівня дозволу запису; 2) чи здійснюється зсув числа, записаного в регістр при наявності рівня дозволу запису.

### Виконання пункту 3 завдання

Дорисуйте схему регістра згідно завдання. Для побудови доцільно використати D-тригери та мультиплексери «з 4 в 1». Номер інформаційного входу мультиплексера, з якого інформація передається на його вихід задається кодом  $S_1, S_0$ . Регістр повинен функціонувати згідно таблиці переходів.

$S_0$	$S_1$	C	$Q_{1t+1}$	$Q_{2t+1}$	$Q_{3t+1}$
0	0	↑	DR	$Q_{1t}$	$Q_{2t}$
0	1	↑	$Q_{2t}$	$Q_{3t}$	DL
1	0	↑	D1	D2	D3
1	1	↑	$Q_{1t}$	$Q_{2t}$	$Q_{3t}$



### Контрольні запитання

1. Що таке регістр зсуву та які операції можна виконувати за допомогою регістрів?
2. За якими ознаками можна класифікувати регістри.
3. Нарисувати схему паралельного регістра.

4. Нарисувати схему послідовного регістра.
5. Нарисувати схему універсального регістра.
6. Пояснити відмінності роботи послідовного та паралельного регістрів.
7. Пояснити роботу універсального регістра.

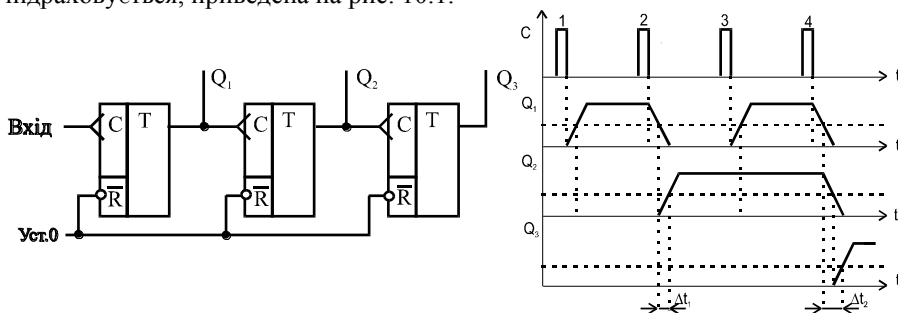
## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №10

### Дослідження роботи лічильників

#### *Теоретичні відомості*

Лічильники призначені для підрахунку кількості імпульсів, що надійшли на вхід. Основними параметрами лічильника є коефіцієнт лічби "М". В залежності від величини "М" лічильники поділяють на двійкові  $M = 2^n$  ( $n$  – кількість розрядів лічильника) та недвійкові  $M < 2^n$ . За організацією переносу між розрядами лічильники поділяються на асинхронні (з послідовним або наскрізним переносом) та синхронні (інформація на виходах всіх розрядів з'являється одночасно). За напрямком зміни станів виходів лічильники бувають "на додавання", "на віднімання" та реверсивні.

Асинхронні двійкові лічильники найпростіші в реалізації, їх можна побудувати тільки на одних тригерах. Для побудови використовуються лічильні Т-тригера, котрі можна реалізувати з D та J-K тригерів. Вихід попереднього тригера з'єднують з входом С наступного. Перший від входу лічильника тригер є наймолодшим розрядом. Схема побудови та осцилограми напруг на виходах трирозрядного асинхронного двійкового лічильника на лічильних тригерах, що спрацьовують по зрізу імпульсу, який підраховується, приведена на рис. 10.1.

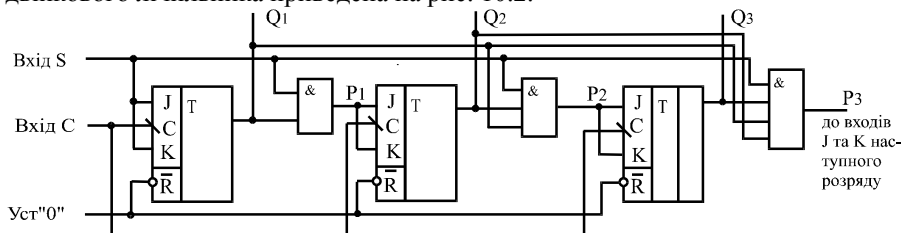


**Рис. 10.1.** Схема асинхронного двійкового лічильника та його часова діаграма

Синхронні двійкові лічильники. Для того щоб позбутись недоліків асинхронного лічильника, в синхронному лічильні імпульси подають одночасно на входи "С" тригерів всіх розрядів. Через це синхронний лічильник неможливо реалізувати тільки на одних тригерах, так як в

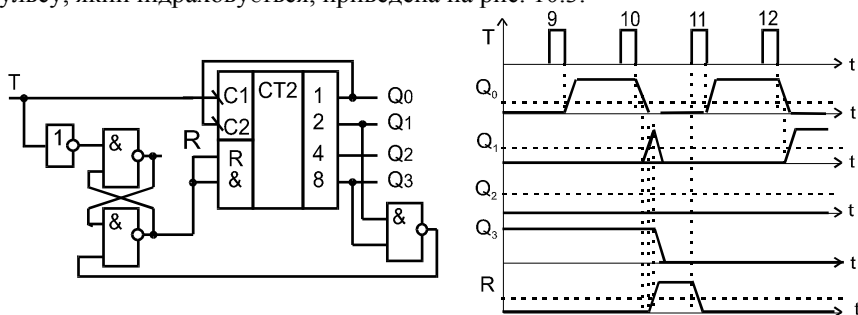


кожному розряді необхідна логічна схема, котра має визначати повинен чи не повинен перекидатись тригер саме цього розряду по приходу певного лічильного імпульсу. Для будь-якого розряду схема переносу реалізує логічну функцію:  $J_i = K_i = Q_{i-1} \cdot Q_{i-2} \cdot \dots \cdot Q_1$ . Схема побудови синхронного двійкового лічильника приведена на рис. 10.2.



**Рис. 10.2.** Схема синхронного двійкового лічильника

Асинхронні недвійкові лічильники. Один з принципів побудови асинхронного недвійкового лічильника – примусова установка в "нуль" тригерів всіх розрядів лічильника спеціальною схемою при появі на виходах двійкового числа, що дорівнює заданому коефіцієнту лічби  $M_B$ . При реалізації саме цього способу побудови недвійкового лічильника ми будемо отримувати на виходах лічильника код з природною вагою розрядів. Схема побудови та осцилограми напруг на виходах асинхронного недвійкового лічильника ( $M=10$ ) на лічильних тригерах, що спрацьовують по зрізі імпульсу, який підраховується, приведена на рис. 10.3.



**Рис. 10.3.** Схема синхронного двійкового лічильника

### *Завдання на лабораторну роботу*

1. Дослідити 2-х розрядний асинхронний лічильник на J-K тригерах.
2. Дослідити 2-х розрядний асинхронний лічильник на D тригерах.
3. Дослідити 2-х розрядний синхронний реверсивний лічильник на J-K тригерах.
4. Дослідити беззвентильний лічильник-подільник частоти на 5.

### *Послідовність виконання роботи*

Всі пункти завдання передбачають однакову послідовність виконання

1. Дорисувати схему лічильника згідно пункту завдання.
2. Зібрати схему лічильника на панелі стенду.
3. Подаючи, з допомогою кнопок, необхідні логічні рівні зарисувати побудову часові вихідних напруг.

### Виконання пункту 1 завдання

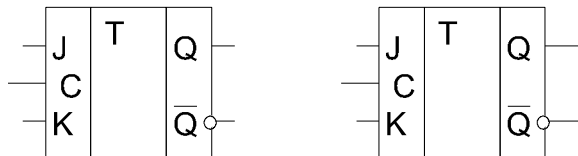
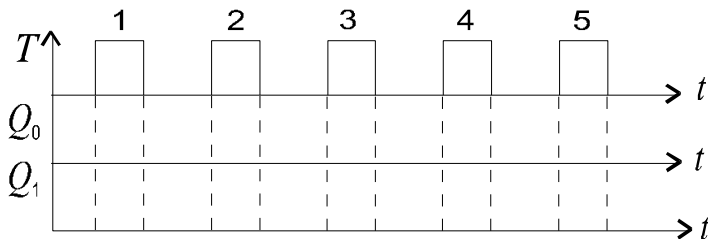


Схема асинхронний лічильник на J-K тригерах



Експериментальна часова діаграма лічильника

Зробіть висновки стосовно напрямку та коефіцієнта лічби

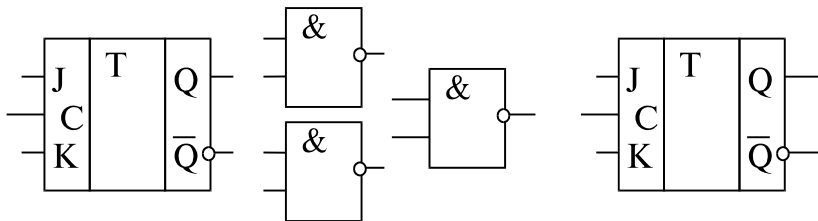
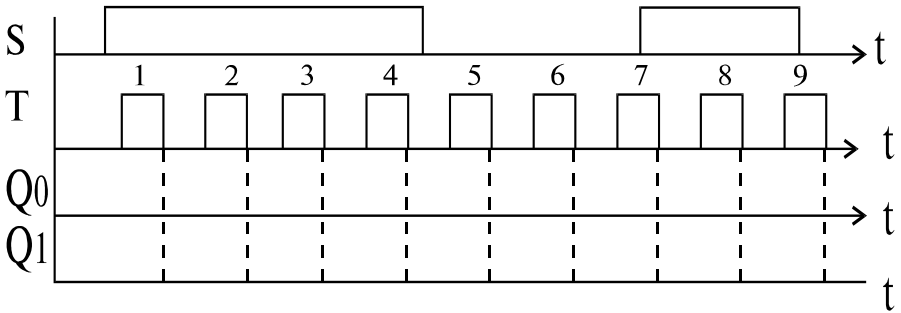


Схема лічильника



Експериментальна часова діаграма лічильника

**Виконання пункту 2 завдання**

Дослідити лічильник-подільник частоти на 7.

Для побудови подільника на 7 по принципу  $2n + 1$  необхідно мати подільник з  $n = 3$ , реалізуємо його.

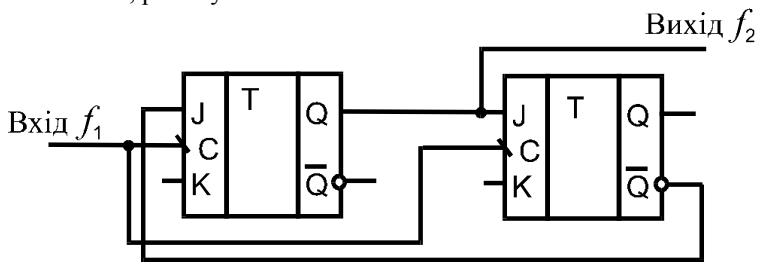
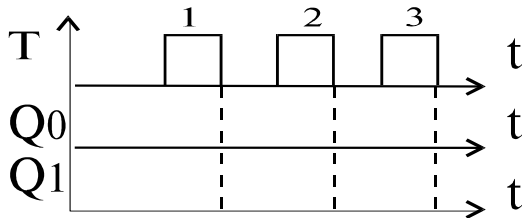
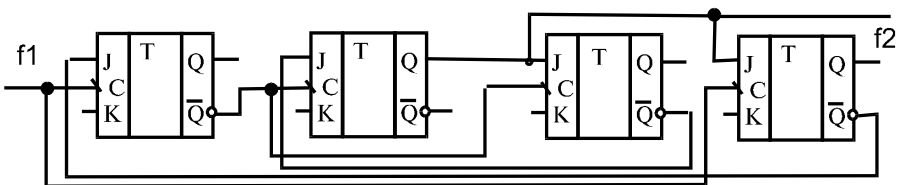


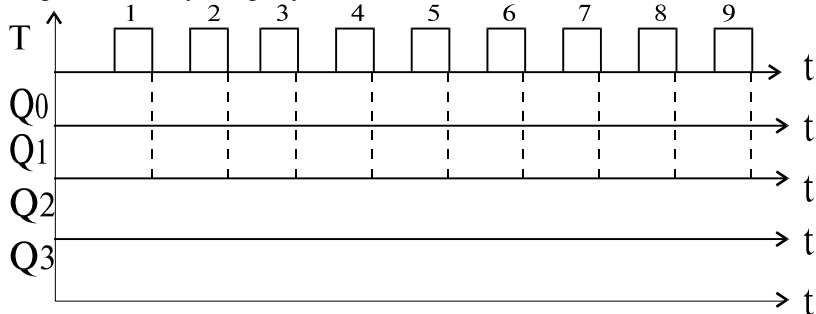
Схема подільника на 3



Експериментальна часова діаграма подільника на 3

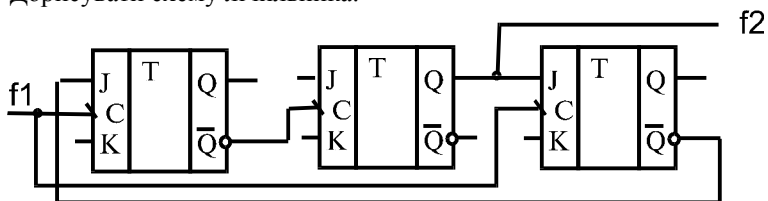


Завершити часову діаграму

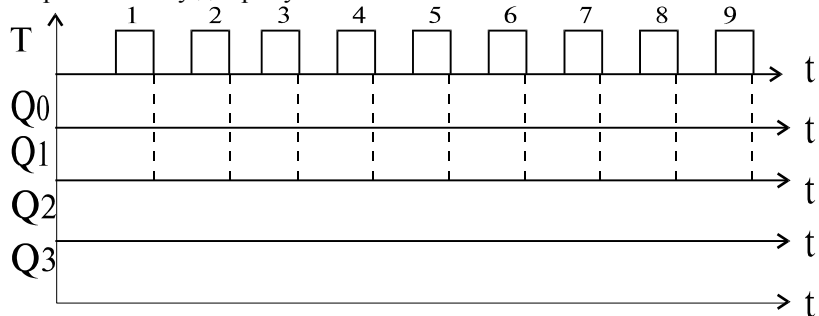


Дослідити лічильник-подільник частоти на 5

Дорисувати схему лічильника:



Завершіть часову діаграму:



### Контрольні запитання

1. Навести основні параметри та ознаки класифікації лічильників.
2. Яким чином досягається підвищення швидкодії лічильників?
3. Пояснити принципи роботи реверсивного лічильника.
4. Як здійснюється попереднє установлення лічильників?
5. Пояснити принципи роботи лічильника зі змінним коефіцієнтом перераховування.
6. Пояснити принцип роботи двійково-десятькового лічильника.
7. Нарисувати схему лічильника послідовної дії.
8. Нарисувати схему лічильника паралельної дії.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №11

### Дослідження характеристик підсилювачів

#### *Теоретичні відомості*

Посилювачі призначені для збільшення напруги, струму та потужності електричних сигналів без зміни їх форми (без спотворень) за рахунок енергії стороннього джерела. Хоча посилювач одночасно збільшує всі перераховані параметри електричного сигналу, в кожному конкретному випадку цікавить посилення тільки одного, конкретного. Основним параметром посилювача є коефіцієнт посилення по нарузі, по струму, по потужності, який визначається як відношення відповідної вихідної величини до вхідної.

$$K_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}, \quad K_I = \frac{I_{вих}}{I_{вх}}, \quad K_P = \frac{P_{вих}}{P_{вх}}$$

Іншими, найбільш важливими параметрами є:

*Амплітудна, або передавальна характеристика* – залежність між вхідною та вихідною напругами, або залежність коефіцієнта посилення від вхідної напруги. Передавальна характеристика звичайного посилювача розташована в першому квадранті Декартової системи координат. Обмеження характеристики зверху пояснюється кінцевим значенням напруги живлення каскаду посилення. В деяких типів посилювачів нелінійність характеристики може спостерігатись і при малих значеннях вхідної напруги. На лінійній ділянці забезпечується пропорційний (лінійний) приріст вихідної напруги.

*Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ)* – залежність коефіцієнта посилення від частоти вхідного сигналу при незмінній його амплітуді. Дуже часто АЧХ зображають у подвійному логарифмічному масштабі, тобто по осі ординат коефіцієнт посилення в децибелах, а по осі абсцис  $\lg f$ . Діапазон частот від  $f$  до  $2f$  називається октавою, а від  $f$  до  $10f$  – декадою. І кажуть: "спад АЧХ 20 дБ на октаву".

*Фазочастотна характеристика (ФЧХ)* це залежність зсуву фаз між вихідним та вхідним сигналами від частоти посилюваного сигналу. Вигляд ФЧХ дуже важливо знати для розрахунку стійкості різних систем з посилювачами, або посилювачів замкнених зворотнім зв'язком.

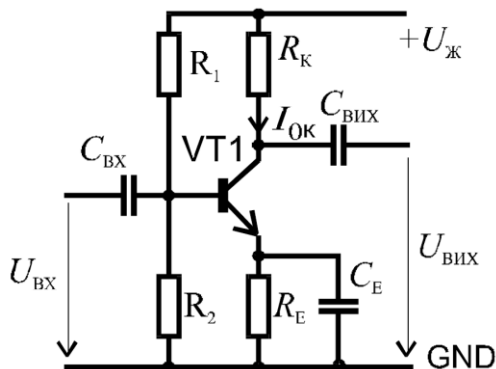
*Коефіцієнт нелінійних спотворень* (коефіцієнт гармонік) визначається відношенням сумарного діючого значення напруг вищих гармонік вихідного сигналу до діючого значення основної (першої) гармоніки при

синусоїдальному вхідному сигналі:  $K_T = \frac{\sqrt{U_{(2)}^2 + U_{(3)}^2 + \dots}}{U_{(1)}^2}$ , де  $U_{(1)}$ ,  $U_{(2)}$ ,

$U_{(3)}$ - діючі значення напруг першої, другої та третьої гармонік відповідно.

При використанні біполярного транзистора (БТ) в схемі будь-якого функціонального вузла один з виводів буде спільним для вхідної та вихідної віток. У відповідності з цим можливі три схеми увімкнення БТ: з спільним емітером, спільним колектором та спільною базою. Незалежно від схеми увімкнення на колектор та базу N-P-N транзистора повинні бути подані позитивні, по відношенню до емітера напруги, а P-N-P транзистора – негативні. Найчастіше в каскадах посилення напруги використовується схема зі спільним емітером, що забезпечує високий коефіцієнт посилення. значний вхідний опір каскаду.

Схема каскаду посилення напруги зі спільним емітером наведена на рис. 11.1.



Активним елементом схеми, за рахунок якого здійснюється посилення, є БТ VT1. В його колекторній вітці увімкнено навантажувальний резистор  $R_k$ , а в вітці емітера –  $R_E$ . Призначення  $R_E$  – створення внутрішнього каскадного негативного зворотного зв'язку. Для того, щоб забезпечити значне посилення вхідного сигналу потрібно, щоб  $R_{EK} < R$ .

Вхідні напруги менші за 0,6 В не будуть впливати на струм колектора, тому потрібно створити струм бази, що забезпечить режим каскаду при відсутності вхідного сигналу (режим спокою) на середині лінійного відрізка перехідної характеристики. Такий струм називається струмом зміщення бази  $I_{Б0}$ . Подільник напруги на резисторах  $R_1$  та  $R_2$  потрібен саме для створення  $I_{Б0}$ .

Якщо джерело сигналу, що має шлях для протікання постійного струму, приєднати безпосередньо до бази БТ, то внутрішній опір цього джерела виявиться увімкнутим паралельно  $R_2$  і напруга  $U_{0BE}$  зміниться. Щоб цього не

трапилося, служить розділювальний конденсатор  $C_{BX}$  між входом каскаду та базою БТ.

Подільник напруги на резисторах  $R_1$  та  $R_2$  значно знижує вхідний опір каскаду. Наявність резистора у вітці емітера  $R_E$  забезпечує внутрішньо каскадний негативний зворотній зв'язок.

### ***Завдання на лабораторну роботу***

1. Ознайомитись зі схемою каскаду посилювача напруги на біполярному P-N-P транзисторі. Схему зарисувати у звіт.
2. Зняти передавальну характеристику каскаду  $U_{вих}=f(U_{вх})$ . Зарисувати осцилограми напруг при декількох значеннях вхідної напруги  $U_{вх}$ .
3. Зняти амплітудно - частотну характеристику (АЧХ) каскаду  $k_U=f(f_C)$ .
4. Зарисувати осцилограми напруг при відсутності та наявності напруги вхідного синусоїдального сигналу при відкритому вході осцилографа. Визначити експериментально напругу спокою каскаду  $U_{KE0}$ .

### ***Необхідні відомості про експериментальний стенд***

Досліджуваний каскад розташований у правій нижній частині панелі під рамкою за склом. Синусоїдальна напруга на вхід каскаду подається з НЧ генератора. Амплітуда цієї напруги змінюється поворотом ручки підписаної "М%". Частота змінюється ступінчато натисканням однієї з клавіш перемикача з підписом "Гц". Величина вхідної та вихідної напруг вимірюється одним мільтиметром з перемикачем розташованим над досліджуванним каскадом. Мільтиметр приєднують до клем з затискачами, що розташовані правіше перемикача. Осцилограф приєднують до виходу каскаду перед розділювальним конденсатором.

### ***Виконання пункту 1 завдання***

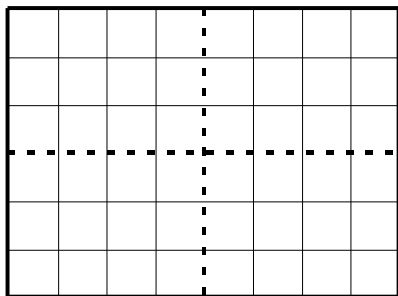
Перерисуйте з панелі у звіт схему досліджуваного каскаду, позначте усі його елементи.

### ***Виконання пункту 2 завдання.***

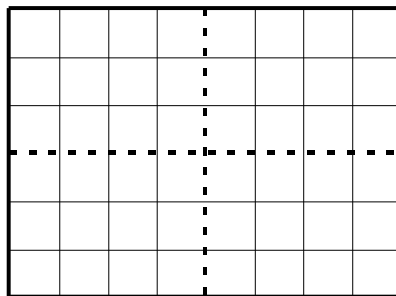
Зніміть передавальну характеристику каскаду  $U_{вих}=f(U_{вх})$  встановлюючи ручку "М%" генератора напроти кожної цифри від "0" до "10". Після кожного перемикачання запишіть у таблицю значення вхідної та вихідної напруг. На перемикачі "Гц" повинна бути натиснута клавіша з позначкою "III".

Положення ручки "М%" генератора	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_{вх}$ , В											
$U_{вих}$ , В											

Зарисуйте осцилограми вихідних напруг при значеннях вхідної напруги  $U_{вх}$ , що відповідають положенням ручки "М%" генератора "5" та "10".



осцилограма 1 при  
положенні ручки "5"



осцилограма 2 при  
положенні ручки "10"

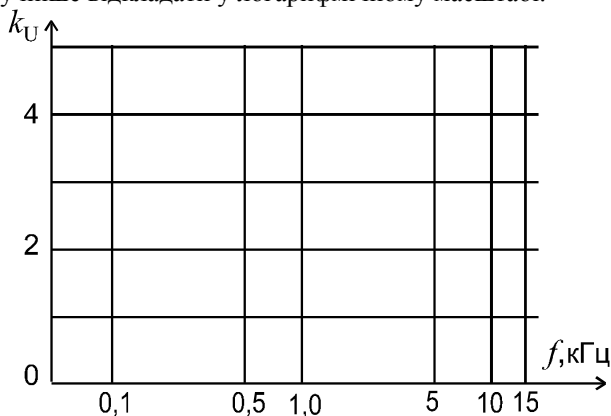
Поясніть причини обмеження вихідної напруги зверху та знизу.

**Виконання пункту 3 завдання.**

Для того щоб зняти АЧХ каскаду  $k_U=f(f_C)$  ручку "М%" генератора встановіть напроти цифри "5" і не змінюйте її положення під час експерименту. При цьому величина вхідної напруги буде залишатись незмінною  $U_{вх} = 0,5$  В. Натискайте по черзі одну з клавiш перемикача "Гц" генератора. Найбільша частота генерується оли не натиснута ні одна клавiша. Після кожного перемикання запишіть у таблицю значення вихідної напруги.

Натиснута клавiша "Гц" генератора	I	II	III	IV	V
частота наруги, Гц	100	500	1000	5000	15000
$U_{вих}, В$					
$k_U$					

Використовуючи отримані дані розрахуйте для кожної частоти коефіцієнт посилення по напрузі  $k_U = \frac{U_{вих}}{U_{вх}}$ . Побудуйте графік АЧХ  $k_U=f(f_C)$ . Частоту по осі "х" зручніше відкладати у логарифмічному масштабі.

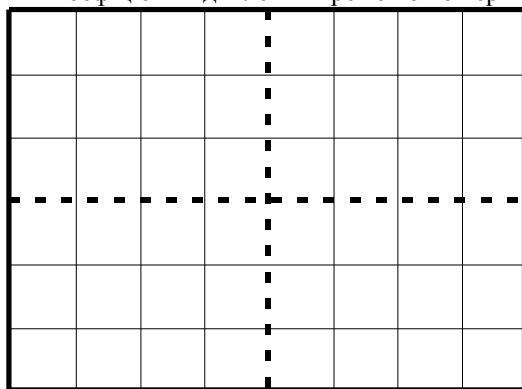




### Виконання пункту 4 завдання.

При неприєднаному вході сумістіть положення променю з верхньою лінією на екрані. Приєднайте вхід осцилографа (перемикач входу повинен бути в положенні «відкритий») до колектора транзистора і встановивши ручку "М%" генератора в "0" нанесіть на рисунок нове положення променю осцилографа. Знаючи коефіцієнт відхилення променю по вертикалі (В/дел) визначте напругу спокою каскаду  $U_{KE0}$ . Встановіть ручку "М%" генератора в положення "5" і перерисуйте осцилограму напруги при наявності вхідного сигналу.

Коефіцієнт відхилення променю по вертикалі



\_\_\_\_\_ В/поділку;

відхилення променю

\_\_\_\_\_ поділок;

напруга спокою каскаду

$U_{KE0} =$  \_\_\_\_\_ В

### Контрольні запитання

1. Яку функцію виконують підсилювачі та де вони застосовуються?
2. Які основні елементи містить підсилювач?
3. За рахунок якого джерела енергії підсилюється сигнал?
4. Що таке коефіцієнт підсилення?
5. Які основні характеристики підсилювачів?
6. Наведіть класифікацію підсилювачів.
7. Які елементи утворюють вхідне та вихідне кола підсилювача на біполярному транзисторі?
8. За рахунок яких елементів забезпечується режим початкового зміщення?
9. Як будується лінія навантаження підсилювача на біполярному транзисторі?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12

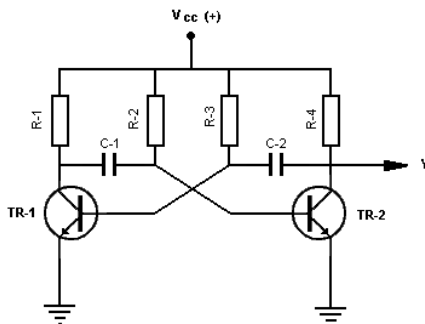
### Дослідження мультівібратора на операційному підсилювачі

#### Теоретичні відомості.

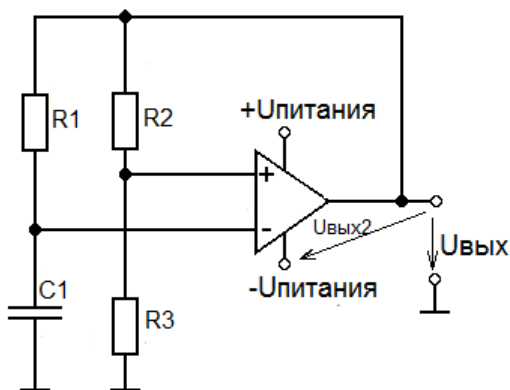
Мультівібратором називають релаксаційний генератор прямокутних коливань з короткими фронтами. Схема найпростішого мультівібратора показана на рис. 12.1. Ці генератори є найпоширенішим типом генераторів імпульсів у електроніці. Конструктивно є двокаскадним резистивним підсилювачем з глибоким додатнім зворотним зв'язком.

Симетричним мультівібратор називають при попарній рівності опорів, ємностей і транзисторів у схемі. Симетричний мультівібратор

генерує прямокутні коливання типу «меандр» зі сквапністю 2, тобто прямокутний сигнал, у якого тривалість імпульса і тривалість паузи є однаковими. Розглянута схема має обмежене застосування, оскільки має погані частотні властивості і недостатньо круті фронти.



**Рис. 12.1.** Принципова схема найпростішого транзисторного мультівібратора



**Рис. 12.2.** Мультівібратора на ОП

Для того щоб форма імпульсів на виході мультівібратора була близькою до прямокутної, необхідно використовувати підсилювач з великим коефіцієнтом посилення напруги. Операційні підсилювачі (ОП) володіють великим коефіцієнтом посилення напруги, тому мультівібратори на операційних підсилювачах (ОП) можуть видавати майже прямокутні імпульси. Схема мультівібратора на

операційному підсилювачі показана на рис. 12.2:

Напруга на виході відносно землі буде змінюватись, як показано на рис. 12.3, а:

Напруга на виході відносно джерела живлення буде змінюватись, як показано на рис. 12.3, б.

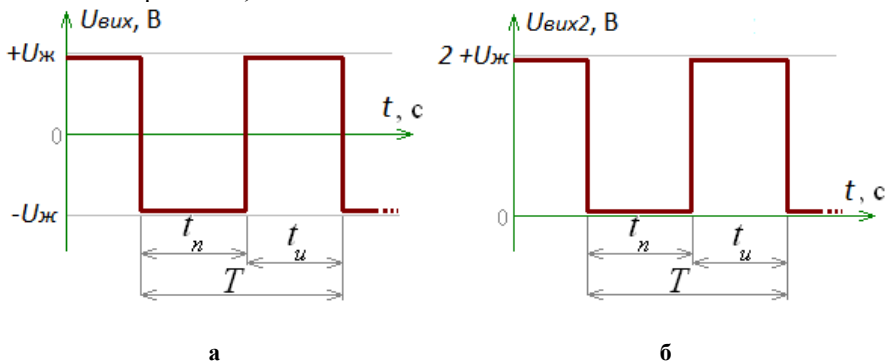


Рис. 12.3. Напруга на виході відносно землі (а) та відносно джерела живлення (б)

Тривалість імпульсу  $t_i$ , тривалість паузи  $t_n$  і період коливань  $T$  для даної схеми можна розрахувати за формулами:

$$t_i = t_n = R_1 C_1 \ln \left( 1 + 2 \frac{R_3}{R_2} \right), \quad T = 2t_i = 2t_n.$$

### ***Завдання на лабораторну роботу***

1. Познайомитись з прикладом використання операційного посилювача для побудови симетричного мультівібратора.
2. Виконати при допомозі осцилографа найпростіші вимірювання параметрів імпульсів..
3. Навчитись визначати з осцилограми максимальне значення синфазної та диференціальної напруги.

### ***Виконання пункту 2 завдання.***

1. Увімкнути осцилограф та встановити ручку керування посилювачем 1-го каналу в положення “5 В/дел”, 2-го – в положення “2 В/дел”. Ручку керування комутатором – в положення почергового спостереження каналів.

2. Зібрати мультивібратор за наведеною схемою. Вхід 1-го каналу осцилографа приєднати до виходу мультивібратора, вхід 2-го каналу – до інвертувального входу.

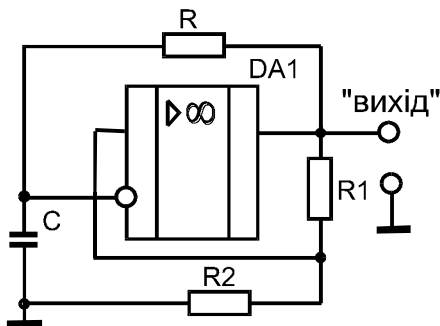
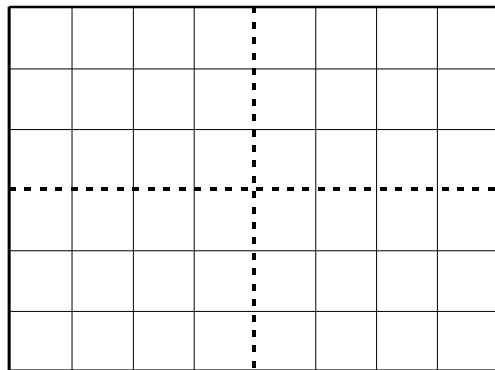
3. Ручками "Развертка, время/дел" та "Синхронизация, уровень" встановити нерухоме, зручне для спостереження, зображення на екрані осцилографа.

4. Перерисувати в звіт осцилограми напруг на виході та інвертувальному вході мультивібратора.

5. Пам'ятаючи, що промінь осцилографа проходить по екрану відстань між двома рисками за \_\_\_ секунд (подивіться на положення ручки "Развертка, время/дел") визначте тривалість позитивних імпульсів та період їх повторення.

6. Порівняйте отримані значення з розрахованими за формулами

$$t_i = RC \ln\left(1 + 2 \frac{R2}{R1}\right)$$



Величини

$R1 = \underline{\hspace{2cm}}$  Ом та

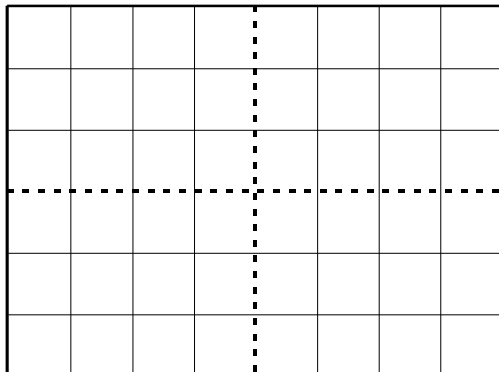
$R2 = \underline{\hspace{2cm}}$  Ом

потрібно вписати з панелі стенда.

7. Пам'ятаючи, що відхиленню променю по вертикалі на одну поділку відповідає вхідна напруга.

Визначте з осцилограми амплітуду вихідних імпульсів мультивібратора  $U_{вихм}$

8. Перемкніть 1-го канал осцилографа на неінвертувальний вхід операційного посилювача. Встановивши ручки керування посилювачами обох каналів в положення "1 В/дел" перерисуйте в звіт осцилограми напруг.



9. Визначте з осцилограми максимальне значення синфазної  $U_{\text{синф}}$  та диференціальної  $U_{\text{диф}}$  напруг між входами операційного посилювача.

$$U_{\text{синф}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В,}$$

$$U_{\text{диф}} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ В.}$$

### ***Контрольні запитання***

1. Що таке мультівібратор?
2. Де застосовуються мультівібратори?
3. На яких елементах будують мультівібратори?
4. В чому відмінність симетричного мультівібратора від несиметричного?
5. Від яких елементів схеми залежить тривалість імпульсів в схемі мультівібратора на операційному підсилювачі?
6. Чим відрізняється одновібратор від мультівібратора?

## ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка/ Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков. Посібник для студ. вузів напряму "Електромеханіка" – К.: Каравела, 2003.– 368 с.

2. Матвійків М.Д. Елементна база електронних апаратів: Підручник / М.Д. Матвійків, В.М. Когут, О.М. Матвійків. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2005.– 420 с.

3. Барабакин І.П. Основи цифрових систем: підручник для студентів напряму «Компютерна інженерія/ Барабакин І.П., Благодарний М.П. та інші. – Національний аерокосмічний університет, 2002. – 272с.

4. Опадчий Ю.Ф., Глудкин О.П., Гуров А.Н. Аналоговая и цифровая электроника. // Учебн. для вузов / Под ред. О.П. Глудкина.– РадиоСофт, 2001.– 554 с.

5. Бойко А.М. Схемотехніка електронних систем: У 3 кн. Кн.2. Цифрова схемотехніка: Підручник/ В.І. Бойко, А.М. Гуржій, В.Я. Жуйков та ін. – 2-е вид., допов. і переробл. – К.: Вища шк., 2004 – 423с.