

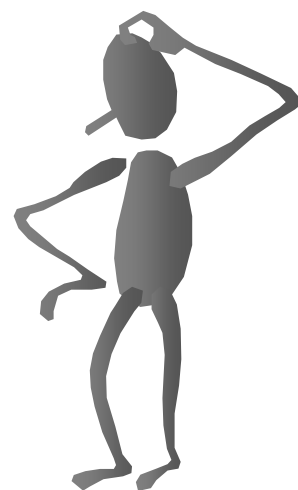
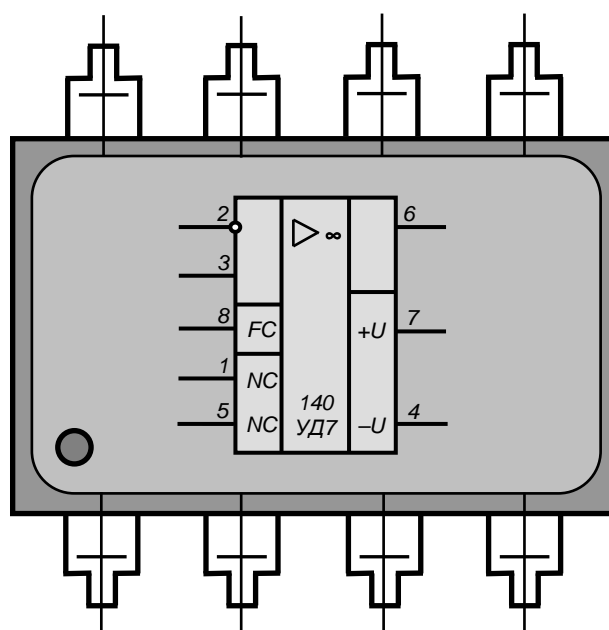
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ



ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

ЕЛЕКТРОНІКА ТА МІКРОСХЕМОТЕХНІКА

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ



Харків – ХНАМГ – 2013

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

**ЕЛЕКТРОНІКА
ТА
МІКРОСХЕМОТЕХНІКА**
ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

(для студентів усіх форм навчання напрямку підготовки
6.050702 - "Електромеханіка")

Харків – ХНАМГ – 2013

Електроніка та мікросхемотехніка: лабораторний практикум (для студентів усіх форм навчання напрямку підготовки 6.050702 - "Електромеханіка") / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад. Ю. П. Колонтаєвський, А. Г. Сосков, О. Ф. Білоусов. – Х.: ХНАМГ, 2013. – 153 с.

Укладачі: доц., к.т.н. Ю. П. Колонтаєвський,
проф., д.т.н. А. Г. Сосков,
доц., к.т.н. О. Ф. Білоусов,

Рецензент: проф., д.т.н. В. Б. Фінкельштейн

Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,
протокол № 6 від 31.01.2013 р.



ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

⚠ До виконання лабораторних робіт студенти допускаються після інструктажу з техніки електричної та протипожежної безпеки у лабораторії промислової електроніки, про що обов'язково робиться відповідний запис до журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці.

⚠ Напруги на доступних для дотику виводах лабораторного устаткування не перевищують допустимих значень у 42 В для змінного струму та 110 В для постійного. Незважаючи на це, оскільки живлення устаткування та вимірювальних приладів здійснюється від мережі 220 В напруги змінного струму, при виконанні робіт не слід доторкатися одночасно до двох одиниць устаткування або приладів, а також до труб центрального опалення та використовувати у якості указок струмопровідні предмети (у т. ч. олівці з графітовим стрижнем).

⚠ Забороняється розміщувати на робочих місцях одяг та інші особисті речі, що не використовуються для роботи.

⚠ Забороняється без дозволу викладача переміщуватись на інші робочі місця, покидати робочі місця та межі лабораторії.

⚠ При виявленні несправності устаткування та вимірювальних приладів або відхилень у їхній роботі, їх необхідно знеструмити і повідомити про це викладачеві.

⚠ У разі виникнення нещасного випадку необхідно вимкнути живлення лабораторії, надати потерпілому першу допомогу, негайно сповістити викладача.

⚠ У разі виникнення загоряння у лабораторії необхідно вимкнути живлення лабораторії та загасити полум'я вогнегасником, негайно сповістити викладача.

⚠ Після закінчення виконання робіт необхідно вимкнути живлення устаткування та вимірювальних приладів, навести лад на робочому місці, сповістити викладача.

ВСТУП

Даний лабораторний практикум складено на основі робочої програми з дисципліни „Електроніка та мікросхемотехніка”. Він призначений для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050702 - "Електромеханіка".

Метою виконання лабораторних робіт є формування у студентів знань і практичних навиків дослідження напівпровідникових електронних приладів і типових каскадів підсилювачів напруги змінного та постійного струмів; таких пристроїв імпульсної та цифрової техніки, як мультивібратори, тригери, логічні елементи, дешифратори, лічильники, мікропроцесори; пристроїв перетворювальної техніки: одно- і трифазних випрямлячів (у тому числі керованих), фільтрів, стабілізаторів напруги, інверторів. Практикум складається відповідно з трьох частин: «Підсилюючі пристрої», «Імпульсні та цифрові пристрої», «Перетворювальні пристрої».

У результаті виконання даних робіт студенти повинні засвоїти принципи дії транзисторів різного типу та типових електронних підсилювачів, що застосовуються у пристроях автоматики й обчислювальної техніки, промислової електроніки; принципи дії імпульсних пристроїв, комбінаційних і послідовнісних цифрових пристроїв жорсткої логіки та програмованих мікропроцесорних пристроїв, що складають основу сучасної цифрової електроніки і застосовуються у пристроях автоматики й обчислювальної техніки, промислової електроніки; принципи дії силових електронних пристроїв, що застосовуються для живлення пристроїв промислової електроніки та електронних приладів, на яких вони будуються.

Методика проведення лабораторних робіт пов'язана з наявністю необхідного устаткування і організацією робочих місць у лабораторії проми-

слової електроніки кафедри теоретичної та загальної електротехніки, кількістю навчальних груп, які одночасно приступають до виконання лабораторних робіт.

Студенти повинні заздалегідь готуватися до занять у лабораторії, вивчаючи відповідні розділи теоретичного курсу за лекційними записами і навчальною літературою та знайомлячись зі змістом лабораторної роботи за даними методичними вказівками. Також заздалегідь необхідно заготовити таблиці для фіксації результатів експериментів і кальку або інший подібний прозорий матеріал для зняття осцилограм.

Перед виконанням лабораторної роботи студенти знайомляться на робочому місці з приладами та устаткуванням. Експериментальна частина виконується самостійно відповідно до методичних вказівок під керівництвом і за контролем викладача з дотриманням правил техніки безпеки.

Результати вимірів і осцилограми студенти обробляють у лабораторії, аналізуючи результати кожного досліду.

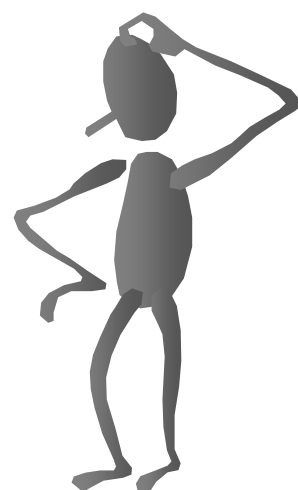
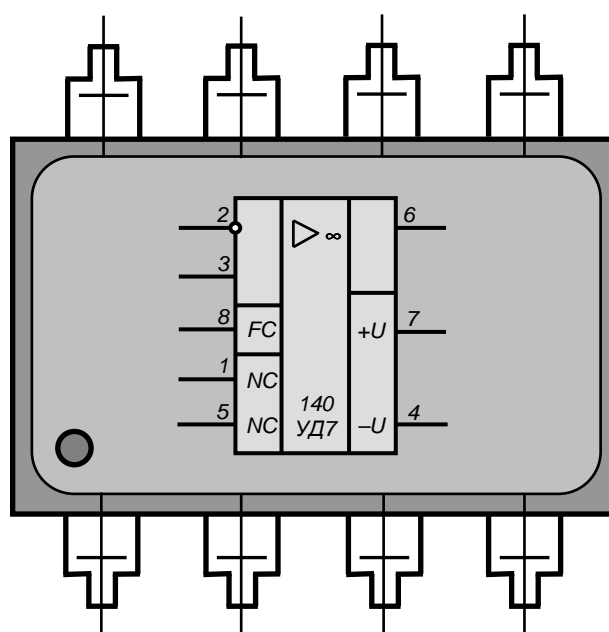
За результатами виконання лабораторної роботи складається звіт (форму наведено у Додатку А). Звіт повинен бути складений чітко й акуратно. Особливу увагу варто приділяти формулюванню висновків за виконаною роботою, у яких необхідно зіставити результати експериментальних досліджень з відомими з теоретичного курсу закономірностями.

Схеми електричні принципів виконуються згідно з вимогами державних стандартів і з застосуванням креслярського знаряддя. У схемах, формулах і таблицях необхідно використовувати стандартні умовні позначення.

Для здачі лабораторної роботи студент повинен представити повністю оформлений звіт, уміти пояснити будь-який з проведених дослідів і відповісти на контрольні запитання викладача.

ЧАСТИНА ПЕРША

ПІДСИЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ



Лабораторна робота № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІПОЛЯРНИХ І ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ ТА ОДИНОЧНИХ ПІДСИЛЮЮЧИХ КАСКАДІВ

1. МЕТА РОБОТИ

- 1) Дослідження статичних характеристик біполярного транзистора *n-p-n* типу.
- 2) Дослідження статичних характеристик польового транзистора з керуючим *p-n* переходом з каналом *n*-типу.
- 3) Дослідження властивостей одиночних підсилюючих каскадів зі спільним емітером (з СЕ) та зі спільним витокком (з СВ) і зі спільним колектором (з СК) та зі спільним стоком (з СС).

2. ОБЛАДНАННЯ

- 1) Стенд лабораторний № 1, 3.
- 2) Вольтметр цифровий В7-27.
- 3) Мультиметр ВР11.
- 4) Осцилограф С1-93 (С1-83).

3. ЗМІСТ РОБОТИ

- 1) Зняти і побудувати статичні вхідні і вихідні вольт-амперні характеристики (ВАХ) біполярного і польового транзисторів.
- 2) Дослідити роботу одиночних підсилюючих каскадів за різних значень напруги вхідного сигналу і опору навантаження.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Ознайомитись з робочим місцем, устаткуванням і приладами.
- 4.2. Ввімкнути вимірювальні прилади та живлення стенда лабораторного. Тумблер у середній частині лицьової панелі стенда (між мнемосхемами) встановити у ліве положення.
- 4.3. Зняття статичних вольт-амперних характеристик (ВАХ) біполярного транзистора *n-p-n* типу
 - 4.3.1. Зняття статичних ВАХ біполярного і польового транзисторів проводити за допомогою схеми, що наведена на рис. 1.1 (верхня мнемосхема).

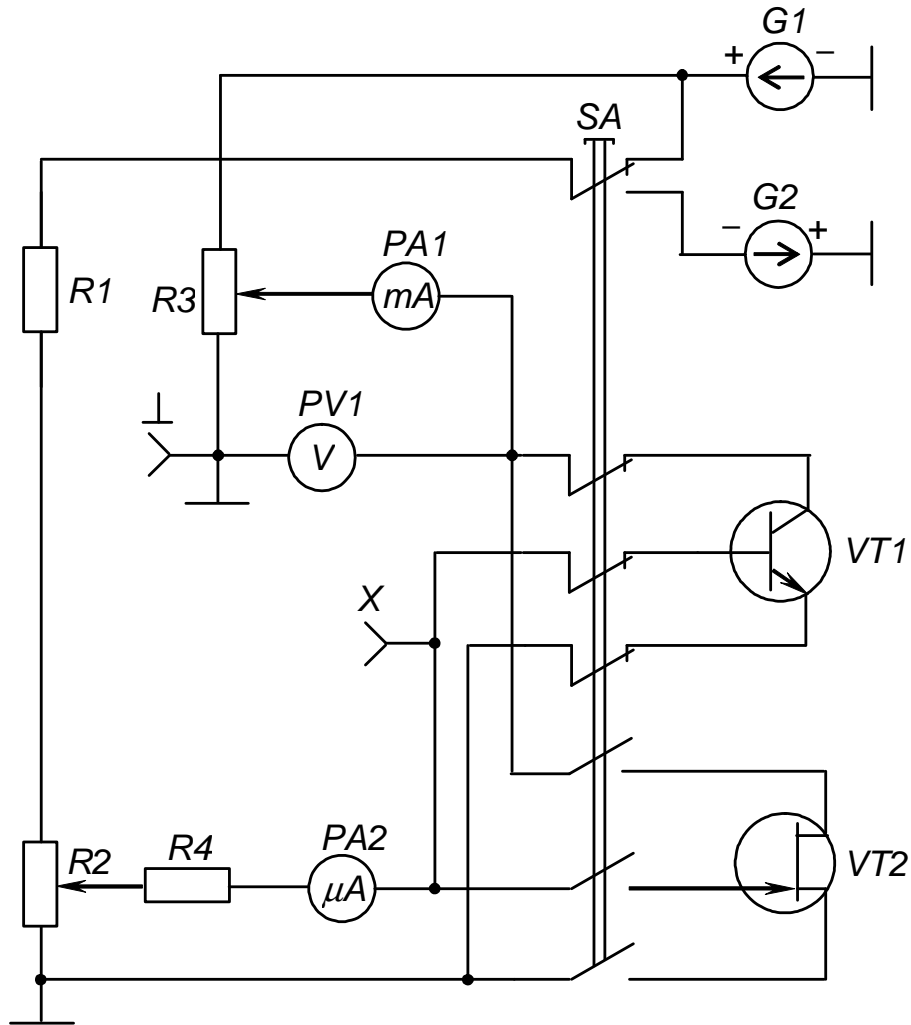


Рис. 1.1 – Схема для зняття ВАХ біполярного і польового транзисторів

схема на лівій половині лицьової панелі стенда лабораторного). Міліамперметр $PA1$, вольтметр $PV1$ і мікроамперметр $PA2$ встановлені на лицьовій панелі стенда. Елементи комутації і регулювання вмонтовані в мнемосхемі.

Для зняття ВАХ біполярного транзистора у схемі з СЕ перемикач SA встановити у ненатиснуте положення (світиться сигнальна лампа поруч із транзистором $VT1$, що підмикається до джерела живлення, вимірювальних приладів і елементів регулювання). До клем X і „ \perp ” підімкнути мультиметр (або цифровий вольтметр), межу вимірювання якого встановити орієнтовно 2 В і задати режим вимірювання напруги постійного струму.

Зібрану у такий спосіб схему досліду наведено на рис. 1.2.

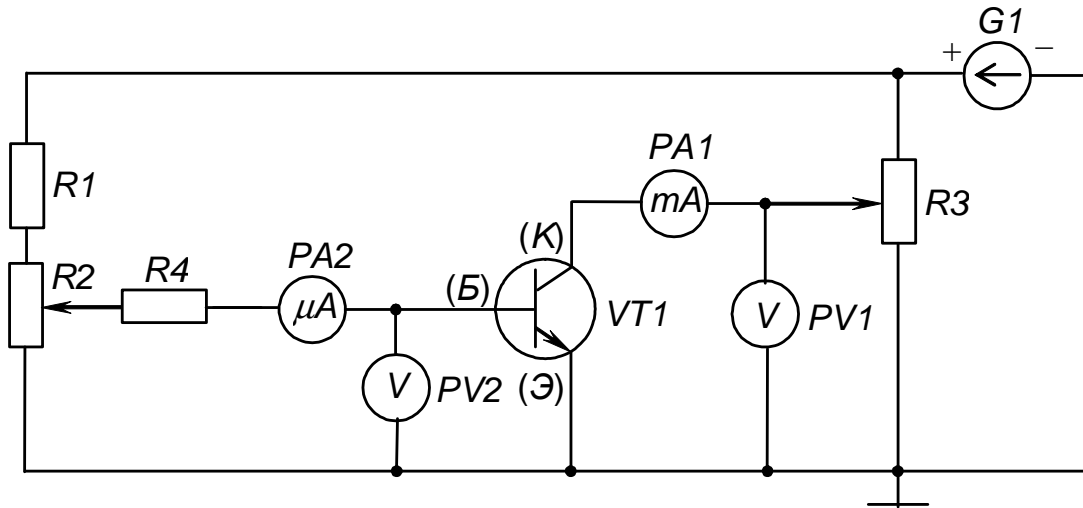


Рис. 1.2 – Схема досліду зняття ВАХ біполярного транзистора *n-p-n* типу

4.3.2. Зняти сімейство вхідних ВАХ $I_B = f(U_{BE})$ при значеннях U_{KE} рівних 0; 5 і 10 В.

Фіксовані значення U_{KE} задавати обертанням ручки резистора R_3 за годинниковою стрілкою, починаючи з крайнього лівого положення, і контролюючи за вольтметром $PV1$.

Обертаючи ручку резистора R_2 за годинниковою стрілкою з крайнього лівого положення, задавати необхідні значення I_B за мікроамперметром $PA2$ і фіксувати відповідні значення U_{BE} за вольтметром $PV2$.

Результати вимірів занести у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 - Результати вимірів вхідних ВАХ біполярного транзистора

$I_B, \mu A$	0	5	10	20	30	40	50	60	U_{KE}, V
U_{BE}, V									0
									5
									10

Примітка. У табл. 1.1 позиції, що відповідають значенням I_B , і не можуть бути встановлені за допомогою резистора R_2 , не заповнювати.

4.3.3. Зняти сімейство вихідних ВАХ $I_K = f(U_{KE})$ при фіксованих значеннях струму I_B рівних 0; 10; 30; 50 і 60 мкА, що задаються резистором R_2 за мікроамперметром $PA2$.

Для кожного фіксованого значення I_B , обертаючи ручку резистора R_3 за годинниковою стрілкою з крайнього лівого положення, задавати необхідні значення U_{KE} за вольтметром $PV1$ й фіксувати за міліамперметром $PA1$ відповідні значення струму колектора I_K . Результати вимірів занести у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 - Результати вимірів вихідних ВАХ біполярного транзистора

$U_{KE}, \text{В}$	0	0,25	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	$I_B, \text{мкА}$
$I_K, \text{мА}$								0
								10
								30
								50
								60

4.4. Зняття статичних вольт-амперних характеристик (ВАХ) польового транзистора з керуючим $p-n$ переходом

4.4.1. Для одержання схеми дослідження зняття статичних ВАХ польового транзистора з СВ, наведеної на рис. 1.3, перемикач SA встановити у натиснуте положення (світиться сигнальна лампа поруч з транзистором $VT2$).

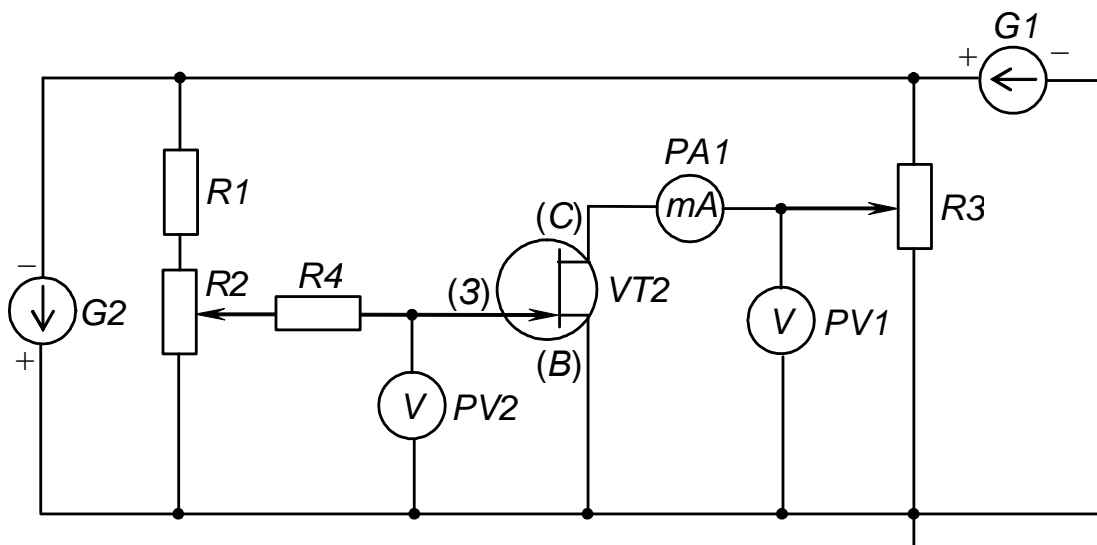


Рис. 1.3 – Схема дослідження зняття ВАХ польового транзистора з керуючим $p-n$ переходом

Зверніть увагу на те, що полярність напруги U_{3B} негативна (необхідно відповідно підімкнути мультиметр $PV2$).

4.4.2. Зняти сімейство стік-затворних ВАХ $I_C = f(U_{3B})$ при фіксованих значеннях напруги U_{CB} рівних 1; 5 і 10 В, що задаються резистором R_3 за вольтметром $PV1$.

Для кожного фіксованого значення U_{CB} , обертанням ручки резистора R_2 за годинниковою стрілкою з крайнього лівого положення, задавати необхідні значення U_{3B} за вольтметром $PV2$ і фіксувати за міліамперметром $PA1$ відповідні значення струму стоку I_C .

Результати вимірів занести у табл. 1.3.

Таблиця 1.3 - Результати вимірів стік-затворних ВАХ польового транзистора

$U_{зв}, В$	0	-0,2	-0,4	-0,6	-0,8	-1,0	-1,2	-1,4	-1,8	$U_{св}, В$
$I_C, мА$										1
										5
										10

4.4.3. Зняти сімейство вихідних (стокових) характеристик $I_C = f(U_{зв})$ при фіксованих значеннях напруг на затворі $U_{зв}$, що задаються резистором R_2 за цифровим вольтметром $PV2$.

Для кожного фіксованого значення $U_{зв}$, обертаючи ручку резистора R_3 за годинниковою стрілкою з крайнього лівого положення, задавати необхідні значення U_C за вольтметром $PV1$ і фіксувати за міліамперметром $PA1$ відповідні значення струму I_C .

Результати вимірів занести у табл. 1.4.

Таблиця 1.4 - Результати вимірів вихідних ВАХ польового транзистора

$U_{св}, В$	0	0,25	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	$U_{зв}, В$
$I_C, мА$								0
								-0,25
								-0,5
								-0,75
								-1,0
								-1,25

4.5. Дослідження властивостей одиночних підсилюючих каскадів з СЕ (СВ) і з СК (СС)

4.5.1. Дослідження властивостей одиночних підсилюючих каскадів на біполярному і польовому транзисторах виконувати за допомогою схеми, наведеної на рис. 1.4 (нижня мнемосхема на лівій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

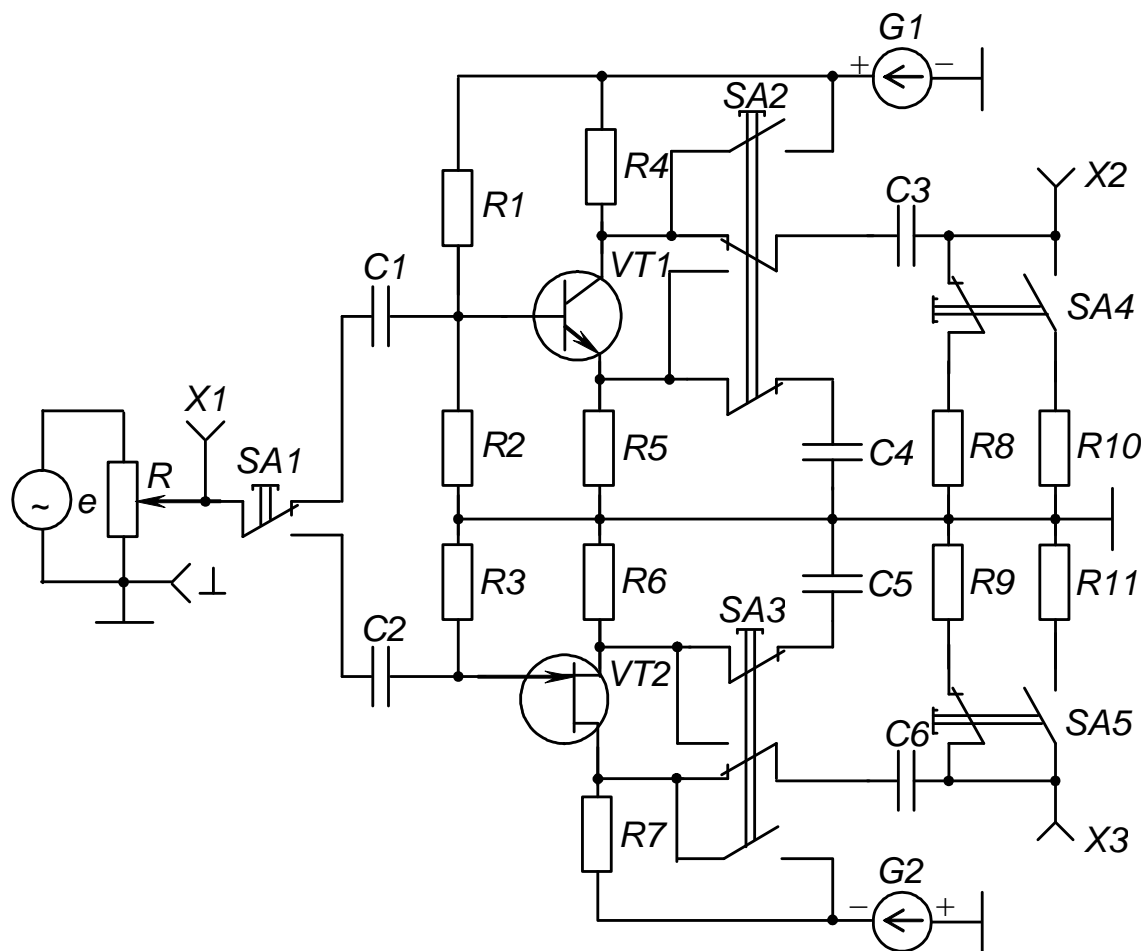


Рис. 1.4 – Схема для дослідження властивостей
одиначних підсилюючих каскадів

4.5.1.1. Підімкнути каскад на біполярному транзисторі $VT1$ до джерела живлення $G1$ і джерела вхідного сигналу e , встановивши перемикач $SA1$ у ненаписане положення.

Зібрати схему підсилюючого каскаду з СЕ, встановивши перемикач $SA2$ у ненаписане положення.

Підімкнути кабель першого каналу осцилографа сигнальним провідником до клем $X1$, а нульовим до клем „ \perp ”. Кабель другого каналу – до клем $X2$ і „ \perp ” відповідно.

Встановити ручку резистора R у середнє положення, а органи керування осцилографа у положення, що забезпечують спостереження стійкого, зручного для вимірів зображення. Переконатися у працездатності каскаду: синусоїдний сигнал на виході (клем $X2$) знаходиться у протифазі до вхідного сигналу (клем $X1$) і має більшу амплітуду (підсилений).

Зарисувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів каскаду для двох рівнів вхідного сигналу (задаються резистором R):

- 1) за відсутності помітних нелінійних викривлень вихідного сигналу;
- 2) за наявності помітних нелінійних викривлень вихідного сигналу.

4.5.1.2. Зняти амплітудну характеристику $U_{вих} = f(U_{вх})$ каскаду з СЕ для двох значень опору навантаження, що задаються перемикачем SA4 ($R_{н1} = 2,2$ кОм і $R_{н2} = 12$ кОм).

До входу каскаду (клеми X1 і „⊥”) підімкнути цифровий вольтметр (вхід „~ 300 V”, межу вимірювання встановити орієнтовно „~ 1 V”), а до виходу, (клеми X2 і “⊥”) – мультиметр (межа вимірювання „~ 20 V”).

Обертаючи ручку резистора R за годинниковою стрілкою з крайнього лівого положення, задавати необхідні значення вхідної напруги $U_{вх}$ за цифровим вольтметром і фіксувати відповідні значення вихідної напруги $U_{вих}$ за мультиметром.

Виміри провести для двох значень опору навантаження:

- 1) $R_{н1} = R_8 = 2,2$ кОм (перемикач SA4 – у ненависнутому положенні);
- 2) $R_{н2} = R_{10} = 12$ кОм (перемикач SA4 – у натиснутому положенні).

Результати вимірів занести у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 - Результати вимірів амплітудної характеристики для підсилюючого каскаду з СЕ

$U_{вх}, V$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	$R_n, кОм$
$U_{вих}, V$							2,2
							12

4.5.1.3. Зібрати схему підсилюючого каскаду з СК (емітерний повторювач), установивши перемикач SA2 у натиснуте положення.

Підключити осцилограф аналогічно пп. 4.5.1.1 і переконатися у працездатності каскаду: синусоїдний сигнал на виході за амплітудою майже такий як і вхідний (дещо менший), відсутня інверсія (вихідна напруга синфазна вхідній) за будь-яких положень ручки резистора R .

Зарисувати осцилограми вхідного і вихідного сигналів каскаду для середнього положення ручки резистора R .

4.5.1.4. Зняти амплітудну характеристику $U_{вих} = f(U_{вх})$ каскаду з СК за методикою, викладеною в пп. 4.5.1.2. Результати вимірів занести у таблицю, аналогічну табл. 1.5.

4.5.2. Для дослідження підсилюючих каскадів на польовому транзисторі перемикач *SA1* встановити у натиснуте положення.

4.5.2.1. Зібрати схему підсилюючого каскаду з СВ, встановивши перемикач *SA3* у ненатиснуте положення.

4.5.2.2. Зняти амплітудну характеристику $U_{вих} = f(U_{вх})$ каскаду з СВ для двох значень опору навантаження ($R_{н1} = 10$ кОм і $R_{н2} = 100$ кОм).

Методика вимірів аналогічна наведеній у пп. 4.5.1.2, тільки вихідною клемою, до якої підмикається мультиметр, є ХЗ, а завдання значення опору навантаження виконується перемикачем *SA5*:

- 1) $R_{н1} = R_9 = 10$ кОм (*SA5* у ненатиснутому положенні);
- 2) $R_{н2} = R_{11} = 100$ кОм (*SA5* у натиснутому положенні).

Результати вимірів занести у табл. 1.6.

Таблиця 1.6 - Результати вимірів амплітудної характеристики для підсилюючого каскаду з СВ

$U_{вх}, В$	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	$R_{н}, кОм$
$U_{вих}, В$								10
								100

4.5.2.3. Зібрати схему підсилюючого каскаду з СС, встановивши перемикач *SA3* у натиснуте положення.

4.5.2.4. Зняти амплітудну характеристику $U_{вих} = f(U_{вх})$ каскаду з СС за методикою, викладеною в пп. 4.5.2.2.

Результати вимірів занести у таблицю, аналогічну табл. 1.6.

4.6. Вимкнути прилади і живлення стенда лабораторного.

Навести порядок на робочому місці.

4.7. ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

4.7.1. За даними табл. 1.1 побудувати сім'ю вхідних ВАХ біполярного транзистора. Зробити висновок про вплив значення колекторної напруги U_{KE} на положення вхідної характеристики.

4.7.2. За даними табл. 1.2 побудувати сім'ю вихідних ВАХ біполярного транзистора, зробити висновок про вплив значення струму бази I_B на положення вихідної характеристики.

4.7.3. За даними табл. 1.3 побудувати сім'ю стік-затворних ВАХ польового транзистора. Зробити висновок про вплив значення напруги U_{CB} на положення стік-затворної характеристики.

4.7.4. За даними табл. 1.4 побудувати сім'ю стокових (вихідних) ВАХ польового транзистора. Зробити висновок про вплив значення напруги на затворі U_{3B} на положення стокової характеристики. Порівняти вид стокових характеристик польового транзистора і вихідних характеристик біполярного транзистора.

4.7.5. За вихідними характеристиками біполярного транзистора визначити його коефіцієнт підсилення струму

$$\beta = \frac{I_K}{I_B}.$$

4.7.6. За стік-затворними характеристиками польового транзистора визначити крутизну характеристики керування

$$S = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{3B}} \right|_{U_{CB} = const} \quad \text{при } U_{CB} = 5 \text{ В},$$

а за стоковими характеристиками – внутрішній опір транзистора

$$R_i = \left. \frac{\Delta U_{CB}}{\Delta I_C} \right|_{U_{3B} = const} \quad \text{при } U_{3B} = -0,5 \text{ В}.$$

4.7.7. За осцилограмами, знятими при виконанні завдання пп. 4.5.1.1, зробити висновок про правильність завдання режиму спокою підсилюючого каскаду, що працює у режимі класу А.

4.7.8. За даними пп. 4.5.1.2 (табл. 1.5), пп. 4.5.1.4, пп. 4.5.2.2 (табл. 1.6) та пп. 4.5.2.4 побудувати амплітудні характеристики підсилюючих каскадів і зробити висновок про вплив значення опору навантаження на положення характеристик для каскаду з СЕ (СВ) і каскаду з СК (СС).

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

5.1. Будова і принцип дії біполярних транзисторів

Біполярний транзистор являє собою електронний напівпровідниковий прилад, що має два взаємодіючих електронно-діркових переходи і складається з трьох областей: емітера, бази і колектора. $p-n$ перехід, що утворюється на межі областей емітер-база, називається емітерним, а на

межі база-колектор – колекторним. Провідність бази може бути як електронною (n -типу), так і дірковою (p -типу). Відповідно розрізняють транзистори $p-n-p$ та $n-p-n$ типу.

На рис. 1.5 схематично наведено будову і умовні графічні позначення транзисторів $n-p-n$ та $p-n-p$ типу.

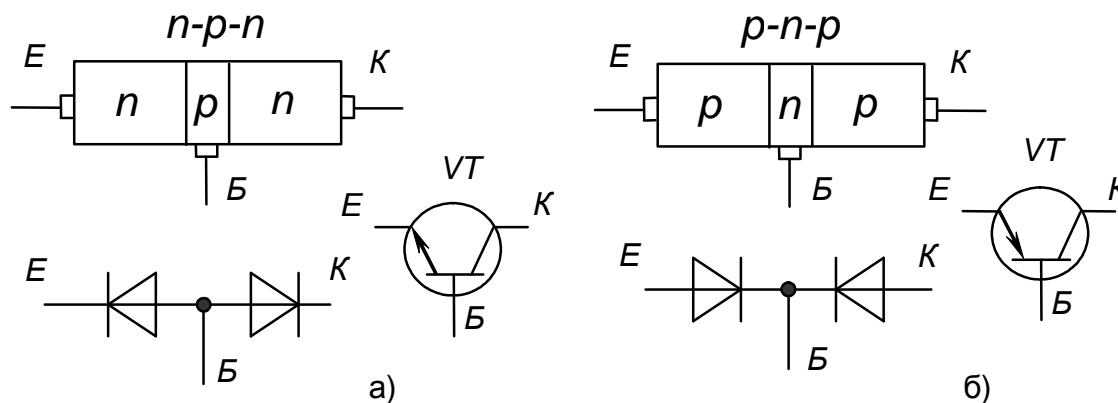


Рис. 1.5 - Будова і умовні позначення транзисторів $n-p-n$ (а) та $p-n-p$ (б) типів

Для забезпечення ефективного впливу емітерного переходу на колекторний, а отже забезпечення підсилюючих властивостей транзистора, необхідне виконання наступних основних вимог (реалізуються технологічно при виробництві):

- 1) база повинна бути багато тоншою за довжину дифузійного пробігу інжектованих до неї з емітера носіїв електричного заряду;
- 2) концентрація основних носіїв у базі повинна бути значно меншою за концентрацію основних носіїв в емітері, а концентрація основних носіїв у колекторі повинна бути багато меншою, ніж в емітері;
- 3) площа колекторного переходу повинна бути у декілька разів більшою за площу емітерного переходу.

Принцип дії транзисторів обох типів однаковий. Розходження полягає лише у тому, що в транзисторі $p-n-p$ типу основний струм, що тече через структуру, створюється дірками, інжектованими з емітера, а у транзисторі $n-p-n$ типу – електронами (напрямок протікання струму через транзистор вказує стрілка на його умовному позначенні).

Розглянемо принцип дії біполярного транзистора на прикладі транзистора структури $n-p-n$ типу.

Якщо до приладу не прикладена зовнішня напруга, через обидва $p-n$ переходи протікають струми дифузії і дрейфу, як і в звичайному діоді.

Оскільки вони врівноважують один одного, сумарний струм через кожен $p-n$ перехід, а значить і через весь прилад дорівнює нулю.

Підмикання джерела E_K , як показано на рис. 1.6, а, зміщує колекторний перехід у зворотному напрямку і, у результаті, через нього протікає невеликий струм, зумовлений дрейфом через перехід неосновних носіїв, що виникають з-за термогенерації (у даному разі, електронів) – струм I_{K0} .

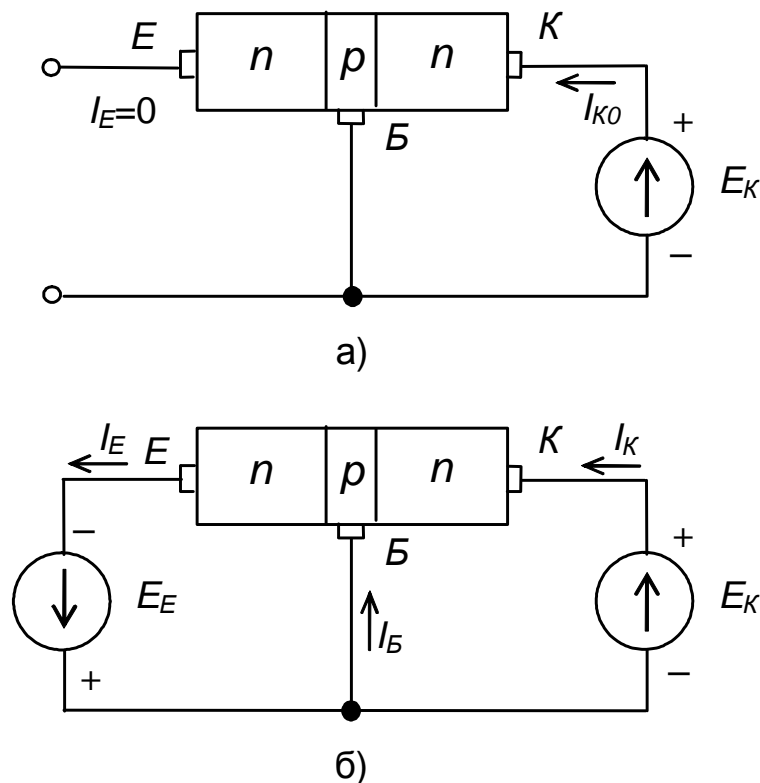


Рис. 1.6 - Спрощена схема вмикання транзистора

Якщо підімкнути до транзистора також джерело E_E (між базою і емітером), як показано на рис. 1.6, б, емітерний перехід зміщується у прямому напрямку, і через нього до бази з емітера інжектуються велика кількість носіїв (електронів) – струм I_E .

Через те, що у базі основних носіїв (дірок) набагато менше, ніж у емітері (електронів) і товщина бази незначна, тільки невелика частина електронів, що надходять з емітера в базу, буде встигати рекомбінувати з дірками і створювати струм бази I_B . Електрони, що залишилися, починають дифундувати у базі за всіма напрямками, у тому числі і до колекторного переходу. Потрапляючи в область колектора, вони підпадають під дію поля джерела E_K і спрямовуються до його позитивного електроду (вони тут є потоком основних носіїв заряду), створюючи струм колектора I_K .

Оскільки виходить, що струм бази (керуючого електрода) набагато менший струму колектора (струму силового кола), транзистор має підсилюючі властивості.

Струми електродів транзистора зв'язані співвідношенням:

$$I_E = I_B + I_K, \quad (1.1)$$

де I_E – струм емітера;

I_B – струм бази;

I_K – струм колектора.

Відношення струму колектора до струму емітера називається коефіцієнтом передачі струму емітера

$$\alpha = \frac{I_K}{I_E}. \quad (1.2)$$

Відношення колекторного струму до базового називається коефіцієнтом підсилення струму

$$\beta = \frac{I_K}{I_B} = \frac{I_K}{I_E - I_K} = \frac{\alpha}{1 - \alpha}. \quad (1.3)$$

У сучасних транзисторів α знаходиться у межах від 0,9 до 0,99, а β – від 10 до 100 і більше.

Зв'язок струмів електродів біполярного транзистора і прикладених між його електродами напругами виражається статичними вольт-амперними характеристиками (ВАХ): вхідними і вихідними. Вид цих характеристик залежить від схеми вмикання транзистора.

Залежно від того, який з електродів транзистора є спільною точкою за змінним струмом для вхідного і вихідного кіл, можливі три способи вмикання: зі спільною базою (з СБ) – рис. 1.7, а; зі спільним емітером (з СЕ) – рис. 1.7, б; зі спільним колектором (з СК) – рис. 1.7, в.

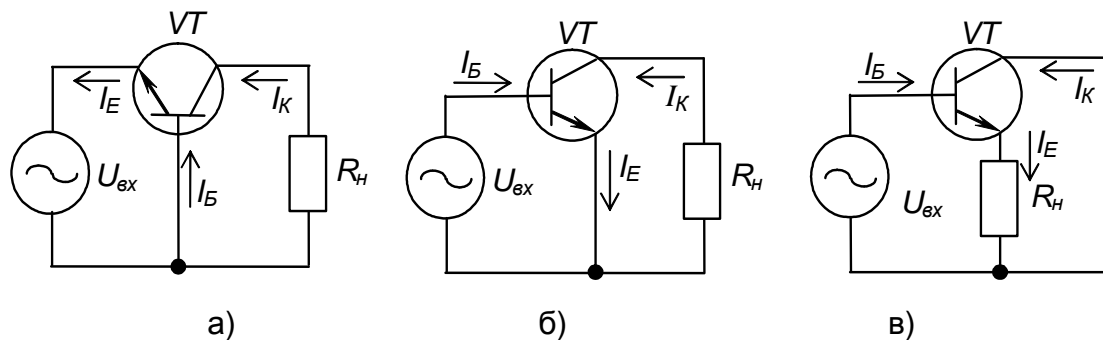


Рис. 1.7 - Схеми вмикання транзистора: а) з СБ; б) з СЕ; в) з СК

Найбільше поширення у підсилюючих каскадах та імпульсних пристроях одержала схема з СЕ як така, що дає найбільше підсилення за потужністю, забезпечуючи підсилення і за напругою, і за струмом.

Вхідні і вихідні ВАХ транзистора, увімкненого за схемою з СЕ, наведені на рис. 1.8.

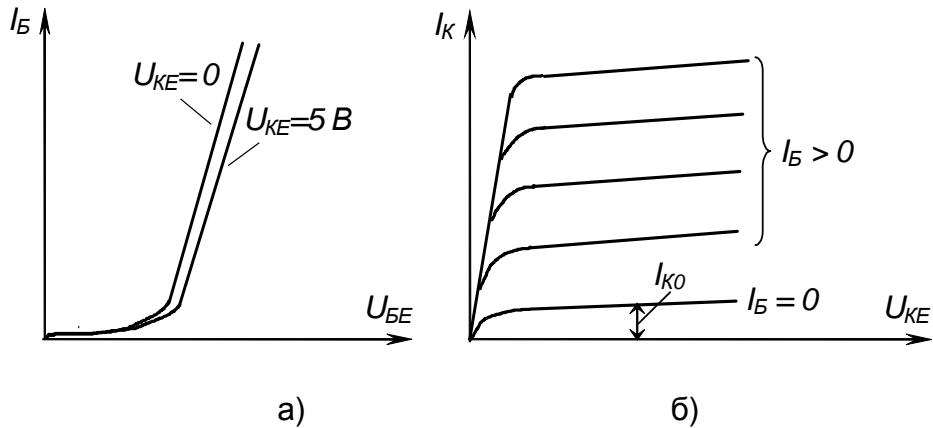


Рис. 1.8 – ВАХ транзистора, увімкненого за схемою з СЕ: а) вхідні; б) вихідні

Вхідні характеристики показують зв'язок між струмом бази I_B і напругою, прикладеною між емітером і базою U_{BE} .

Вхідна характеристика (рис. 1.8, а) при $U_{CE} = 0$ подібна до прямої гілки ВАХ діода. При $U_{CE} > 0$ вхідні характеристики дещо зміщуються вправо. Зменшення струму бази при цьому пояснюється зменшенням рекомбінацій у базі при її звуженні за рахунок розширення запираючого шару (зворотно зміщеного колекторного $p-n$ переходу).

Вихідні статичні характеристики (рис. 1.8, б) показують зв'язок між струмом колектора I_K та напругою між колектором і емітером U_{CE} залежно від значення струму бази I_B . При $I_B = 0$ маємо ВАХ зворотно зміщеного колекторного $p-n$ переходу. Зі збільшенням I_B струм колектора збільшується. При цьому його значення залежить від значення I_B і (десь при $U_{CE} > 1$ В) майже не залежить від значення U_{CE} , бо визначається тільки кількістю носіїв, що після інжекції із емітера в базу дифундували із бази в колектор.

На рис. 1.9, а показано лінію навантаження за постійним струмом (динамічну характеристику) і зони, що відповідають трьом характерним режимам роботи транзистора. Рівняння лінії навантаження має вигляд:

$$U_{KE} = E_K - I_K R_K,$$

де E_K – напруга живлення;

R_K – навантаження транзистора за постійним струмом.

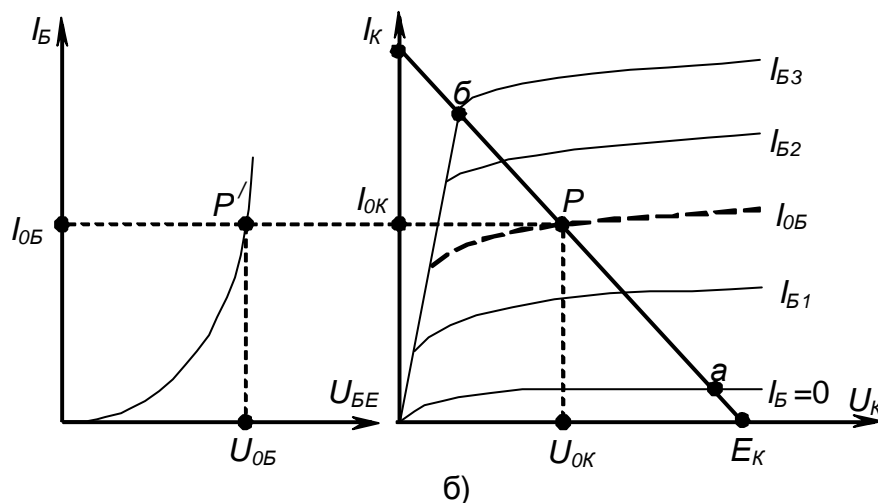
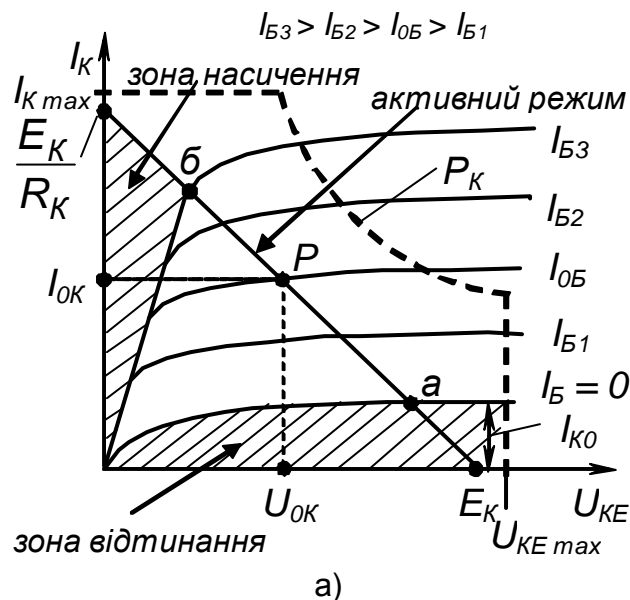


Рис. 1.9 – Побудова динамічної характеристики транзистора за постійним струмом і режими роботи транзистора

Лінія навантаження за постійним струмом проводиться через точки:

E_K , що відповідає $I_K = 0$ (режиму холостого ходу);

$I_K = E_K / R_K$, що відповідає $U_{KE} = 0$ (режиму короткого замикання).

Точка *a* відповідає режиму відтинання транзистора, при якому струм у колі навантаження дуже малий, внаслідок чого майже вся напруга джерела живлення прикладається до транзистора.

Точка *б* відповідає режиму насичення транзистора. У цьому режимі на транзисторі падає незначна напруга (до 0,1 - 0,3 В), що практично не залежить від зміни керуючого струму бази. Відповідно напруга і струм у колі навантаження залишаються незмінними.

Проміжок між точками *a* і *б* відповідає активному режиму.

Режими насичення і відтинання використовуються в ключових (імпульсних) схемах, а активний режим – у лінійних підсилювачах.

Так для підсилюючого каскаду, що працює у режимі класу А, перетин лінії навантаження з характеристикою, яка відповідає струмові бази I_{0B} (робоча точка P), визначає струм спокою I_{0K} . Цей струм протікає у колі колектора за відсутності сигналу змінної напруги у входньому колі і відповідає напрузі спокою за постійним струмом U_{0K} . Забезпечується режим спокою поданням у входнє коло транзистора напруги зміщення U_{0B} з-за чого протікає струм спокою бази I_{0B} , як це показано на рис. 1.9, б.

5.2. Підсилюючі каскади на біполярних транзисторах

Електронним підсилювачем називається пристрій, призначений для підсилення потужності електричних сигналів без спотворення їхньої форми і частоти (для лінійного підсилювача).

Необхідність у підсилювачі виникає тоді, коли потужність джерела сигналу менша від потужності навантаження. У такому разі послідовно з навантаженням вмикають зовнішнє потужне джерело живлення і підсилюючий елемент. Джерело сигналу діє не безпосередньо на навантаження, а на вхід підсилюючого елемента і, змінюючи провідність останнього, забезпечує пропорційні входньому сигналу зміни струму у колі навантаження. У результаті в навантаженні виділяється необхідна потужність за рахунок енергії джерела живлення.

Таким чином, у самому загальному вигляді, для підсилення необхідна схема, наведена на рис. 1.10.

Вона складається з навантаження R_n , джерела живлення $E_{дж}$ та деякого гіпотетичного підсилюючого елемента $ПЕ$.

Малопотужна входна дія ($Vx. дія$) змінює параметри $ПЕ$ так, що пропорційно їй змінюється потужність, яка виділяється в R_n за рахунок $E_{дж}$.

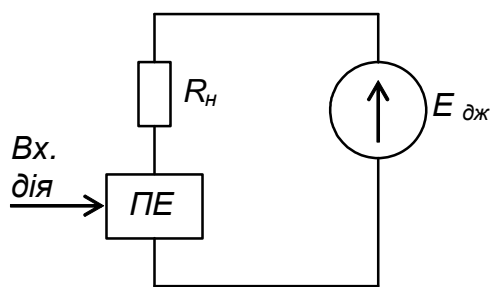


Рис. 1.10 – Узагальнена схема підсилення

Найпростіший вузол, що забезпечує підсилення електричних сигналів, називається підсилюючим каскадом.

Схема одиночного транзисторного підсилюючого каскаду зі спільним емітером (схема з СЕ), що забезпечує підсилення сигналів напруги змінного струму як за напругою, так і за струмом, наведена на рис. 1.11.

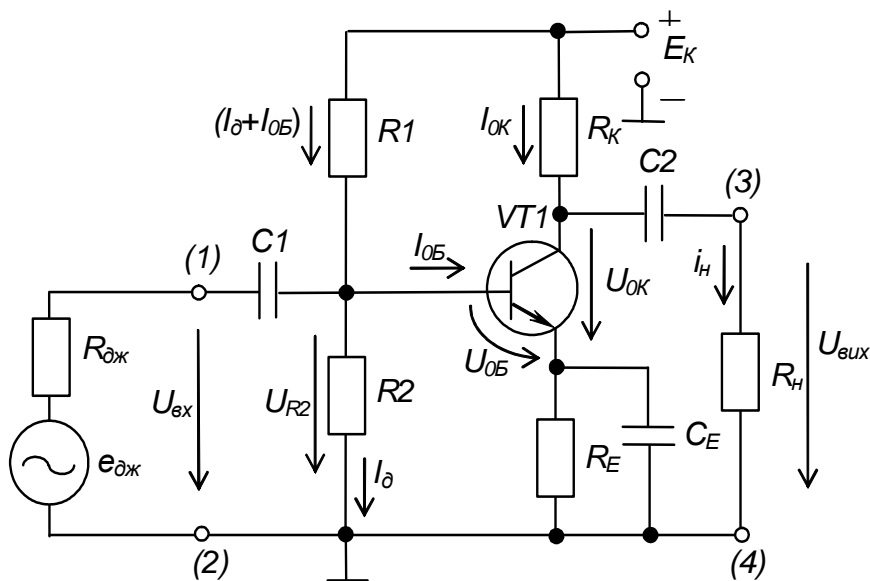


Рис. 1.11 - Підсилюючий каскад на біполярному транзисторі з СЕ

Силowe коло каскаду складають джерело живлення E_K , резистор колекторного навантаження R_K і підсилюючий елемент – транзистор $VT1$.

Джерело підсилюваного сигналу підмикається до вхідного кола каскаду через конденсатор C_1 – точки (1) і (2).

Навантаження каскаду у даному випадку таке, що вимагає обов'язкового під'єднання одного з виводів до нульової точки (найчастіше таким навантаженням є наступний підсилюючий каскад). Тому воно підімкнене до виходу каскаду через конденсатор C_2 – точки (3) і (4).

Конденсатори розділяють кола за постійним струмом (постійний струм через конденсатор не протікає) і зв'язують їх за змінним. Вони виключають вплив постійної складової напруги джерела сигналу (якщо вона є) на вхідні кола каскаду і навпаки – напруги постійного струму вхідних кіл каскаду на джерело вхідного сигналу (C_1), а також вплив постійної складової вихідної напруги на навантаження (C_2).

Напруга на базі транзистора у режимі спокою (за відсутності вхідного сигналу змінної напруги) U_{0B} визначається дільником напруги R_1 , R_2 і резистором R_E . Вона забезпечує струм бази I_{0B} і відповідно струм колектора I_{0K} – режим за постійним струмом.

Для забезпечення температурної стабілізації режиму спокою каскаду у коло емітера включають резистор R_E . Він забезпечує негативний зворотний зв'язок за струмом дія якого полягає у наступному.

Оскільки напруга спокою бази

$$U_{0B} = U_{R2} - I_{0E}R_E, \quad (1.4)$$

де U_{R2} – напруга на резисторі R_2 ;

а струм спокою емітера

$$I_{0E} = I_{0K} + I_{0B},$$

то, наприклад, при збільшенні $I_{0E} \approx \beta I_{0B}$, за рахунок зростання коефіцієнта підсилення струму транзистора β під впливом зміни температури навколишнього середовища, збільшується I_{0E} . А значить збільшується і падіння напруги на R_E . За (1.4) це призводить до зменшення U_{0B} , що зменшує значення базового струму I_{0B} . У результаті цього I_{0K} наближається до попереднього значення.

Для усунення такого ж ефекту за змінним струмом (для виключення негативного зворотного зв'язку за підсилюваним сигналом) R_E за змінним струмом зашунтовано конденсатором C_E . Опір цього конденсатора на найнижчій частоті підсилюваного сигналу повинен бути набагато меншим за опір резистора R_E .

У режимі спокою струми бази і колектора постійні. Напруга спокою на колекторі транзистора

$$U_{0K} = E_K - I_{0K}(R_K + R_E). \quad (1.5)$$

При подачі вхідної змінної напруги на постійну складову струму I_{0B} накладається змінна складова, і струм бази стає пульсуючим. Відповідно пульсуючими стають струм колектора з амплітудою пульсацій I_{Km} і колекторна напруга з амплітудою U_{Km} , як показано на графіку рис. 1.12.

Змінна складова колекторної напруги через конденсатор C_2 передається на навантаження. Опір конденсатора C_2 на найнижчій частоті підсилюваного сигналу повинен бути набагато меншим за опори резистора R_K і навантаження R_n .

Оскільки вихідний опір каскаду практично дорівнює опорі резистора R_K , то зміни опорі навантаження R_n суттєво впливають на діюче значення вихідної напруги.

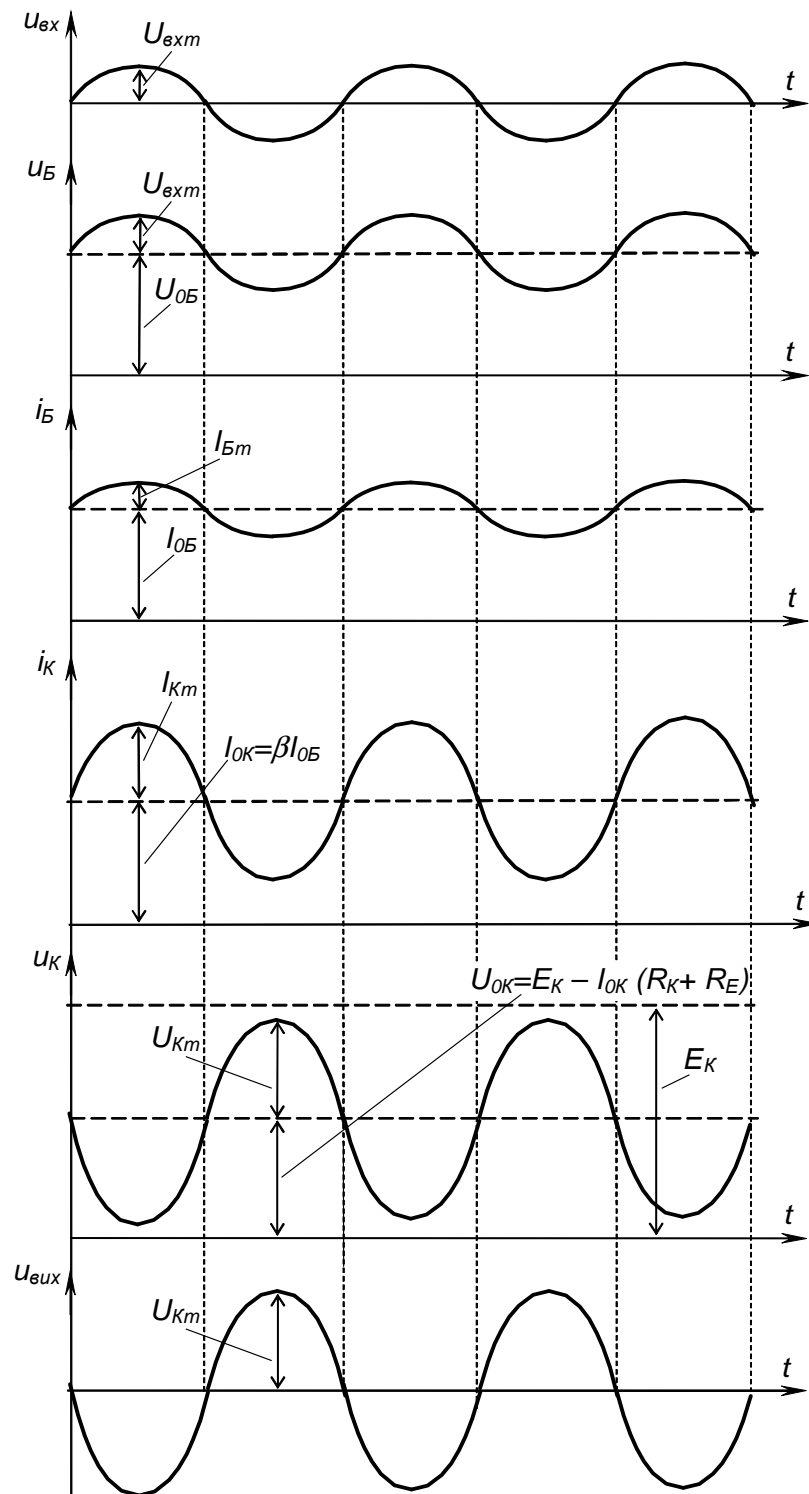


Рис. 1.12 - Часові діаграми роботи каскаду підсилення з СЕ

З графіка також видно, що, наприклад, зі збільшенням миттєвих значень струму колектора миттєві значення напруги на колекторі зменшуються. При цьому зміни струму колектора пропорційні змінам вхідної напруги, а фаза напруги на колекторі зміщена відносно фази вхідної напруги на 180° – кажуть, що підсилюючий каскад з СЕ інвертує вхідний сигнал.

Схема транзисторного одиночного підсилюючого каскаду зі спільним колектором (схема з СК), що забезпечує підсилення сигналів напруги змінного струму тільки за струмом, зображена на рис. 1.13.

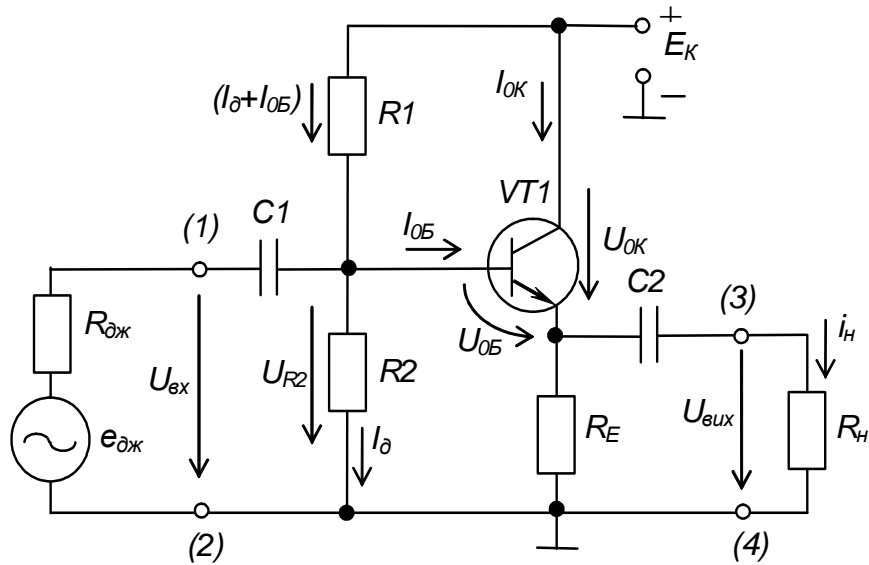


Рис. 1.13 – Підсилюючий каскад на біполярному транзисторі з СК (емітерний повторювач)

Призначення елементів R_1 , R_2 та C_1 і C_2 те ж саме, що і у схемі каскаду з СЕ. Опір R_E є навантаженням за постійним струмом і визначає положення динамічної характеристики каскаду.

Каскад з СК можна розглядати як каскад з СЕ при $R_K = 0$ і опором у колі емітера, не зашунтованим конденсатором C_E . У результаті в схемі діє стопроцентний послідовний негативний зворотний зв'язок за струмом, що знижує коефіцієнт підсилення за напругою до одиниці (реально він становить навіть менше одиниці) і водночас збільшує вхідний опір та зменшує вихідний.

Цей каскад не інвертує вхідний сигнал, бо зі збільшенням миттєвих значень струму колектора миттєві значення напруги на навантаженні, ввімкненому у коло емітера, також збільшуються. При цьому зміни струму колектора пропорційні змінам вхідної напруги, а фази вхідного і вихідного сигналів співпадають.

Через відсутність підсилення і інверсії цей каскад ще називають емітерним повторювачем напруги.

Вхідний опір каскаду з СК значно більший, ніж у схемі з СЕ, і приблизно може бути визначений за формулою

$$R_{ex} \approx (R_1 \parallel R_2) \parallel (R_E \parallel R_H) \cdot (1 + \beta). \quad (1.6)$$

Вихідний опір каскаду з СК становить

$$R_{вих} \approx R_E \parallel r_E, \quad (1.7)$$

де r_E – диференційний опір емітерного переходу, що для біполярних транзисторів складає від одиниць до десятків ом.

Вказані властивості каскаду з СК дозволяють використовувати його у тих випадках, коли необхідно узгодити джерело сигналу, що має великий внутрішній опір, з низькоомним навантаженням. При цьому забезпечується також підсилення сигналу за потужністю за рахунок підсилення каскадом з СК струму.

5.3. Будова і принцип дії польових транзисторів

Польовим називається транзистор, керований електричною напругою – полем (на відміну від біполярних транзисторів, у яких процес керування обов'язково супроводжується протіканням струму у колі керуючого електрода – бази). Розрізняють польові транзистори з керуючим $p-n$ переходом і з ізолюваним затвором.

На рис. 1.14, а наведено конструкцію польового транзистора з керуючим $p-n$ переходом.

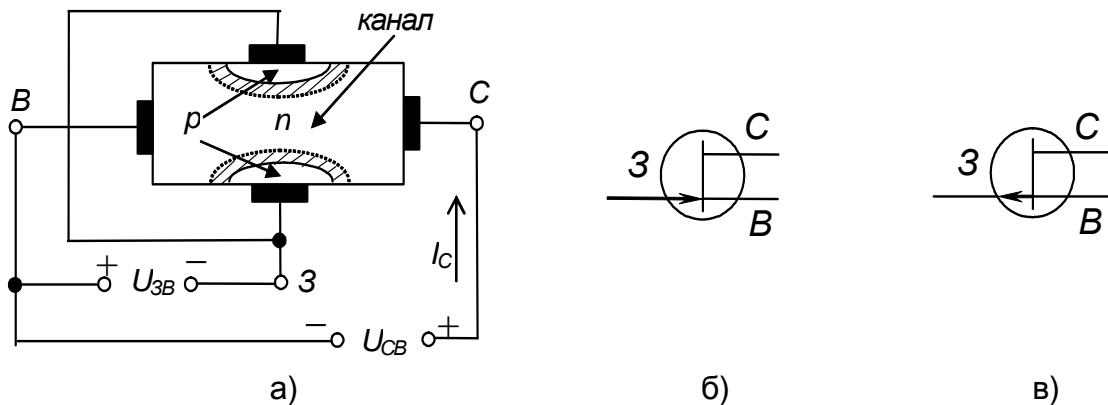


Рис. 1.14 – Структура та умовне позначення ПТ з керуючим $p-n$ переходом з каналом n -типу (а і б) та умовне позначення ПТ з каналом p -типу (в)

Цей транзистор являє собою напівпровідникову пластинку з провідністю, наприклад, n -типу, на верхній і нижній гранях якої створюються шари з провідністю p -типу. Ці шари електрично з'єднують між собою, утворюючи єдиний електрод, що називається затвором (З).

Шар з провідністю n -типу, що розташований між шарами з провідністю p -типу, називається каналом.

Електрична ізоляція між каналом і затвором здійснюється за допомогою $p-n$ переходів, що утворюються на межі напівпровідників з різною провідністю (використовується та властивість зони $p-n$ переходу, що її опір безкінечний з-за відсутності у ній вільних носіїв заряду).

На торці напівпровідникової пластинки (каналу) наносять омичні контакти, що утворюють два інших електроди, до яких підмикається джерело живлення і навантаження. Контакт, до якого підмикається негативний полюс джерела, називається виток (В), а контакт, до якого підмикається позитивний полюс, стоком (С).

Основні носії заряду (у даному випадку електрони) рухаються від витку до стоку (тече струм) через канал, поперечний переріз якого регулюється негативною відносно витку напругою на затворі $U_{зв}$, що зміщує $p-n$ переходи у зворотному напрямку (розширюючи зони непровідності). Звуження каналу веде до збільшення його опору і зменшення значення струму, що тече через канал.

За напруги між стоком і витком $U_{св} = 0$ стінки каналу є екіпотенціальними поверхнями. При деякому $U_{зв} = U_{зв0}$, названому напругою відтинання, $p-n$ переходи змикаються за всією довжиною каналу. У результаті стік і витік виявляються ізольованими один від одного. Значення напруги відтинання залежить від концентрації домішок у каналі і його розмірів.

У робочому режимі ($U_{св} > 0$) поверхні каналу не є екіпотенціальними, бо струм, що протікає через канал, створює падіння напруги, яка змінює ступінь зворотного зміщення $p-n$ переходів за довжиною каналу. Біля витку напруга зсуву $p-n$ переходів дорівнює $U_{зв}$, а біля стоку ($U_{зв} + U_{св}$).

Отже, перетин каналу буде змінним (зменшується від витку до стоку). Опір каналу при цьому носить нелінійний характер, тому і залежність $I_C = f(U_{св})$ також буде нелінійною. З підвищенням $U_{св}$ напруга на $p-n$ переходах досягає значення напруги відтинання $U_{зв0} = (U_{зв} + U_{св})$ і вони поблизу стоку майже змикаються. При цьому диференціальний опір каналу різко зростає і подальше збільшення напруги $U_{св}$ не призводить до збільшення струму I_C (точка **a** на рис. 1.15). Тобто відбудеться насичення струму стоку (завдяки дії внутрішньої системи автоматичного регулювання з негативним зворотним зв'язком).

Напруга $U_{CBH} = (U_{зв0} - U_{зв})$ називається напругою насичення. Її значення зі зменшенням напруги $U_{зв}$ зростає, як видно з стокових (вихідних) ВАХ транзистора, наведених на рис. 1.15.

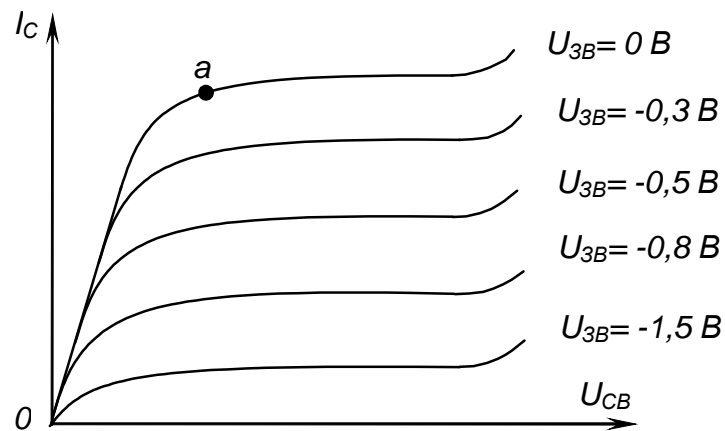


Рис. 1.15 - Стокові ВАХ ПТ з керуючим p - n переходом і каналом n -типу

Змінюючи напругу на затворі $U_{зв}$ за фіксованої напруги U_{CB} , також можна керувати шириною каналу, а отже, значенням струму I_C , що видно зі стік-затворних ВАХ транзистора $I_C = f(U_{зв})$, наведених на рис. 1.16.

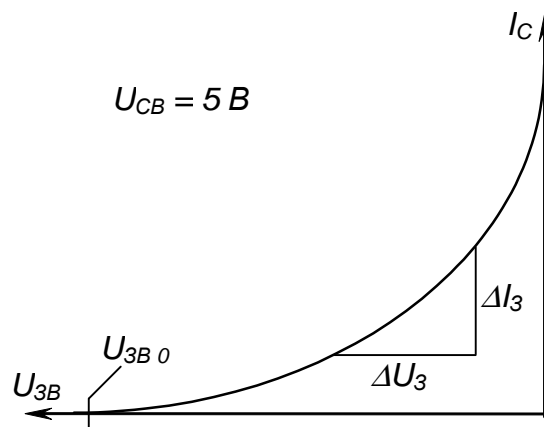


Рис. 1.16 – Стік-затворна ВАХ ПТ з керуючим p - n переходом і каналом n -типу

Більш широке застосування, особливо у складі ІМС, знаходять польові транзистори з ізолюваним затвором, виконані за структурою метал-діелектрик (окисел)-напівпровідник – МДН (МОН)-транзистори.

Конструкція МОН-транзистора з індукованим каналом n -типу показана на рис. 1.17 а, а умовне зображення – на рис. 1.17, б, в.

При негативній чи рівній нулю напрузі $U_{зв}$ струм стоку I_C дорівнює нулю, бо обидва p - n переходи транзистора ввімкнені зустрічно.

За позитивної напруги U_{3B} поверхня шару p -типу на межі напівпровідника і діелектрика збагачується електронами, що притягаються до позитивного електроду з глибини пластинки (знаходяться там за рахунок теплової генерації пар носіїв заряду). Виникає явище інверсії напівпровідника – тонкий шар n -типу утворюється на поверхні напівпровідника p -типу.

Таким чином обидві зони n -типу (витік і стік) виявляються електрично з'єднаними – утворюється наведений полем (індукований) канал, що має підвищену провідність і через який протікає струм.

Важливим параметрами польових транзисторів є крутизна стокової характеристики S і опір стоку r_C , що визначаються за ВАХ:

$$S = \left. \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{3B}} \right|_{U_C = const} ; \quad (1.8)$$

$$r_C = \left. \frac{\Delta U_{CB}}{\Delta I_C} \right|_{U_{3B} = const} . \quad (1.9)$$

Польові транзистори знаходять широке застосування в пристроях промислової електроніки, що зумовлено їхніми високими вхідними опорами (до $10^{14} - 10^{17}$ Ом), малим рівнем шумів та ін.

5.4. Підсилюючі каскади на польових транзисторах

Принципи побудови підсилюючих каскадів на польових транзисторах ті самі, що і каскадів на біполярних транзисторах. Особливість полягає у тім, що польовий транзистор керується напругою, а не струмом. З цієї причини завдання режиму спокою в каскадах на польових транзисторах здійснюється подачею у вхідне коло каскаду постійної напруги відповідного значення і полярності.

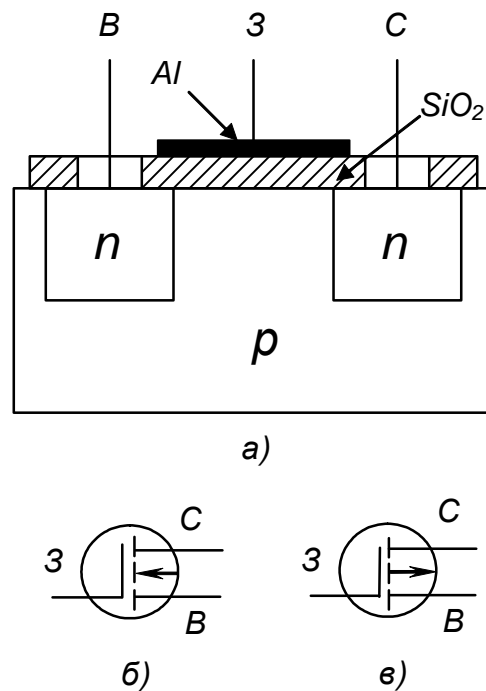


Рис. 1.17 – Конструкція МОН-транзистора з індукованим каналом n -типу (а) і умовні позначення таких транзисторів з каналами n -типу (б) та p -типу (в)

Польові транзистори так само, як і біполярні, мають три схеми вмикання. Відповідно до назв спільних електродів розрізняють каскади зі спільним стоком (СС), спільним витоком (СВ) та спільним затвором (СЗ).

Підсилюючий каскад з СВ на польовому транзисторі з керуючим $p-n$ переходом і каналом n -типу зображений на рис. 1.18.

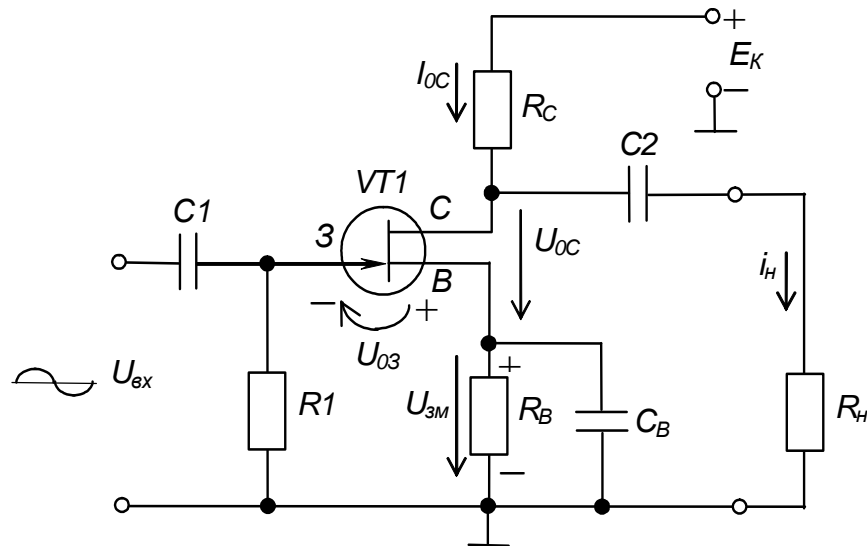


Рис. 1.18 – Підсилюючий каскад з СВ на польовому транзисторі з керуючим $p-n$ переходом і каналом n -типу

Елементи R_1 , R_C , R_B задають режим спокою каскаду.

Зверніть увагу: оскільки польові транзистори з керуючим $p-n$ переходом за відсутності сигналу керування максимально відкриті, то зміщення транзистора забезпечується резистором R_B (необхідне значення напруги U_{03B} дорівнює U_{3M}) – автоматичне зміщення. Резистор R_1 призначений для з'єднання затвору транзистора з нижнім виводом R_B і запобігання при цьому закортювання кола керування транзистора (з'єднання його затвору з нульовою точкою схеми). Опір резистора R_1 вибирають якомога більшим, щоб забезпечити великий вхідний опір каскаду.

Резистор R_B також створює негативний зворотний зв'язок за постійним струмом, що слугує для стабілізації режиму спокою каскаду при зміні температури і розкіді параметрів транзистора. Конденсатор C_B призначений для виключення негативного зворотного зв'язку за змінним струмом (за підсилюваним сигналом).

Розділяючий конденсатор C_1 забезпечує зв'язок каскаду з джерелом вхідного сигналу напруги змінного струму. Навантаження підмикається через розділяючий конденсатор C_2 до стоку транзистора.

Каскад з СВ, так само як і каскад з СЕ на біполярному транзисторі, здійснює зсув фази підсилюваного сигналу на 180° (інвертує вхідний сигнал).

Схема підсилюючого каскаду з СС (витокового повторювача) зображена на рис. 1.19.

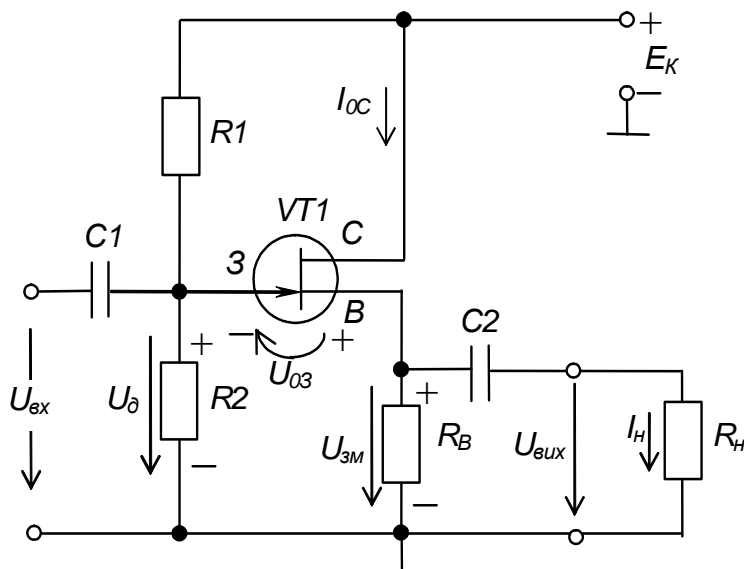


Рис. 1.19 - Підсилюючий каскад з СС на польовому транзисторі з керуючим $p-n$ переходом і каналом n -типу

Будова каскадів на польових транзисторах з ізольованим затвором аналогічна будові каскадів на біполярних транзисторах.

Контрольні запитання

- 1) Пояснить принцип роботи біполярного транзистора. Нарисуйте умовні позначення біполярних транзисторів різного типу.
- 2) Пояснить принцип дії польового транзистора з керуючим $p-n$ переходом.
- 3) Пояснить принцип дії польового транзистора з ізольованим затвором.
- 4) За заданими викладачем значеннями E_K і R_K на сім'ї вихідних характеристик біполярного транзистора побудуйте лінію навантаження за постійним струмом і вкажіть режими роботи транзистора.
- 5) За динамічною характеристикою підсилюючого каскаду з СЕ пояснить режими його роботи.

6) Нарисуйте схему підсилюючого каскаду з СЕ та поясніть призначення елементів.

7) Нарисуйте схему підсилюючого каскаду з СК та поясніть призначення елементів.

8) Поясніть зміну фази вихідного сигналу відносно вхідного у каскаді з СЕ і відсутність такого ефекту у каскаді з СК.

9) Поясніть вплив опору навантаження на значення вихідної напруги каскадів з СЕ і з СК.

10) Поясніть ефект підсилення транзистора.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. - розділ 1. пп. 2.4, 2.5, розділ 3.

2. Колонтаєвський, Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум [Текст]: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) – розділ 1, пп. 2.4, 2.5, розділ 3.

3. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - с. 24-45, 109-124.

4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - с. 42-73, 89-112.

5. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - с. 20-33, 49-63, 71-76.

6. Красько А.С., Скачко К.Г. Промышленная электроника [Текст]: учебное пособие для теплоэнергетических спец. вузов / А.С. Красько, К.Г. Скачко – Минск: Высшая школа, 1984, 208 с. - с. 26-51, 108-116.

Лабораторна робота №2

ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКАСКАДНИХ ТРАНЗИСТОРНИХ І ІНТЕГРАЛЬНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ ЗМІННОГО СТРУМУ

1. МЕТА РОБОТИ

1) Вивчення параметрів і характеристик багатокаскадних підсилювачів змінного струму на біполярних транзисторах і інтегральних мікросхемах.

2) Дослідження впливу негативних зворотних зв'язків (НЗЗ) і ємності конденсаторів зв'язку на параметри і характеристики підсилювачів.

2. ОБЛАДНАННЯ

1) Стенд лабораторний № 2, 4.

2) Мультиметр ВР11.

3) Генератор сигналів ГЗ-34.

4) Осцилограф С1-93 (С1-83).

3. ЗМІСТ РОБОТИ

1) Дослідити властивості одиночного підсилюючого каскаду на біполярних транзисторах без НЗЗ і з НЗЗ за змінним струмом.

2) Дослідити властивості двокаскадного підсилювача на біполярних транзисторах без НЗЗ і з комбінованим НЗЗ за різних значень ємності конденсаторів зв'язку.

3) Дослідити властивості двокаскадного підсилювача на інтегральних мікросхемах (ІМС).

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Ознайомитись з робочим місцем, устаткуванням і приладами.

4.2. Ввімкнути вимірювальні прилади та живлення стенда лабораторного. Тумблер у середній частині лицьової панелі стенда (між мнемосхемами) встановити у ліве положення.

4.3. Дослідження властивостей

одиночного підсилюючого каскаду на біполярних транзисторах

4.3.1. Дослідження одиночного підсилюючого каскаду з СЕ у режимі класу А виконувати за допомогою схеми, зображеної на рис. 2.1 (верхня мнемосхема на лівій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

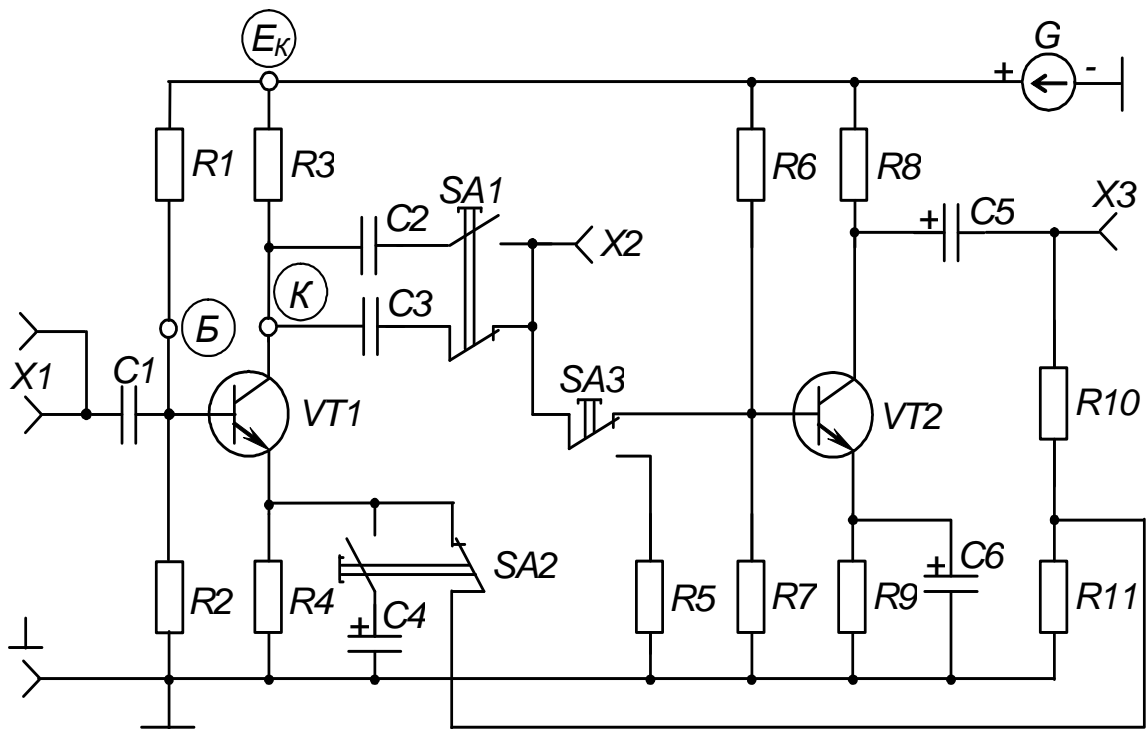


Рис. 2.1– Схема для дослідження підсилювачів на біполярних транзисторах

Задати частоту вхідного сигналу підсилювача рівною 1000 Гц, для чого:

- 1) підімкнути вихід генератора сигналів ГЗ-34 до входу підсилювача (до клем $X1$ і „ \perp ”);
- 2) перемикач $SA3$ встановити у натиснуте положення – до виходу першого каскаду підсилювача підімкнеться навантаження R_5 (світиться сигнальна лампа „ I ”);
- 3) перемикач $SA1$ встановити у ненатиснуте положення (світиться лампа „ $C3$ ”), а $SA2$ – у натиснуте (відключається НЗЗ);
- 4) встановити межу вимірювання мультиметра „ $V\sim$ ”, „ 2 ” і підімкнути його до виходу першого каскаду підсилювача (клеми $X2$ і „ \perp ”);
- 5) встановити на світній шкалі генератора сигналів межу „ 100 mV , 300 mV , 1V , 0 dB ”; перемикач „*Пределы шкал. Ослабление*” встановити у положення „ ATT .”; ручку „*Рег. выхода*” встановити у граничне ліве положення; перемикач масштабу частоти „ $\times 1$, $\times 10$, $\times 100$ ” встановити у положення „ $\times 10$ ”; на шкалі частоти ручкою плавного регулювання частоти генератора виставити значення „ 100 ”.

4.3.2. Зняти амплітудну характеристику $U_{вих} = f(U_{вх})$ однокаскадного підсилювача без НЗЗ, для чого, обертаючи за годинниковою стрілкою ручку генератора “Рег. вихода”, задавати необхідні значення вхідної напруги підсилювача за вольтметром генератора (переводячи в міру необхідності перемикач світної шкали генератора у наступні положення за годинниковою стрілкою) і фіксувати відповідні значення вихідної напруги підсилювача за мультиметром.

Результати вимірів занести у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 - Результати зняття даних для побудови амплітудної характеристики за $f_{вх} = 1000$ Гц

$U_{вх}, мВ$		10	20	40	60	80	100	150	200	250	300	350	400	Вид підсилювача
$U_{вих}, В$	без НЗЗ													Однокаскадний транзисторний
	з НЗЗ													
	без НЗЗ													*) Двокаскадний транзисторний
	з НЗЗ													
	-													***) Двокаскадний на ІМС

*) Заповнюється при виконанні пп. 4.4;

**) Заповнюється при виконанні пп. 4.5.

4.3.3. Зняти амплітудну характеристику однокаскадного підсилювача з НЗЗ за струмом, для чого перемикач SA2 встановити у ненатиснуте положення (світиться сигнальна лампа „ООС”).

Далі методика виконання та ж, що й у пп. 4.3.2.

4.3.4. Зняти осцилограми роботи одиночного підсилюючого каскаду за наявності вхідного сигналу і у режимі спокою (без вхідного сигналу).

4.3.4.1. Задати значення напруги вхідного сигналу підсилювача рівним 100 мВ (відповідно до методики, викладеної у пп. 4.3.2).

4.3.4.2. Підімкнути вимірювальний кабель першого каналу осцилографа до клем $X1$ і „ \perp ” та зарисувати осцилограму вхідної напруги каскаду $u_{вх}$.

4.3.4.3. Підімкнути вимірювальний кабель другого каналу осцилографа нульовим провідником до клем „ \perp ”. Сигнальний провідник підмикати по черзі до клем (B) , (K) та $X2$ і, керуючись даними рис. 1.12, зарисовувати осцилограми напруг на базі та колекторі транзистора $VТ1$ і на навантаженні каскаду за наявності вхідного сигналу: u_B , u_K та $u_{вих}$ відповідно, та за відсутності вхідного сигналу (для чого треба відімкнути генератор від клем $X1$): U_{OB} та U_{OK} . Також зарисувати осцилограму напруги на клемі (E_K) .

Збільшити значення вхідної напруги підсилювача до появи помітних викривлень форми вихідного сигналу. Зарисовувати осцилограми напруг на базі та колекторі транзистора $VТ1$ і на навантаженні каскаду: u_B , u_K та $u_{вих}$.

При виконанні дослідів органи керування осцилографа встановлювати у положення, що забезпечують спостереження стійкого, зручного для вимірів зображення.

4.4. Дослідження властивостей

двокаскадного підсилювача на біполярних транзисторах

4.4.1. Дослідження виконувати за методикою, викладеною у пп. 4.3.1, тільки перемикач $SA3$ необхідно встановити у ненависнуте положення (світиться сигнальна лампа „2”), а мультиметр підімкнути до виходу другого каскаду – клем $X3$ і „ \perp ”.

4.4.2. Зняти амплітудну характеристику двокаскадного підсилювача без НЗЗ за методикою пп. 4.3.2.

4.4.3. Зняти амплітудну характеристику двокаскадного підсилювача з комбінованою НЗЗ (за струмом і за напругою) за методикою пп. 4.3.3.

4.4.4. Зняти амплітудно-частотну характеристику (АЧХ) підсилювача $U_{вих} = f(U_{вх})$:

1) без НЗЗ ($SA2$ у натиснутому положенні) і при ємності конденсатора зв'язку $C_p = C_2 = 0,5$ мкФ ($SA1$ у натиснутому положенні);

2) без НЗЗ і при ємності $C_p = C_3 = 20$ мкФ (*SA1* у ненатиснутому положенні);

3) з НЗЗ (*SA2* у ненатиснутому положенні) і при $C_p = C_2 = 0,5$ мкФ (*SA1* у натиснутому положенні);

4) з НЗЗ і при $C_p = C_3 = 20$ мкФ (*SA1* у ненатиснутому положенні).

Значення напруги вхідного сигналу підсилювача Ручкою „*Рег. вихода*” генератора задати рівним 50 мВ (або 70, 100 – на вибір) згідно до методики, викладеної у пп. 4.3.1.

Необхідні значення частоти вхідного сигналу підсилювача задавати ручкою плавного регулювання частоти генератора за шкалою і за допомогою перемикача масштабу частоти „*x1, x10, x100*”.

Результати вимірів занести у табл. 2.2.

Таблиця 2.2 - Результати зняття даних для побудови АЧХ за $U_{ex} = \text{const}$

f_{ex} , Гц		50	100	200	500	10^3	2×10^3	5×10^3	10×10^3	15×10^3	20×10^3	Вид підсилювача
$U_{вих}$, В	без НЗЗ	C2*)										Двокаскадний транзисторний
		C3*)										
	з НЗЗ	C2										
		C3										
-	-										**)) Двокаскадний на ІМС	

*) $C_2 = 0,5$ мкФ; $C_3 = 20$ мкФ.

**)) Заповнюється при виконанні пп. 4.5

4.5. Дослідження двокаскадного підсилювача на ІМС

4.5.1. Дослідження властивостей підсилювача на ІМС робити за схемою, наведеною на рис. 2.2 (нижня мнемосхема на лівій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

Вихід генератора підімкнути до входу підсилювача на ІМС – до клем *X1* і „ \perp ”.

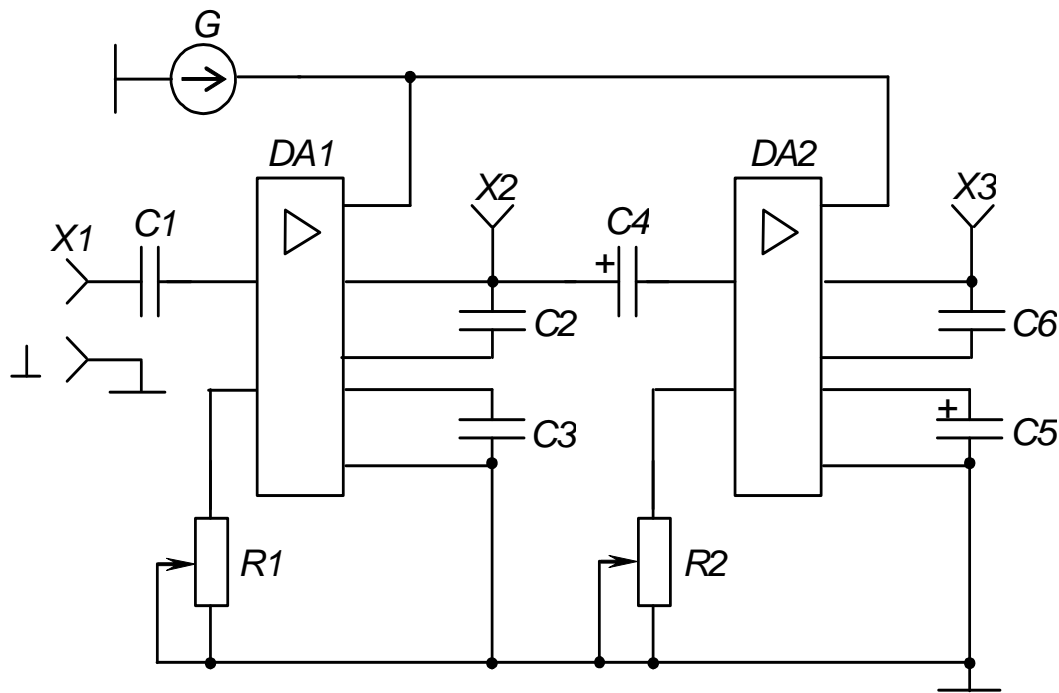


Рис. 2.2– Схема для дослідження підсилювача на ІМС

Задати частоту вхідного сигналу підсилювача рівною 1000 Гц відповідно до методики, викладеної у пп. 4.3.1.

Ручкою „Рег. вихода” задати значення вхідної напруги підсилювача рівною 10 мВ.

Підімкнути мультиметр до виходу першого каскаду підсилювача (клеми X2 і „⊥”) і ручкою резистора R_1 встановити значення вихідної напруги каскаду 50 мВ (60, 70 – на вибір), тобто задати коефіцієнт підсилення рівним 5 (6, 7).

Підімкнути мультиметр до виходу другого каскаду підсилювача (клеми X3 і „⊥”) і ручкою резистора R_2 встановити значення вихідної напруги підсилювача 500 мВ (600, 700), тобто задати коефіцієнт підсилення другого каскаду рівним 10, а всього підсилювача – 50 (60, 70).

4.5.2. Зняти амплітудну характеристику $U_{вих} = f(U_{вх})$ двокаскадного підсилювача на ІМС за методикою пп. 4.3.2.

4.5.3. Встановити значення напруги вхідного сигналу підсилювача рівним 30 мВ (40, 50 – на вибір) за методикою пп. 4.4.4.

4.5.4. Зняти залежність $U_{вих} = f(U_{вх})$ двокаскадного підсилювача на ІМС, задаючи необхідні значення частоти за методикою пп. 4.4.4. Результати занести у табл. 2.2.

4.6. Вимкнути прилади і живлення стенда лабораторного.

Навести порядок на робочому місці.

4.7. Обробка результатів експериментів

4.7.1. За даними табл. 2.1 у одній системі координат побудувати графіки амплітудних характеристик. Зробити висновки про характер кривих.

4.7.2. За амплітудними характеристиками визначити динамічний діапазон і коефіцієнт підсилення за напругою $K_U = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta U_{вх}}$ кожного підсилювача. Зробити висновок про вплив НЗЗ на ці параметри.

4.7.3. Осцилограми роботи однокаскадного підсилюючого каскаду з СЕ у режимі класу А розмістити одну під одною згідно з рис 1.12.

4.7.4. За даними табл. 2.2 розрахувати значення K_U і занести у табл. 2.3.

4.7.5. За даними табл. 2.2 побудувати у одній системі координат АЧХ підсилювачів $K_U = f(\lg f_{вх})$. Зробити висновки про характер кривих.

Таблиця 2.3 - Результати розрахунку значень коефіцієнта підсилення для побудови АЧХ

$f_{вх}, \text{Гц}$		50	100	200	500	10^3	2×10^3	5×10^3	10×10^3	15×10^3	20×10^3	Вид підсилювача
$K_U = U_{вих} / U_{вх}$	без НЗЗ	C_2^*										Двокаскадний транзисторний
		C_3^*										
	з НЗЗ	C2										
		C3										
	-	-										Двокаскадний на ІМС

4.7.6. За АЧХ визначити смугу пропускання кожного підсилювача. Зробити висновок про вплив НЗЗ і ємності конденсатора зв'язку на характеристики підсилювача.

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

Як вже зазначалося у пп. 5.2 лабораторної роботи №1, підсилювач – це пристрій, у якому порівняно малопотужний вхідний сигнал керує передачею значно більшої потужності від джерела живлення в навантаження. Збільшення потужності вхідного сигналу для лінійного підсилювача повинне забезпечуватися без викривлення форми і змін частотного складу.

З транзисторних підсилювачів найбільше поширення знайшли переважно виконані за схемою з СЕ. У наш час поширені підсилювачі на ІМС.

Найпростіший підсилюючий вузол називають підсилюючим каскадом.

Найважливішим параметром підсилювача є коефіцієнт підсилення – відношення напруги (струму, потужності) на виході підсилювача до напруги (струму, потужності) на вході (відповідно, коефіцієнт підсилення за напругою K_U , за струмом K_I , за потужністю K_P). Він показує ступінь збільшення вихідного сигналу у порівнянні з вхідним. У ідеального лінійного підсилювача коефіцієнт підсилення повинен мати постійне значення незалежно від значень напруги і частоти вхідного сигналу.

Коефіцієнт підсилення багатокаскадного підсилювача дорівнює добутку коефіцієнтів підсилення ввімкнутих послідовно каскадів.

Основними характеристиками підсилювача є амплітудна й амплітудно-частотна характеристики.

Амплітудна характеристика показує залежність $U_{вих} = f(U_{вх})$ на деякій постійній частоті.

У реального підсилювача ця характеристика має вигляд, наведений на рис. 2.3.

У робочому діапазоні значень напруги від $U_{вх\ min}$ до $U_{вх\ max}$ характеристика лінійна.

У зоні від 0 до $U_{вх\ min}$ напруга на виході визначається власними шумами підсилювача, викликаними, наприклад, пульсаціями напруги живлення, неоднорідністю структури елементів. Шуми глушать корисний сигнал.

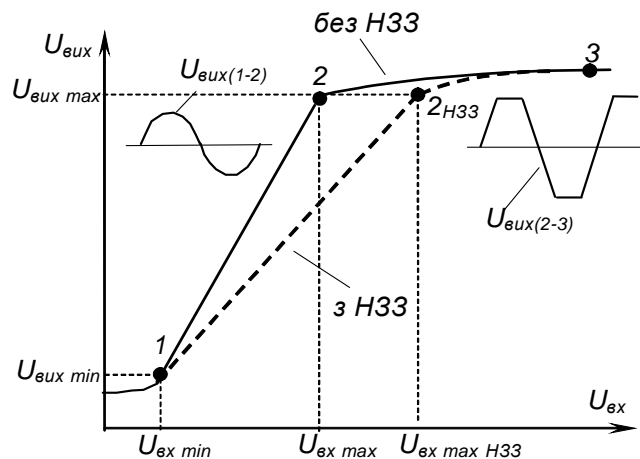


Рис. 2.3 - Амплітудна характеристика підсилювача $U_{вих} = f(U_{вх})$

При вхідних напругах більших за $U_{вх\ max}$ пропорційність між $U_{вих}$ і $U_{вх}$ порушується через порушення пропорційної залежності між вхідним і вихідним струмами транзистора (транзистор починає заходити у режими насичення та відтинання). При цьому виникають викривлення вихідного сигналу, що називаються нелінійними. Підсилювач входить у режим насичення, коли вихідна напруга не залежить від вхідної. Зауважимо, що необхідно розрізняти режими насичення транзистора (за постійним струмом) і режим насичення підсилювача (за змінним струмом).

Здатність підсилювача підсилювати мінімальне і максимальне значення напруги з дотриманням їхньої пропорційної залежності визначається динамічним діапазоном:

$$D = \frac{U_{вх\ макс}}{U_{вх\ мин}}. \quad (2.1)$$

Амплітудно-частотна характеристика (АЧХ) показує залежність модуля коефіцієнта підсилення підсилювача від частоти. Тобто показує, як підсилюються гармонійні складові складного сигналу. Вид АЧХ наведено на рис. 2.4.

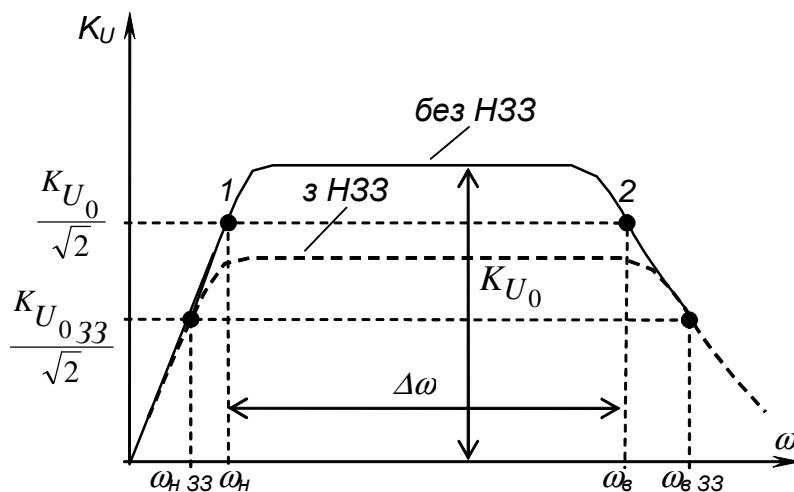


Рис. 2.4 - АЧХ підсилювача з резистивно-ємнісними зв'язками

Неоднаковість підсилення гармонійних складових веде до частотних викривлень, через які форма складного вихідного сигналу відрізняється від форми вхідного.

Причиною частотних викривлень є елементи підсилювача, опір яких залежить від частоти (ємності, індуктивності). Як зосереджені – елементи схеми (на низьких частотах), так і розосереджені – паразитні (на вищих частотах).

За АЧХ можна визначити смугу пропускання підсилювача

$$\Delta f = f_{\text{в}} - f_{\text{н}}, \quad (2.2)$$

що являє собою діапазон частот, у якому коефіцієнт підсилення не відрізняється від максимального K_{U0} більш, ніж у $\sqrt{2}$ раз:

$$K_U \geq \frac{K_{U0}}{\sqrt{2}}. \quad (2.3)$$

Для підсилення сигналів змінного струму застосовують підсилювачі з резистивно-ємнісними міжкаскадними зв'язками. Схема такого двокас-

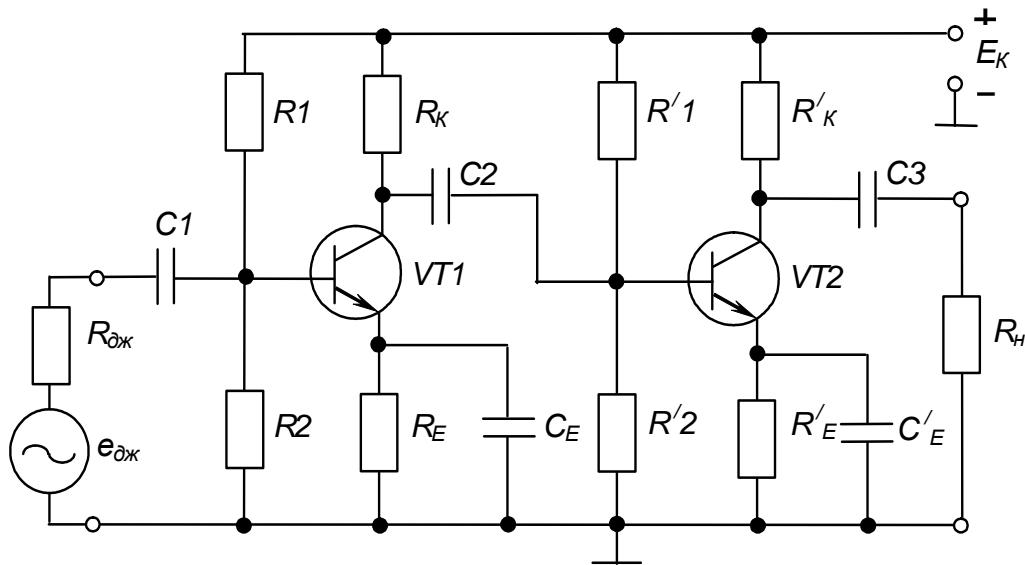


Рис. 2.5 - Двокаскадний підсилювач з резистивно-ємнісними зв'язками

кадного підсилювача наведена на рис. 2.5.

Наявність конденсаторів у якості елементів міжкаскадного зв'язку (C_2), а також зв'язку з джерелом сигналу (C_1) і навантаженням (C_3) робить режими роботи каскадів за постійним струмом взаємозалежними, а також виключає їхній вплив на роботу джерела сигналу і навантаження (див. U_{OK} на рис. 1.9).

У той же час наявність цих конденсаторів веде до зниження коефіцієнта підсилення на нижчих частотах через те, що опір конденсаторів $X_C = 1/2\pi fC$ зі зниженням частоти збільшується, а значить зростає падіння напруги на них і, у результаті, менша частка змінної напруги передається у навантаження (або наступний каскад). В області середніх і вищих частот вплив цих конденсаторів незначний.

На вищих частотах паразитні ємності (ємності монтажу і міжелектродні ємності у транзисторах та інших елементах) призводять до шунтування корисного сигналу (замикання частини струму корисного сигналу на загальний провід), а також до виникнення паразитних НЗЗ (наприклад, через ємність колектор-база транзисторів). Все це призводить до зниження коефіцієнта підсилення. Тут також позначається залежність коефіцієнта підсилення транзисторів за струмом β від частоти. Отже необхідно вибирати транзистори з граничною частотою підсилення, що значно перевищує верхню частоту сигналу.

Каскад підсилувача, як правило, має кола, за допомогою яких частина енергії сигналу передається з виходу каскаду на його вхід або на вхід одного з попередніх каскадів – кола зворотного зв'язку.

Ми вже знайомі з НЗЗ за постійним струмом (див. пп. 5.2 у лабораторній роботі №1), що застосовується для температурної стабілізації режиму спокою підсилюючого каскаду.

До речі, наявність конденсаторів C_3 і C_4 , що шунтують резистори R_4 і R_8 , на нижчих частотах, веде до виникнення НЗЗ за змінним струмом і відповідно до зниження коефіцієнта підсилення.

У роботі досліджується НЗЗ за змінним струмом, що забезпечується відмиканням конденсатора C_4 (див. рис. 2.1), і за напругою – подачею частини вихідної напруги з ділянки R_{10} , R_{11} у коло емітера $VT1$ у протифазі до вхідної напруги (див. рис. 2.1).

НЗЗ веде до зниження коефіцієнта підсилення підсилувача:

$$K_{U33} = \frac{K_U}{1 + K_U \cdot X}, \quad (2.4)$$

де $X = U_{33} / U_{вих}$ – коефіцієнт передачі кола НЗЗ, що показує, яка частина вихідної напруги подається на вхід підсилувача.

Введення НЗЗ, знижуючи коефіцієнт підсилення, у той же час збільшує динамічний і частотний діапазони підсилувача (що видно з його амплітудних і амплітудно-частотних характеристик) та покращує інші його параметри. Так, наприклад, у $(1+K_U X)$ раз збільшується вхідний і зменшується вихідний опори підсилувача.

При великому значенні K_U і глибокому НЗЗ, як впливає з (2.4), як-

що $K_U \rightarrow \infty$, K_{U33} наближається до значення $1/X$. Тобто він не залежить від фактичного значення K_U і його змін з коливаннями температури та під дією інших факторів. Отже НЗЗ підвищує стабільність підсилювача.

Наявність позитивного зворотного зв'язку (ПЗЗ), коли сигнал зворотного зв'язку знаходиться у фазі з вхідним, навпроти, погіршує характеристики підсилювача. Виникнення паразитних ПЗЗ через загальні кола живлення каскадів, паразитні ємності й індуктивності може також призводити до самозбудження підсилювача, коли він переходить у режим генерації сигналу деякої частоти.

Виконання підсилювачів у вигляді ІМС, поряд із зменшенням габаритів, значно підвищує їхню якість у порівнянні з підсилювачами на дискретних компонентах. Зокрема, це відбувається за рахунок значного зниження паразитних зворотних зв'язків. Інтегральна технологія дозволяє істотно поліпшити якість і надійність електронних підсилювачів шляхом забезпечення при їхньому проектуванні великого запасу параметрів: так званої функціональної надлишковості.

Контрольні запитання

- 1) Вкажіть області застосування підсилювачів змінного струму, їхні основні параметри й характеристики.**
- 2) Поясніть причину появи нелінійних викривлень.**
- 3) Вкажіть, у яких режимах працює транзистор підсилювача у його режимах, що відповідають різним ділянкам амплітудної характеристики.**
- 4) Поясніть причини виникнення частотних викривлень в області нижчих частот.**
- 5) Поясніть причини виникнення частотних викривлень в області вищих частот.**
- 6) Поясніть, що таке динамічний діапазон і смуга пропускання підсилювача та як впливає НЗЗ на ці параметри.**
- 7) Поясніть призначення конденсаторів міжкаскадного зв'язку і їхній вплив на АЧХ підсилювача.**

8) Поясніть, як забезпечується температурна стабілізація режиму спокою досліджуваних підсилюючих каскадів і як впливають елементи температурної стабілізації на АЧХ.

9) Наведіть схему двокаскадного підсилювача низької частоти, поясніть призначення елементів, покажіть шлях протікання струмів (постійних і змінних).

10) Поясніть призначення НЗЗ, що застосовані у досліджуваних підсилювачах.

11) Вкажіть переваги застосування підсилювачів у інтегральному виконанні (у вигляді ІМС).

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. - розділ 3.

2. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум: Навч. посіб. / За ред. А.Г. Соскова. 2-е вид. - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) – розділ 3.

3. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - с. 97-117, 123-128.

4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - с. 87-104, 112-120, 131-136.

5. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - с. 49-58, 89-92, 95-98.

6. Красько А.С., Скачко К.Г. Промышленная электроника [Текст]: учебное пособие для теплоэнергетических спец. вузов / А.С. Красько, К.Г. Скачко – Минск: Высшая школа, 1984, 208 с. - с. 99-124.

Лабораторна робота № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ І ЇХНІХ ТИПОВИХ ЗАСТОСУВАНЬ

1. МЕТА РОБОТИ

- 1) Дослідження властивостей і характеристик операційних підсилювачів (ОП).
- 2) Дослідження типових аналогових пристроїв на ОП.

2. ОБЛАДНАННЯ

- 1) Стенд лабораторний № 1, 3.
- 2) Вольтметр цифровий В7-27.
- 3) Мультиметр ВР-11.
- 4) Осцилограф С1-93 (С1-83).

3. ЗМІСТ РОБОТИ

- 1) Дослідити властивості і передатні характеристики ОП.
- 2) Дослідити будову і роботу типових аналогових пристроїв на ОП: інвертуючого підсилювача, неінвертуючого підсилювача, підсилювача-віднімача, інвертуючого інтегратора, диференціатора.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Ознайомитись з робочим місцем і приладами.
- 4.2. Ввімкнути прилади і живлення стенда лабораторного. Тумблер у середній частині лицьової панелі стенда лабораторного (між мнемосхемами) встановити у праве положення.

4.3. Дослідження властивостей і характеристик ОП

- 4.3.1. Дослідження властивостей і характеристик ОП робити за допомогою схеми, приведеної на рис. 3.1 (верхня мнемосхема на правій половині стенда лабораторного).

До клем $X1$ і „ \perp ” підімкнути цифровий вольтметр у режимі вимірювання напруги постійного струму на межі „ -100 mV ”, а до клем $X2$ і „ \perp ” – мультиметр у тому ж режимі на межі вимірювання „ -20 V ”.

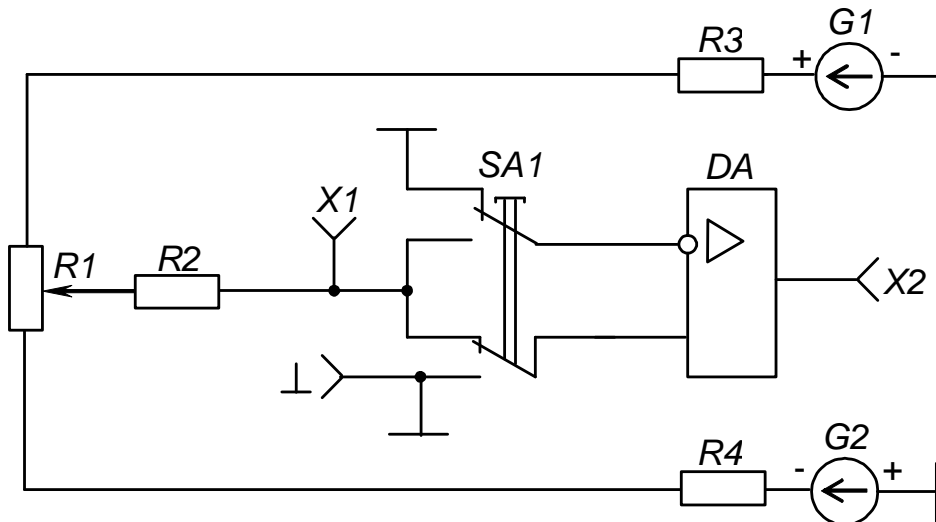


Рис. 3.1 – Схема для дослідження ОП

4.3.1.1. Зняти передатну характеристику ОП для інвертуючого вмикання, $U_{вих} = f(U_{вх})$, для чого перемикач *SA1* встановити у натиснуте положення (світиться сигнальна лампа „*Інв. вкл.*”).

Обертаючи ручку резистора R_1 за годинниковою стрілкою з крайнього лівого положення, задавати необхідні значення $U_{вх}$ за цифровим вольтметром і фіксувати за мультиметром відповідні значення $U_{вих}$. Стежити за правильністю полярності подаваної на вхід мультиметра напруги.

Результати вимірів занести в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати зняття передатної характеристики ОП

$U_{вх}$, мВ	-50	-40	-35	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	Вмикання ОП
$U_{вих}$, В											інв.
											неінв.

Продовження табл. 3.1

$U_{вх}$, мВ	5	10	15	20	25	30	35	40	50	Вмикання ОП	
$U_{вих}$, В											інв.
											неінв.

4.3.1.2. Зняти передатну характеристику ОП для неінвертуючого вмикання, для чого перемикач *SA1* встановити у ненатиснуте положення (світиться сигнальна лампа „*Неінв. вкл.*”). Далі методика аналогічна наведених у пп. 4.3.1.1.

4.4. Дослідження типових аналогових пристроїв на ОП

4.4.1. Дослідження пристроїв на ОП виконується за допомогою схеми, наведеної на рис. 3.2 (нижня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

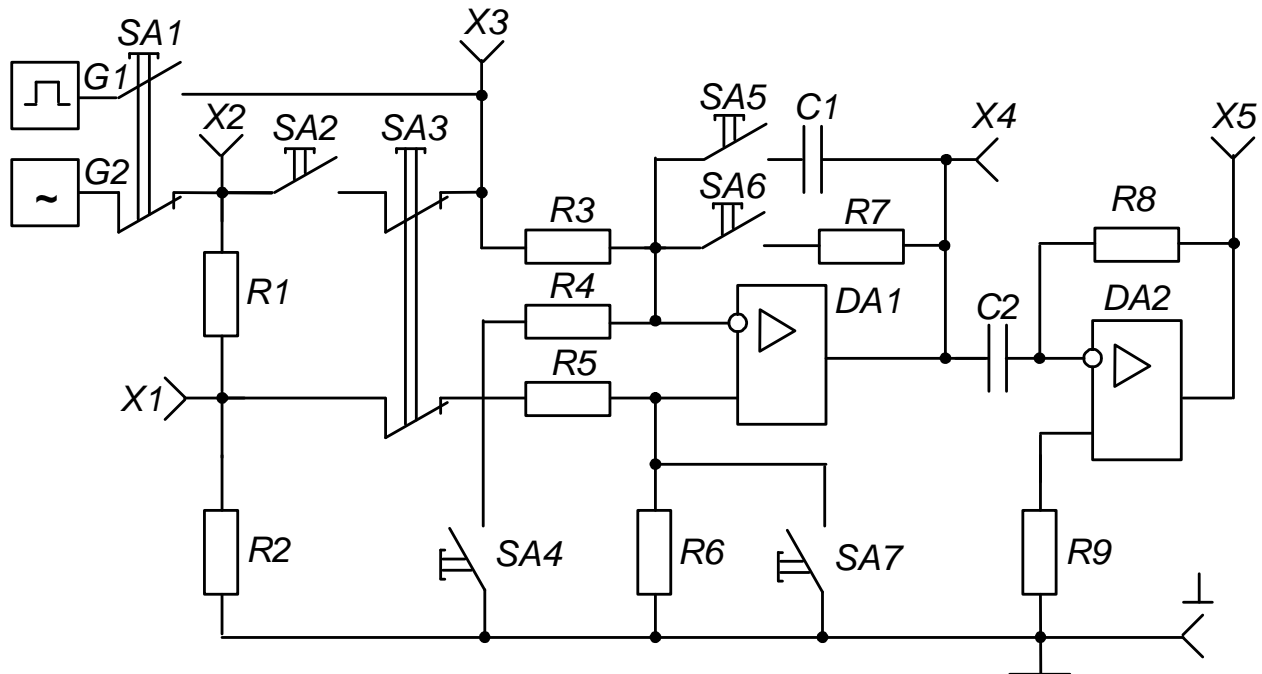


Рис. 3.2 – Схема для дослідження типових аналогових пристроїв на ОП

4.4.2. Зібрати схему інвертуючого підсилювача, для чого перемикачі SA2, SA6 і SA7 встановити у натиснуте положення, а інші у ненатиснуте.

Задати цифровому вольтметру режим вимірювання напруги змінного струму на межі „~100 m V” (вхід „~300 V”, вимірювальний кабель екранований) і підкнути його до клем X2 і „⊥”. Зафіксувати результат вимірювання вхідної напруги підсилювача.

Задати межу вимірювання вольтметра „~10 V”, підкнутити його до клем X4 і „⊥”. Зафіксувати результат вимірювання вихідної напруги підсилювача. Визначити коефіцієнт підсилення за напругою

$$K_U = -\frac{U_{вих}}{U_{вх}}.$$

Відімкнути вольтметр від досліджуваної схеми.

Підімкнути кабель першого каналу осцилографа до клем X2 і „⊥”, а другого – до клем X4 і „⊥”. Органи керування осцилографа встановити у положення, що забезпечують спостереження стійкого, зручного для вимірів зображення. Зарисувати осцилограми вхідної і вихідної напруг підси-

лювача (зверніть увагу на те, що вхідна і вихідна напруги інвертуючого підсилювача знаходяться у протифазі).

4.4.3. Зібрати схему неінвертуючого підсилювача, для чого перемикачі $SA4$ і $SA6$ встановити у натиснуте положення, а інші – у ненатиснуте.

Далі повторити операції за пп. 4.4.2 (зверніть увагу на те, що вхідна і вихідна напруги неінвертуючого підсилювача синфазні).

4.4.4. Зібрати схему підсилювача-віднімача, для чого перемикачі $SA2$ і $SA6$ встановити у натиснуте положення, а інші – у ненатиснуте. Заміряти значення вхідних і вихідних напруг, підмикаючи цифровий вольтметр по черзі до клем: $X1$ і „ \perp ” – U_{ex1} (межа вимірювання „ $\sim 100\text{ mV}$ ”); $X3$ і „ \perp ” – U_{ex2} (межа вимірювання та ж сама); $X4$ і „ \perp ” – $U_{вих}$ (межа вимірювання „ $\sim 10\text{ V}$ ”).

Визначити коефіцієнт передачі підсилювача-віднімача

$$N = - \frac{U_{вих}}{U_{ex2} - U_{ex1}}.$$

4.4.5. Зібрати схему інвертуючого інтегратора, для чого перемикачі $SA1$, $SA5$ і $SA7$ встановити у натиснуте положення, а всі інші – у ненатиснуте.

Підімкнути кабель першого каналу осцилографа до клем $X3$ і „ \perp ”, а другого – до клем $X4$ і „ \perp ”.

Зарисувати осцилограми вхідної напруги (за формою близька до прямокутної) і вихідної (пилкоподібна).

Підімкнути кабель другого каналу осцилографа до клем $X5$ і „ \perp ” та зарисувати осцилограму вихідної напруги диференціатора, переконавшись, що за формою вона збігається з вхідною напругою інтегратора.

4.5. Вимкнути прилади і живлення стенда лабораторного.

Навести порядок на робочому місці.

4.6. Обробка результатів експериментів

4.6.1. За даними табл. 3.1 побудувати передатні характеристики ОП і визначити за ними:

1) граничні значення вихідної напруги: $U_{вих\max}^+$; $U_{вих\max}^-$;

2) напругу зсуву (зміщення) нуля $U_{з\mu 0}$;

3) коефіцієнти підсилення ОП за обома входами: як $K_U = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta U_{вх}}$.

4.6.2. За осцилограмами зробити висновки про співвідношення фаз вхідної і вихідної напруг інвертуючого і неінвертуючого підсилювачів, інвертуючого інтегратора. Визначити постійну інтегрування інтегратора.

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

ОП – це підсилювачі постійного струму з великим коефіцієнтом підсилення, що мають диференціальний вхід і один вихід. Виконуються ОП, в основному, у виді інтегральних мікросхем. Свою назву вони отримали завдяки своєму первинному застосуванню: для моделювання математичних операцій в аналогових обчислювальних машинах.

Властивості ОП близькі до властивостей ідеального диференціального підсилювача: симетрія входів, підсилення у широкому діапазоні частот, починаючи від постійного струму, нульова напруга на виході за відсутності сигналу на вході, великий коефіцієнт підсилення (в ідеалі – нескінченний), великий вхідний і малий вихідний опори (в ідеалі – нескінченний і рівний нулю, відповідно), великий динамічний діапазон.

Як показано на типовій схемі вмикання рис. 3.3, живлення ОП *DA* здійснюється від двох різнополярних джерел з однаковими абсолютними значеннями е.р.с. E_1 і E_2 . До входів ОП прикладається вхідна напруга $U_{вх}$ на фоні синфазної $U_{сф}$. При цьому ОП підсилює лише $U_{вх}$.

При подачі на неінвертуючий вхід нульового потенціалу, підсилювач є інвертуючим – вхідна і вихідна його напруги при цьому мають різні знаки (у випадку гармонійного сигналу вхідна і вихідна напруги знаходяться у протифазі).

При подачі нульового потенціалу на інвертуючий вхід, підсилювач стає неінвертуючим – знаки вхідної і вихідної напруг співпадають (у випадку гармонійного сигналу – вхідна і вихідна напруги синфазні).

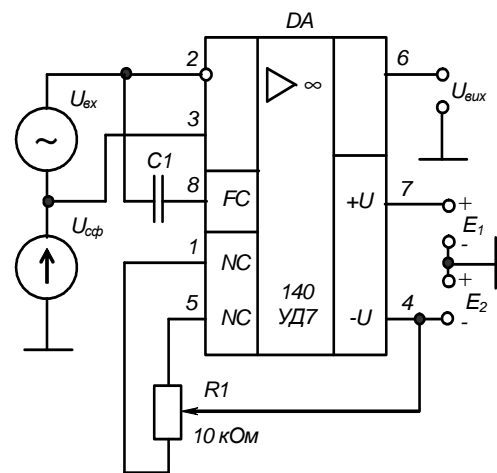


Рис. 3.3 – Схема вмикання ОП типу 140УД7

Найважливішими характеристиками ОП є передатні характеристики, що являють собою залежність вихідної напруги ОП від вхідної за кожним із входів при нульовій напрузі на іншому. Ці характеристики представляють у вигляді двох кривих, що відносяться відповідно до інвертуючого і неінвертуючого входів, як показано на рис. 3.4.

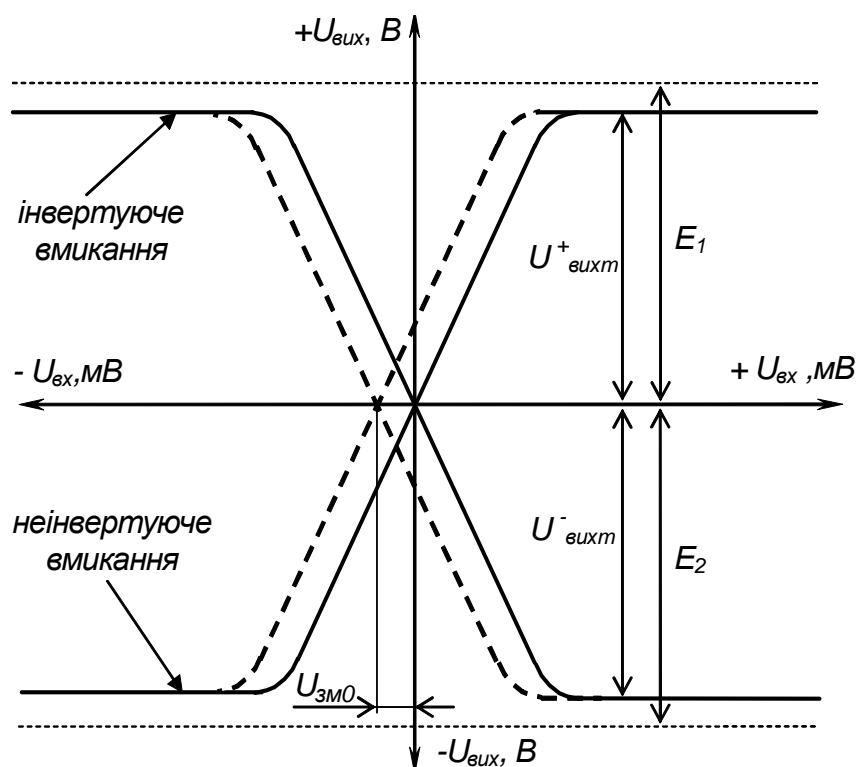


Рис. 3.4 - Передатні характеристики ОП

За передатною характеристикою можна визначити наступні параметри ОП:

$U_{вих\ max}$ – граничне значення вихідної напруги;

K_1, K_2 – коефіцієнти підсилення за входами ОП ($K_1 \approx K_2 = K_U$);

$U_{зм0}$ – напруга зсуву (зміщення) нуля.

За однакових значень е.р.с. джерел живлення граничні значення напруг $U_{вих}^+, U_{вих}^-$ також однакові і близькі до е.р.с. джерел живлення.

$$\text{Коефіцієнт підсилення ОП } K_U = \frac{\Delta U_{вих}}{\Delta U_{вх}}.$$

Його значення залежить від типу ОП, і може складати від декількох тисяч до декількох десятків тисяч і більше.

Напруга зсуву нуля $U_{зм0}$ визначається як напруга, яку необхідно подати на вхід ОП, щоб $U_{вих} = 0$.

Іншими важливими параметрами ОП є вхідний опір, вхідні струми зсуву, різниця і дрейф вхідних струмів зсуву, вихідний опір, частотна смуга пропускання ОП та ін.

Розглянемо деякі типові аналогові пристрої, виконані на ОП.

При аналізі роботи цих пристроїв будемо вважати ОП за ідеальний, тобто:

- 1) $K_U = \infty$ (реально – десятки і сотні тисяч);
- 2) $R_{вх} = \infty$ за кожним входом (реально – сотні кілоом);
- 3) $R_{вих} = 0$ (реально – менш за 100 Ом).

При цьому будемо враховувати, що у ідеального ОП, якщо він працює у лінійному режимі (на пологій частині передатної характеристики), потенціали обох входів однакові. Тобто його $U_{вх} = 0$.

Дійсно, якщо $K_U = \infty$, то за будь-якого значення вихідної напруги $U_{вих}$, виявляється, що вхідна напруга $U_{вх} \Big|_{K_U \rightarrow \infty} = \frac{U_{вих}}{K_U} = 0$.

Отже, маємо: у лінійному режимі ОП так керує зовнішнім НЗЗ, що напруга між його входами дорівнює нулю.

Реально ця напруга трохи відрізняється від нуля, бо K_U все ж таки менший за безкінечність. Однак для багатьох застосувань сучасні ОП можна вважати за ідеальні. При цьому похибки, зумовлені неврахуванням реальних параметрів, складають доли відсотка.

1) Інвертуючий підсилювач

Інвертуючий підсилювач, схема якого наведена на рис. 3.5 (джерела живлення тут не показані), змінює знак вихідної напруги відносно вхідної.

У ОП, охопленого НЗЗ, у лінійному (підсилювальному) режимі різницю напруг між входами вважаємо рівною нулю:

$U_0 = 0$. Виходячи з цього, потенціал інвертуючого входу (точка **a**) дорівнює потенціалу неінвертуючого, підімкненого до

нульової точки. Тоді вхідний струм підсилювача становить

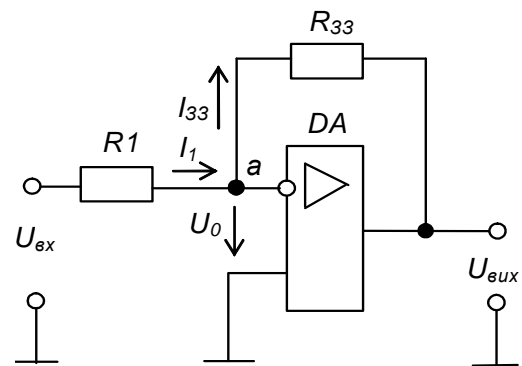


Рис. 3.5 - Інвертуючий підсилювач на ОП

$$I_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх}}}{R_1}. \quad (3.1)$$

Це значить, що джерелом вхідного сигналу цей пристрій сприймається як резистор R_1 – вхідний опір інвертуючого підсилювача дорівнює опоріві резистора R_1 .

Оскільки у ОП $R_{\text{вх}} = \infty$, то струм $I_{\text{вх}}$, що втікає в точку **a**, витікати з неї може тільки через R_{33} у вихід ОП і далі в одне з джерел живлення.

$$\text{Отже} \quad I_{\text{вх}} = I_{33}. \quad (3.2)$$

Щоб забезпечити протікання такого струму через R_{33} , на виході ОП повинна бути напруга

$$-U_{\text{вих}} = I_{33}R_{33}. \quad (3.3)$$

З урахуванням виразів (3.1) – (3.3) знайдемо значення коефіцієнта підсилення інвертуючого підсилювача

$$K_{U_{33}} = \frac{-U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{-I_{33}R_{33}}{I_{\text{вх}}R_1} = -\frac{R_{33}}{R_1}. \quad (3.4)$$

2) Неінвертуючий підсилювач

Схема неінвертуючого підсилювача наведена на рис. 3.6.

Виходячи з викладених вище міркувань, при $U_0 = 0$ напруга, що прикладена до R_1 , дорівнює $U_{\text{вх}}$, а через R_1 протікає струм

$$I_{R1} = \frac{U_{\text{вх}}}{R_1}. \quad (3.5)$$

Це значить, що $I_{R1} = I_{33}$.

Отже, щоб забезпечити протікання струму I_{33} через резистори R_1 і R_{33} , на виході ОП повинна бути напруга

$$U_{\text{вих}} = I_{33}(R_1 + R_{33}). \quad (3.7)$$

З урахуванням (3.5) – (3.7) коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача на ОП

$$K_{U_{33}} = \frac{U_{\text{вих}}}{U_{\text{вх}}} = \frac{I_{33}(R_1 + R_{33})}{I_{R1}R_1} = \frac{R_1 + R_{33}}{R_1} = 1 + \frac{R_{33}}{R_1}. \quad (3.8)$$

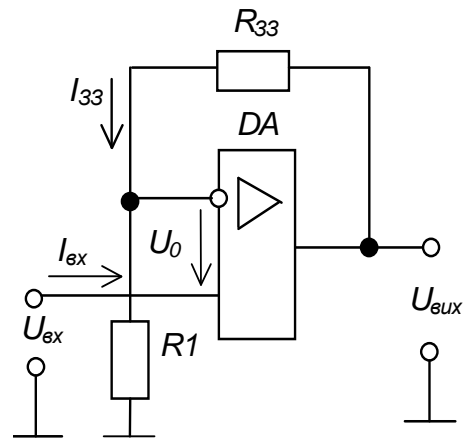


Рис. 3.6 - Неінвертуючий підсилювач на ОП

Якщо задати $R_{33} = 0$, а $R_1 = \infty$, то одержимо повторювач напруги – рис. 3.7. Він великий вхідний опір і малий вихідний і використовується для узгодження джерел сигналу, що мають великий опір з низькими навантаженнями.

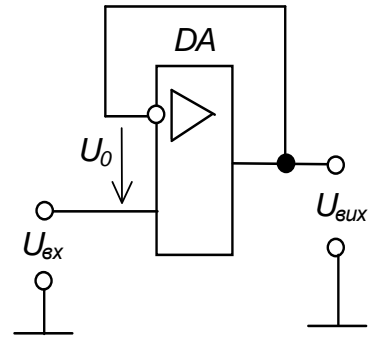


Рис. 3.7- Повторювач напруги

3) Підсилювач-віднімач

Схема підсилювача-віднімача наведена на рис. 3.8.

Якщо у цій схемі прийняти, що $U_{вх1} = 0$ (тобто припустимо, що верхній вхід під'єднано до точки „ \perp ”), схема зводиться до неінвертуючого підсилювача (див. рис. 3.6), на вхід якого сигнал $U'_{вх2}$ подається через дільник R_2, R_3 .

$$\text{Тоді} \quad U'_{вх2} = U_{вх2} \frac{R_3}{R_2 + R_3}. \quad (3.9)$$

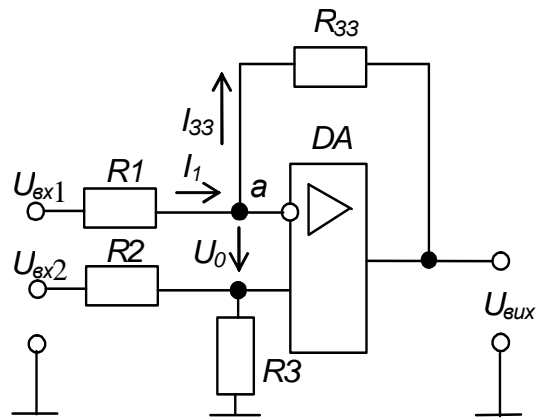


Рис. 3.8 - Підсилювач-віднімач

З урахуванням (3.8) одержимо

$$U'_{вих} = U_{вх2} \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot \left(1 + \frac{R_{33}}{R_1} \right). \quad (3.10)$$

Якщо тепер прийняти $U_{вх2} = 0$ (до точки „ \perp ” під'єднано нижній вхід підсилювача), то схема зводиться до інвертуючого підсилювача (див. рис. 3.5). Наявність резисторів R_2 і R_3 не впливає на нульовий потенціал неінвертуючого входу ОП (маємо вхід, підімкнений до нульової точки через провідник з опором $R_3/R_2 + R_3$).

$$\text{Тоді відповідно до (3.4)} \quad U''_{вих} = -U_{вх1} \frac{R_{33}}{R_1}. \quad (3.11)$$

За одночасної дії обох вхідних сигналів

$$U_{вих} = U'_{вих} + U''_{вих} = U_{вх2} \frac{R_3}{R_2 + R_3} \cdot \left(1 + \frac{R_{33}}{R_1} \right) - U_{вх1} \frac{R_{33}}{R_1}. \quad (3.12)$$

$$\text{Якщо задати} \quad R_1 = R_2 = R; \quad (3.13)$$

$$R_{33} = R_3 = NR, \quad (3.14)$$

$$\text{то отримаємо} \quad U_{вих} = N(U_{вх2} - U_{вх1}). \quad (3.15)$$

4) Інвертуючий інтегратор

Схема інвертуючого інтегратора на ОП наведена на рис. 3.9.

Як видно, вона відрізняється від схеми інвертуючого підсилювача, (див. рис. 3.5) тим, що замість $R_{зз}$ ввімкнено конденсатор C .

Згідно з (3.1) і (3.2)

$$i_R = \frac{U_{вх}}{R}; \quad (3.16)$$

$$i_C = i_R. \quad (3.17)$$

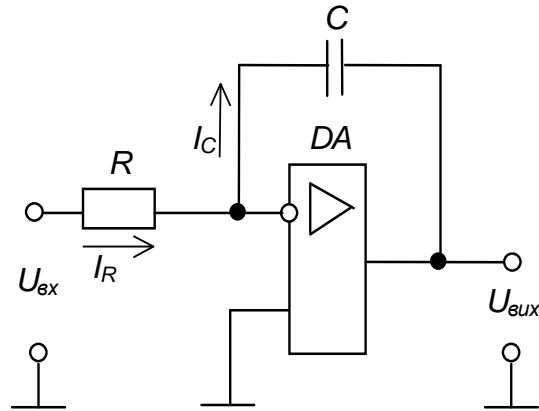


Рис. 3.9 – Інвертуючий інтегратор

Оскільки конденсатор ввімкнено між виходом ОП і точкою *a*, що має нульовий потенціал, то

$$U_{вих} = -U_C = -\frac{1}{C} \int i_C dt = \frac{1}{C} \int i_C dt = -\frac{1}{RC} \int U_{вх} dt, \quad (3.18)$$

де $\frac{1}{RC}$ – постійна інтегрування.

Якщо до входу пристрою прикласти постійну напругу, то

$$i_R = i_C = \frac{U_{вх}}{R} = const. \quad (3.19)$$

Тобто конденсатор заряджається струмом постійного значення, і напруга на ньому змінюється лінійно:

$$U_{вих} = -\frac{1}{RC} U_{вх} \cdot t. \quad (3.20)$$

Це є рівняння прямої, що починається з нуля.

Отже у даному разі на виході інтегратора маємо напругу, що лінійно змінюється. Така його властивість використовується в генераторах пилоподібної напруги.

5) Диференціатор

Схема диференціатора наведена на рис. 3.10.

Відомо, що

$$i_C = C \frac{dU_{вх}}{dt}. \quad (3.21)$$

Оскільки $i_C = i_{33} = -\frac{U_{вих}}{R}$,

то $i_C = C \frac{dU_{вх}}{dt}. \quad (3.22)$

Тоді $U_{вих} = -RC \frac{dU_{вх}}{dt}. \quad (3.23)$

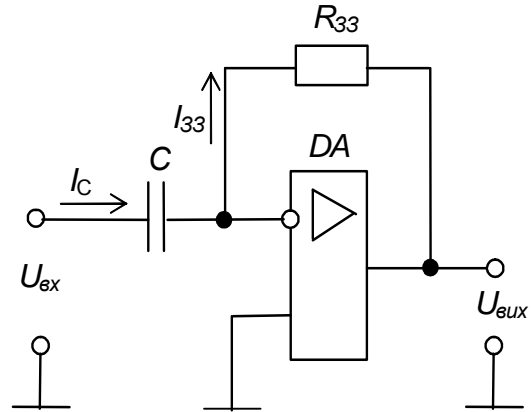


Рис. 3.10 - Диференціатор

Якщо вхідна напруга диференціатора змінюється лінійно $\left(\frac{dU_{вх}}{dt} = const \right)$, то згідно з (3.23) вихідна напруга матиме постійне значення.

На закінчення зазначимо, що, при роботі підсилювачів на ОП у лінійному режимі і за наявності глибокого НЗЗ, ОП за своїми параметрами істотно наближається до ідеального, бо різко зростає його вхідний опір і зменшується вихідний.

Перше, наприклад, пояснюється тим, що через малу різницю потенціалів між входами ($U_0 \rightarrow 0$) незначні і вхідні струми.

З іншого боку, з теорії зворотних зв'язків відомо, що якщо коефіцієнт зворотного зв'язку

$$\chi = \frac{U_{33}}{U_{вих}} = \frac{R_1}{R_1 + R_{33}}, \quad (3.24)$$

то $R_{вх33} = R_{вх} (1 + K_U \chi), \quad (3.25)$

$$R_{вих33} = \frac{R_{вих}}{(1 + K_U)}, \quad (3.26)$$

де $R_{вх33}$ і $R_{вих33}$ – вхідний і вихідний опори підсилювача, охопленого НЗЗ.

Розглянуті схеми на ОП є основою для побудови найрізноманітніших пристроїв аналогової техніки: підсилювачів, суматорів, активних фільтрів, генераторів і т.п.

Контрольні запитання

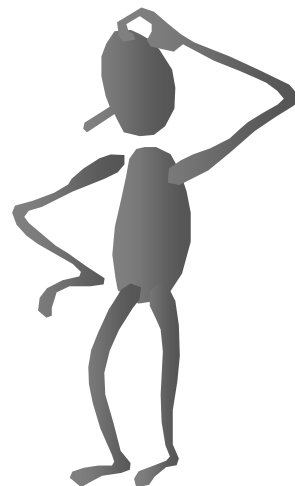
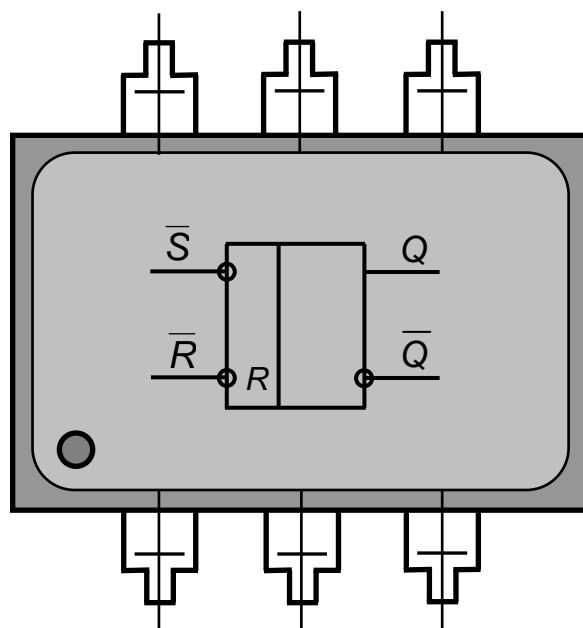
- 1) Поясніть будову ОП і вкажіть їхні властивості.**
- 2) Поясніть вид передатних характеристик ОП для різних схем вмикання та як за ними визначити коефіцієнт підсилення ОП і напругу зсуву нуля.**
- 3) Поясніть принцип дії інвертуючого підсилювача на ОП.**
- 4) Поясніть принцип дії неінвертуючого підсилювача, на ОП.**
- 5) Поясніть принцип дії підсилювача-віднімача на ОП.**
- 6) Поясніть принцип дії інвертуючого інтегратора на ОП.**
- 7) Поясніть принцип дії диференціатора на ОП.**
- 8) Як побудувати суматор на ОП?**
- 9) Поясніть, за рахунок чого властивості пристроїв, побудованих на ідеальному ОП, визначаються тільки параметрами елементів зворотного зв'язку?**

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. – розділ 4.
2. Колонтаєвський, Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум [Текст]: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) - розділ 4.
3. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - с. 146-150, 154-173.
4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - с. 142-160.
5. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - с. 65-71, 76-88.
6. Красько А.С., Скачко К.Г. Промышленная электроника [Текст]: учебное пособие для теплоэнергетических спец. вузов / А.С. Красько, К.Г.

ЧАСТИНА ДРУГА

ІМПУЛЬСНІ ТА ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ



Лабораторна робота №4
ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ ПРИСТРОЇВ
НА ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ І ІНТЕГРАЛЬНИХ
МІКРОСХЕМАХ (ІМС)

1. МЕТА РОБОТИ

- 1) Дослідження мультівібраторів на біполярних транзисторах.
- 2) Дослідження тригерів на ІМС.

2. ОБЛАДНАННЯ

- 1) Стенд лабораторний № 2, 4.
- 2) Мультиметр ВР11.
- 3) Осцилограф С1-93 (С1-83).

3. ЗМІСТ РОБОТИ

- 1) Дослідити роботу симетричного мультівібратора на біполярних транзисторах.
- 2) Дослідити роботу мультівібратора з відтинаючими діодами.
- 3) Дослідити роботу тригерів на ІМС: *RS*, *T*, *D* і *JK*.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Ознайомитись з робочим місцем, устаткуванням і приладами.

4.2. Ввімкнути вимірювальні прилади та живлення стенда лабораторного. Тумблер у середній частині лицьової панелі стенда (між мнемосхемами) встановити у праве положення.

4.3. Дослідження роботи симетричного мультівібратора
на біполярних транзисторах

4.3.1. Дослідження мультівібраторів виконувати за допомогою схеми, зображеної на рис. 4.1 (верхня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

Перемикачі *SA1*, *SA2* встановити у натиснуте положення.

4.3.2. Замалювати осцилограми напруг у контрольних точках симетричного мультівібратора.

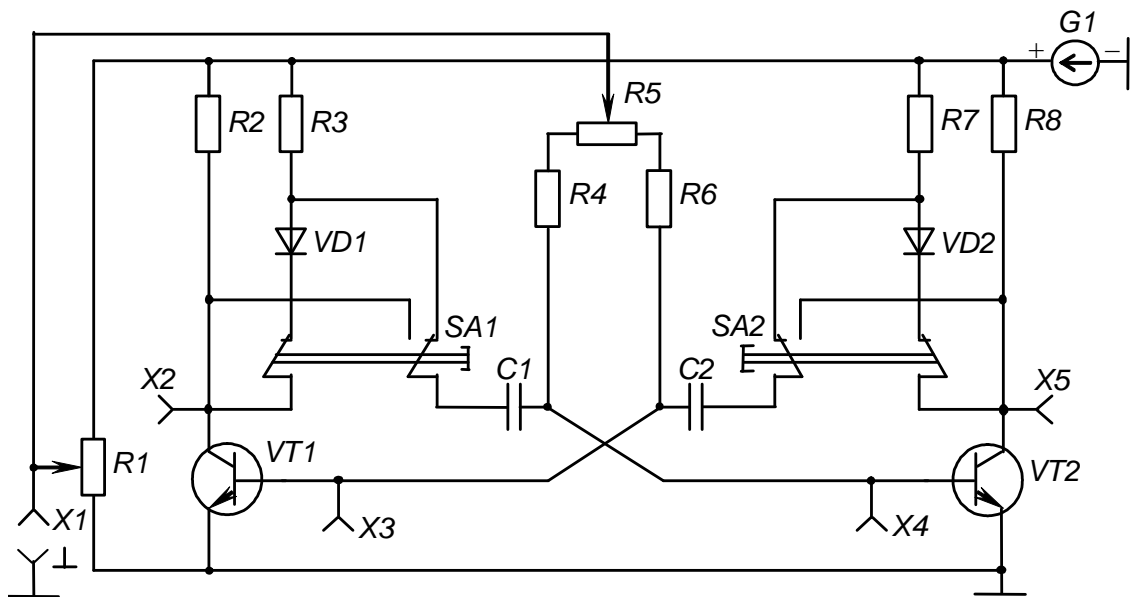


Рис. 4.1 – Схема для дослідження мультивібраторів

Для цього, встановлюючи органи керування осцилографа у положення, що забезпечують спостереження стійкого, зручного для вимірів зображення:

- 1) ручку резистора R_1 встановити у крайнє праве положення;
- 2) кабель першого каналу осцилографа підключити до клем X_2 і „ \perp ”, а другого – до клем X_3 і „ \perp ” (сигнальним і нульовим привідниками відповідно);

- 3) обертанням ручки резистора R_5 установити тривалість імпульсу мультивібратора рівною тривалості паузи між імпульсами.

Замалювати осцилограми напруг у контрольних точках X_2 (на колекторі VT_1) і X_3 (на базі VT_1).

Сигнальний провідник кабелю другого каналу осцилографа перенести на клему X_5 і замалювати осцилограму напруги (на колекторі VT_2), орієнтуючи її відносно перших двох.

Сигнальний кінець кабелю другого каналу перенести на клему X_4 і замалювати осцилограму напруги (на базі VT_2), орієнтуючи її відносно інших осцилограм.

4.3.3. Для різних положень ручки резистора R_5 за допомогою осцилографа визначити:

- 1) активну тривалість імпульсу мультивібратора t_i на рівні 0,5 його амплітуди;

2) тривалість паузи між імпульсами t_n на рівні 0,5 амплітуди імпульсів;

3) тривалість періоду надходження імпульсів T ;

4) активну тривалість фронту імпульсу t_ϕ як час зміни напруги від рівня 0,1 до рівня 0,9 амплітуди імпульсу;

5) активну тривалість зрізу (заднього фронту) імпульсу $t_{зр}$ як час зміни напруги від 0,9 до 0,1 амплітуди імпульсу.

Результати експериментів занести у табл. 4.1.

Таблиця 4.1- Результати вимірів та розрахунків часових параметрів імпульсів

Тип мультівібратора	t_i , мс	t_n , мс	T , мс	t_ϕ , мс	$t_{зр}$, мс	f , Гц	Q	Положення ручки резистора R_5
Симетричний								крайне ліве
								середнє
								крайне праве
Симетричний з відтинаючими діодами *)								середнє

*) Заповнюється при виконанні пп. 4.4.2.

4.3.4. Зняти залежність періоду надходження імпульсів симетричного мультівібратора (ручка R_5 у середньому положенні) від напруги зміщення.

Встановити межу вимірювання мультиметра „20 V” за постійним струмом і підімкнути його до клем $X1$ і „ \perp ” (звертайте увагу на правильність полярності підмикання приладу).

Обертанням ручки резистора R_1 за годинниковою стрілкою з крайнього лівого положення задавати необхідні значення напруги зміщення $U_{зм}$ і фіксувати за осцилографом відповідні тривалості періоду.

Результати вимірів занести у табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Часові параметри послідовності імпульсів

$U_{зм}, \text{В}$	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0	12,0
$T, \text{мс}$							
$f, \text{Гц}$							

4.4. Дослідження роботи мультівібратора з відтинаючими діодами

4.4.1. Перемикачі $SA1$ і $SA2$ встановити у ненатиснуте положення (світяться сигнальні лампи „ $VD1$ ”, „ $VD2$ ”).

Замалювати осцилограми напруг у контрольних точках мультівібратора відповідно до методики, наведеної у пп. 4.3.2.

4.4.2. Для середнього положення ручки резистора R_5 (симетричний мультівібратор) визначити активну тривалість імпульсу мультівібратора, тривалість паузи, тривалість періоду надходження імпульсів, активні тривалості фронту і зрізу за методикою пп. 4.3.3.

Результати експерименту занести у табл. 4.1.

4.5. Дослідження роботи тригерів на ІМС

4.5.1. Дослідження тригерів виконувати за допомогою схеми, зображеної на рис. 4.2 (нижня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

4.5.2. Дослідити роботу RS -тригера з інверсними входами і скласти його таблицю переходів.

Для цього за допомогою перемикачів $SA1$ і $SA2$ треба задавати необхідні комбінації нулів і одиниць на входах тригера S і R . При цьому ненатиснуте положення перемикача відповідає одиничному сигналу (на вхід тригера через резистор R_1 або R_2 подається напруга живлення U_n , світиться сигнальна лампа біля відповідного входу). Натиснуте положення перемикача відповідає нульовому сигналу (на вхід подається напруга, що дорів-

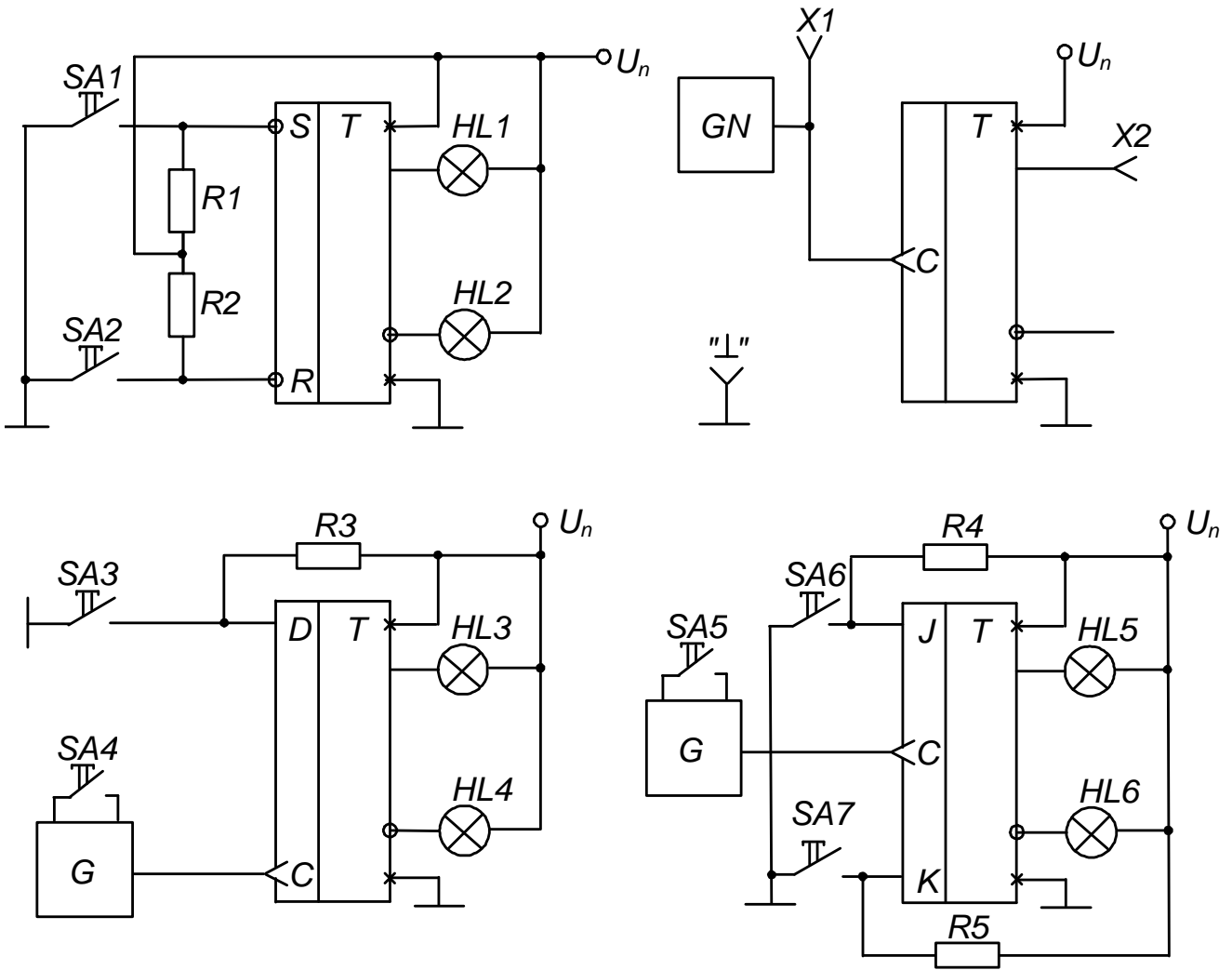


Рис. 4.2 – Схема для дослідження тригерів

нює нулю: вхід підмикається до нульового проводу, сигнальна лампа біля входу не світиться). Реакція тригера визначається за світінням ламп: *HL1* – одиничний стан і *HL2* – нульовий стан.

Результати експерименту занести у табл. 4.3, де позначення t^i і t^{i+1} відповідають моментам часу до і після спрацьовування тригера.

Зверніть увагу, що спрацьовування тригера відбувається одразу після набору відповідної комбінації сигналів на інформаційних входах (маємо асинхронний тригер).

4.5.3. Дослідити роботу *T*-тригера і скласти його таблицю переходів. Кабель першого каналу осцилографа підімкнути до виходу тактового генератора – до клем *X1* та „ \perp ”, а кабель другого каналу до прямого виходу тригера – до клем *X2* та „ \perp ”. Органи керування осцилографа встановити

Таблиця 4.3 – Таблиця переходів *RS*-тригера

t^i		t^{i+1}
S^i	R^i	Q^{i+1}
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

у положення, що забезпечують спостереження стійкого зображення.

Замалювати осцилограми вхідної і вихідної напруг тригера. На основі аналізу їхнього вигляду заповнити таблицю переходів табл. 4.4.

4.5.4. Дослідити роботу *D*-тригера і скласти його таблицю переходів.

Для цього за допомогою перемикача *SA3* задавати необхідні значення сигналу на вході *D* (аналогічно пп. 4.5.2).

На вхід синхронізації *C* сигнали генератора *G* подавати встановленням перемикача *SA4* у натиснуте положення.

Реакцію тригера визначати за світінням ламп: *HL3* – одиничний стан, *HL 4* – нульовий стан.

Результати експерименту занести у табл. 4.5.

Зверніть увагу на те, що при відповідному сигналі на інформаційному вході *D*-тригер змінює стан тільки після надходження імпульсу на його вхід синхронізації *C* (маємо синхронний тригер).

4.5.5. Дослідити роботу *JK*-тригера і скласти його таблицю переходів.

Значення вхідних сигналів задавати перемикачами *SA6* і *SA7* (аналогічно пп. 4.5.2). Сигнали тактового генератора *G* подавати на вхід синхронізації тригера установкою перемикача *SA5* у натиснений стан. Реакцію тригера визначити за світінням ламп *HL 5* (одиничний стан) і *HL 6* (нульовий стан).

Результати експерименту занести в табл. 4.6.

Зверніть увагу на те, що цей тригер синхронний, а також на те, що при одиничних сигналах на обох інформаційних входах він веде себе як *T*-тригер.

4.6. Вимкнути прилади і живлення стенда лабораторного.

Навести порядок на робочому місці.

Таблиця 4.4 – Таблиця переходів *T*-тригера

t^i	t^{i+1}
C^i	Q^{i+1}
0	
1	

Таблиця 4.5 – Таблиця переходів *D*-тригера

t^i	t^{i+1}
D^i	Q^{i+1}
0	
1	

Таблиця 4.6 – Таблиця переходів *JK*-тригера

t^i		t^{i+1}
J^i	K^i	Q^{i+1}
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

4.7. Обробка результатів експериментів

4.7.1. За осцилограмами напруг у контрольних точках симетричного мультівібратора (пп. 4.3.2) зробити висновок про співвідношення фаз напруг на колекторах транзисторів.

4.7.2. За даними табл. 4.1 розрахувати значення частоти надходження імпульсів

$$f = \frac{1}{T}$$

та щільність імпульсів

$$Q = \frac{T}{t_i}$$

симетричного мультівібратора.

Результати розрахунку занести у табл. 4.1.

4.7.3. За даними табл. 4.2 розрахувати значення частоти надходження імпульсів мультівібратора. Результати розрахунку занести у табл. 4.2 і за ними побудувати залежність

$$f = f(U_{зм}).$$

Зробити висновок про вплив напруги зміщення на частоту.

4.7.4. За осцилограмами напруг у контрольних точках мультівібратора з відтинаючими діодами (пп. 4.4.2) зробити висновок про вплив відтинаючих діодів на форму напруг.

4.7.5. За даними табл. 4.1 розрахувати значення частоти надходження імпульсів і щільності імпульсів симетричного мультівібратора з відтинаючими діодами. Результати розрахунку занести у табл. 4.1.

Зробити висновок про вплив відтинаючих діодів на параметри вихідного сигналу мультівібратора.

4.7.6. На підґрунті аналізу таблиць переходів *RS*-, *D*- та *JK*-тригерів зробити висновки про їхні специфічні властивості.

4.7.7. За осцилограмами напруг *T*-тригера (пп. 4.5.3) визначити частоти надходження імпульсів на вході і виході тригера.

Зробити висновок про співвідношення цих частот.

Визначити, при якій зміні сигналу на вході (0 – 1 чи 1 – 0) тригер змінює свій стан.

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

5.1. Імпульсні системи та параметри імпульсів і їхньої послідовності

На відміну від аналогових систем, де сигнали змінюються безперервно у часі, в імпульсних системах використовуються сигнали імпульсної форми (напряга, струм).

Імпульсні системи мають більш високі показники к.к.д., точності і завадостійкості. Більш простими є апаратні засоби подання й обробки імпульсної інформації.

Імпульсом називається короткочасна зміна напруги (струму) в електричному колі від нуля до деякого значення, тривалість якої сумірна або менша за тривалість перехідних процесів у цьому колі.

Найчастіше в електронній техніці застосовують імпульси прямокутної форми. Вид реального прямокутного імпульсу позитивної полярності зображено на рис. 4.3.

Параметри прямокутного імпульсу:

амплітуда імпульсу U_i визначає найбільше значення напруги імпульсного сигналу;

тривалість імпульсу t_i , залежно від значення напруги, на яке реагує імпульсний пристрій, вимірюють на рівні 0,1 або 0,5 U_i (останнє відповідає активній тривалості, бо характеризує енергетичну дію імпульсу);

тривалості фронту t_ϕ та зрізу (заднього фронту) $t_{зр}$ характеризують час зростання і спаду імпульсу (активні тривалості відлічуються, як час зміни напруги між рівнями 0,1 і 0,9 U_i);

ΔU – нерівномірність вершини імпульсу.

Відхилення форми імпульсу від ідеально прямокутної виникають внаслідок впливу паразитних ємностей та індуктивностей, частотних властивостей підсилюючих елементів, а також визначаються будовою генеруючих і підсилюючих пристроїв.

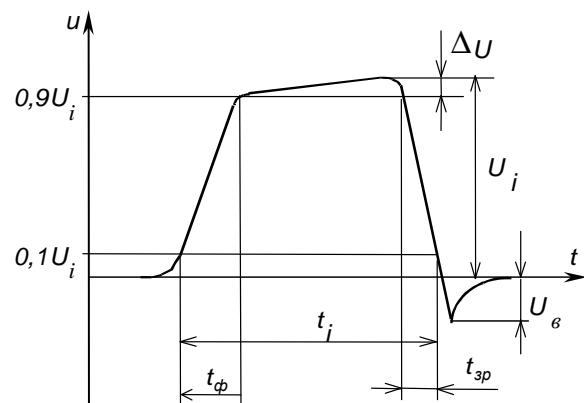


Рис. 4.3 – Параметри несиметричного імпульсу

Параметри послідовності імпульсів, зображеної на рис. 4.4:

1) період надходження імпульсів
 T – інтервал часу між однаковими точками двох сусідніх імпульсів;

2) частота повторення (надходження) імпульсів

$$f = \frac{1}{T} \quad (4.1)$$

3) тривалість паузи t_n – інтервал часу між закінченням одного і початком наступного імпульсу;

4) щільність імпульсів

$$Q = \frac{T}{t_i} \quad (4.2)$$

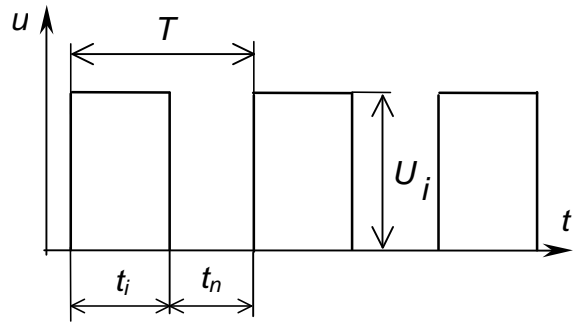


Рис. 4.4 – Параметри послідовності імпульсів

5.2. Симетричний мультівібратор на біполярних транзисторах

Мультівібратори – це релаксаційні автогенератори напруги прямокутної форми (релаксаційний – такий, що різко відрізняється від гармонійного – синусоїдного; автогенератор – пристрій, що генерує незатухаючі коливання без запуску ззовні і не має стійких станів).

Найчастіше мультівібратори працюють у автоколивальному режимі, коли мультівібратор має два нестійких (квазісталіх) стани рівноваги і переходить з одного стану в інший самочинно під впливом внутрішніх перехідних процесів. У такому режимі мультівібратор використовується як генератор прямокутної напруги.

У чекаючому режимі мультівібратор має один сталий і один квазісталий стани рівноваги. Зазвичай він знаходиться у сталому стані і переходить до квазісталого під дією зовнішнього електричного сигналу. Час перебування у квазісталому стані визначається внутрішніми процесами в схемі мультівібратора. Такі мультівібратори використовуються для формування імпульсів напруги необхідної тривалості, а також для затримки імпульсів на визначений час.

У режимі синхронізації використовується мультівібратор, що працює в автоколивальному режимі, але його перехід із одного стану в інший забезпечується зовнішньою синхронізуючою напругою. Для його нормальної

нормальної роботи у цьому режимі необхідно, щоб частота синхронізуючого сигналу перевищувала частоту власних коливань. В результаті частота коливань мультивібратора практично не залежить від дестабілізуючих факторів. Використовуються такі мультивібратори для створення генераторів стабільної частоти і при керуванні складними електронними пристроями, робота яких синхронізована якоюсь зовнішньою дією.

Мультивібратори можуть бути виконані на транзисторах, операційних підсилювачах і цифрових елементах.

Симетричний мультивібратор являє собою релаксаційний автогенератор напруги прямокутної форми, що генерує незатухаючі коливання без запуску ззовні.

На рис. 4.5 зображена схема мультивібратора на біполярних транзисторах, який виконано за симетричною схемою з колекторно-базовими зв'язками.

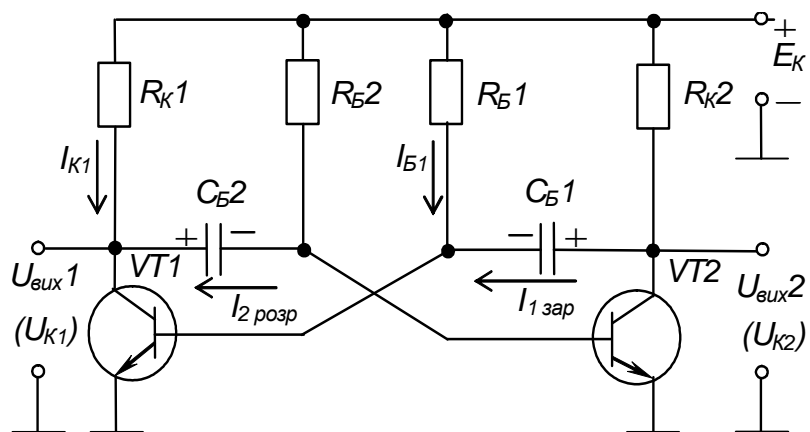


Рис. 4.5 – Мультивібратор з колекторно-базовими зв'язками

Мультивібратор складається з двох каскадів підсилення з СЕ (наприклад, $VT1$, R_{K1} , R_{B1}).

Для забезпечення позитивного зворотного зв'язку, що за його рахунок мультивібратор самозбуджується, вихідна напруга кожного з каскадів подається на вхід іншого.

Симетричність означає ідентичність параметрів симетрично розташованих елементів схеми.

Мультивібратор має два тимчасово сталих (квасталих) стани, коли один із транзисторів закритий, а другий відкритий. Транзистори працюють у ключовому режимі.

Уявимо, що початковий стан мультивібратора такий: транзистор $VT1$ знаходиться у режимі насичення (відкритий), а $VT2$ – у режимі відтинання (закритий). При цьому і надалі:

- 1) через $VT1$ і R_{K1} від E_K протікає колекторний струм насичення I_{K1} ;

2) через R_{B1} і базо-емітерний перехід $VT1$ протікає струм бази I_{B1} , що утримує цей транзистор у режимі насичення;

3) конденсатор C_{B1} швидко заряджається струмом $I_{Iзар}$ від E_K через R_{K2} і базо-емітерний перехід $VT1$;

4) конденсатор C_{B2} , заряджений із вказаною на схемі полярністю до напруги E_K (у попередньому такті роботи), через відкритий транзистор $VT1$ підімкнений до нульової точки, з-за чого через нього протікає струм $I_{2розр}$ від E_K через R_{B1} ; цей струм намагається перезарядити C_{B2} від напруги мінус E_K до напруги $+E_K$, а негативна напруга з C_{B2} подається на базу транзистора $VT2$ відносно його емітера і утримує транзистор у закритому стані;

5) процес перезаряду конденсатора C_{B2} триває доти, доки напруга на ньому не перетне нульового рівня і не стане вищою за граничну напругу базо-емітерного переходу транзистора $VT2$ ($U_{BEнас} \approx 0,6$ В), після чого потече базовий струм $VT2$ і він почне відкриватися;

б) через $VT2$, що перейшов у активний режим, конденсатор C_{B1} обкладкою «+» підмикається до нульової точки, і негативна напруга з C_{B2} подається на базу $VT1$ відносно його емітера, закриваючи транзистор;

7) як тільки $VT1$ починає закриватися, збільшується позитивна напруга на його колекторі і починає заряджатися C_{B2} від E_K через R_{K1} і базо-емітерний перехід $VT2$, за рахунок чого останній відкривається ще більше – діє позитивний зворотний зв'язок. У результаті цього розвивається лавино-подібний регенеративний процес, після закінчення якого $VT1$ повністю закривається, а $VT2$ відкривається і мультивібратор переходить до свого другого квазісталого стану.

Далі процеси протікають аналогічно, тільки тепер заряджається C_{B2} , а перезаряджається C_{B1} .

Таким чином, робота схеми забезпечується за рахунок автоматичної комутації конденсаторів ключами-транзисторами.

Умовами працездатності мультивібратора є:

$$\begin{aligned} R_{K2} \cdot C_{B1} &< R_{B2} \cdot C_{B2} ; \\ R_{K1} \cdot C_{B2} &< R_{B1} \cdot C_{B1}. \end{aligned} \quad (4.3)$$

Переходячи періодично з одного квазісталого стану в другий, мультивібратор формує напругу прямокутної форми, яку можна знімати з колектора будь-якого транзистора.

Описані процеси представлені у вигляді часових діаграм на рис. 4.6.

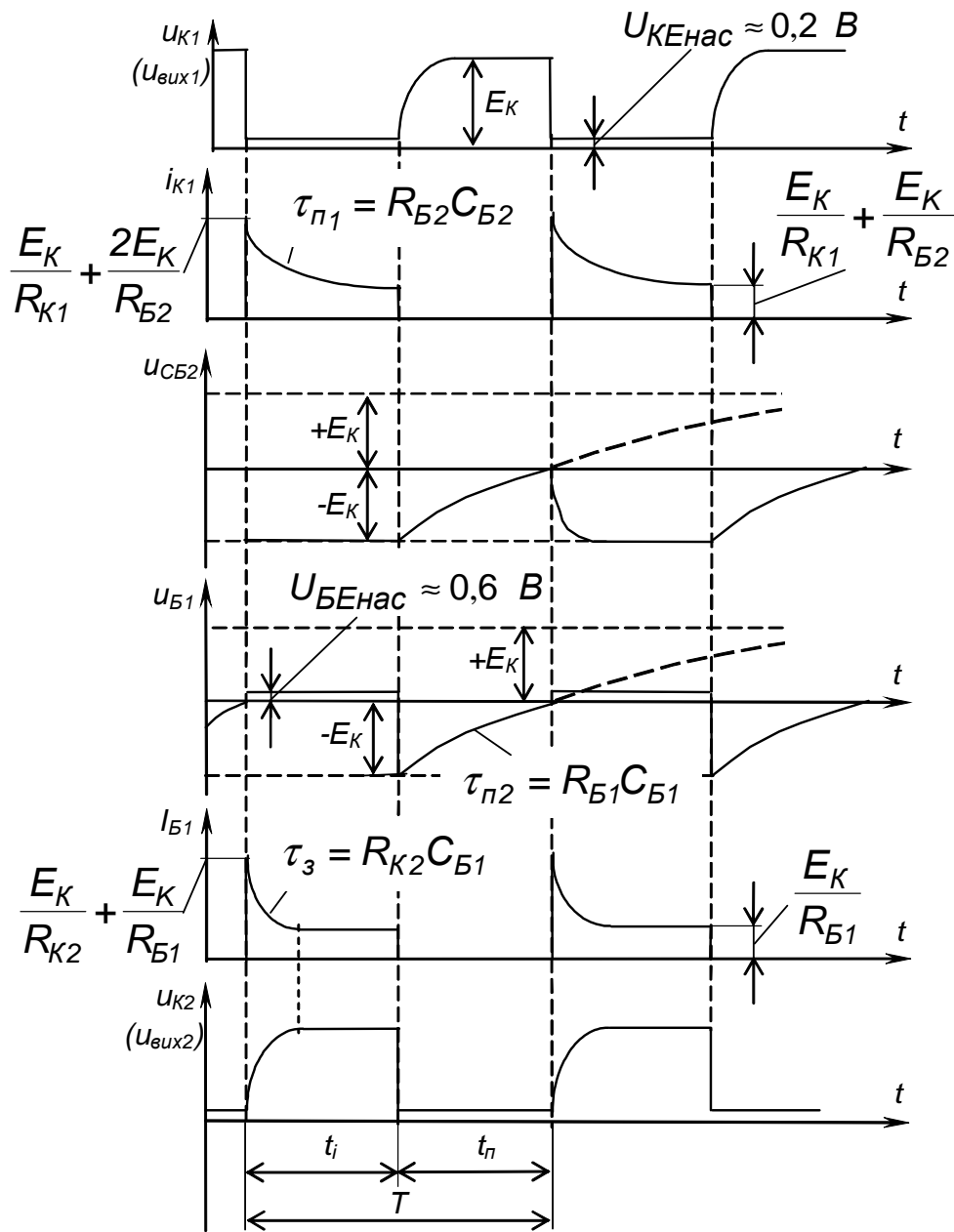


Рис. 4.6 - Часові діаграми роботи мультивібратора з колекторно-базовими зв'язками

Тривалість імпульсів, що знімаються з колекторів транзисторів $VT1$ і $VT2$, становить відповідно

$$t_1 \approx 0,7R_{B1} \cdot C_{B1}; \quad (4.4)$$

$$t_2 \approx 0,7R_{B2} \cdot C_{B2}. \quad (4.5)$$

Вона визначається параметрами елементів часозадаючих ланцюжків R_B, C_B , яким відповідає стала часу перезаряду $\tau_n = R_B C_B$.

Період надходження імпульсів

$$T \approx t_1 + t_2. \quad (4.6)$$

Для симетричного мультівібратора

$$T \approx 1,4R_B \cdot C_B. \quad (4.7)$$

Співвідношення величин t_1 і t_2 (щілинність) можна змінювати, порушуючи симетрію схеми: наприклад, збільшуючи опір одного з базових резисторів і пропорційно зменшуючи опір іншого (за допомогою резистора R_5 на рис. 4.1). При цьому тривалість періоду надходження імпульсів залишається незмінною.

Якщо змінювати опір тільки одного базового резистора або ємність одного з конденсаторів часозадаючого ланцюжка, то при постійній тривалості імпульсу (або паузи) будуть змінюватися і частота, і щілинність.

Частоту мультівібратора також можна регулювати зміною напруги, до якої намагається перезарядитися

конденсатор: змінюючи значення напруги зсуву резистором R_I на рис. 4.1. При цьому конденсатор як і раніше заряджається до напруги $+E_K$, а перезарядитися намагається з тією ж сталою часу τ_n від мінус E_K , але не до $+E_K$, а до $+U_{3M}$, як показано на рис. 4.7.

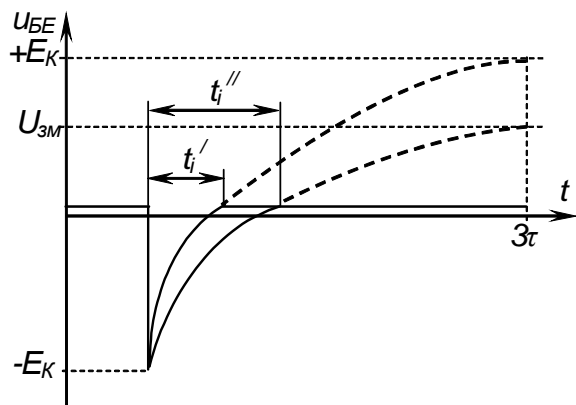


Рис. 4.7 – Регулювання частоти мультівібратора зміною напруги зсуву

У результаті за тих же параметрів часозадаючих кіл (R_{B1} , C_{B1} і R_{B2} , C_{B2}) частота надходження імпульсів буде меншою.

5.3. Симетричний мультівібратор на біполярних транзисторах з відтинаючими діодами

Недоліком розглянутої схеми мультівібратора є значне спотворення фронту генерованих імпульсів. Це відбувається через те, що вихідним сигналом пристрою є напруга, що знімається з транзисторного ключа і під'єднаного паралельно до нього конденсатора – фактично це є напруга на конденсаторі, що заряджається. Скоротити тривалості фронтів (час заряду конденсаторів) можна зменшивши опір колекторних резисторів R_{K1} і R_{K2} .

Але це призведе до значних енергетичних втрат: через транзистори у режимі насичення буде протікати значний струм.

Одержати тривалість фронту практично рівною тривалості зрізу дозволяє схема мультивібратора з відтинаючими діодами, наведена на рис. 4.8.

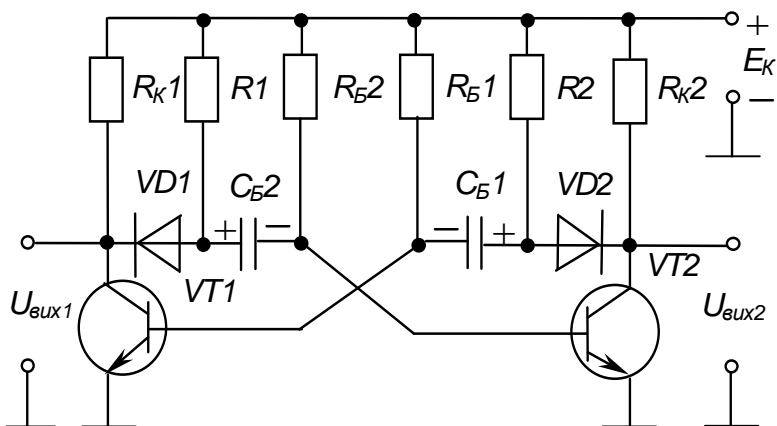


Рис. 4.8 – Мультивібратор з відтинаючими діодами

Від схеми, зображеної на рис. 4.5, вона відрізняється тим, що до неї введено два допоміжні

резистори R_1 і R_2 (з опором зазвичай рівним R_K) і два діодні ключі: $VD1$ і $VD2$. Діоди відтинають кола заряду конденсаторів від колекторів транзисторів: заряд відбувається, наприклад, не через R_{K1} , а через R_1 . Перезаряджання конденсаторам діоди не заважають. Струм перезаряду, наприклад, C_{B2} протікає від $+E_K$ через R_{B2} , $VD1$ і $VT1$.

Тепер тривалості фронту і зрізу визначаються лише частотними властивостями транзисторів і діодів, а також паразитними ємностями.

5.4. Тригери на ІМС

Тригером називається електронний пристрій, що має два сталих стани рівноваги і може переходити із одного стану в інший під дією керуючого сигналу, що перевищує деякий рівень – поріг спрацьовування пристрою. За відсутності керуючого сигналу тригер може як завгодно довго знаходитися в одному зі сталих станів.

Тригери можуть виконувати функції реле, перемикачів, елементів пам'яті. На їх основі будуються лічильники, регістри, дільники частоти та інші пристрої з пам'яттю, що відносяться до класу цифрових послідовних – у яких стан залежить не тільки від комбінації вхідних сигналів у даний момент часу, але і від стану в попередній момент часу.

Тригери будують на транзисторах, тиристорах та інших електронних приладах. Сучасні тригери, як правило, будують на основі двокаскадних

підсилювачів з позитивним зворотним зв'язком. Тригери у інтегральному виконанні будують на логічних цифрових елементах.

Тригер на цифрових елементах має у своєму складі власне тригер (як пристрій із двома стійкими станами – елемент пам'яті) і логічний пристрій керування (ПК), що визначає функціональні можливості тригера. ПК перетворює інформацію, що надходить на його входи, у сигнали, що керують елементом пам'яті.

За способом запису інформації тригери поділяються на асинхронні, у яких запис інформації в елемент пам'яті відбувається у момент надходження сигналів на інформаційні входи ПК, і синхронні, у яких запис відбувається тільки після надходження синхронізуючого (тактуючого) сигналу на тактовий вхід ПК.

Робота тригерів (як і послідовнісних пристроїв взагалі) описується таблицями переходів, стовпці яких відповідають значенням вхідних сигналів у даний момент часу t^i і стану тригера у наступний момент часу t^{i+1} , а кількість рядків дорівнює кількості можливих комбінацій вхідних сигналів. Вхідні сигнали і стани позначають нулями й одиницями.

Тригер має два виходи, наявність високого рівня напруги на одному з яких відповідає одиничному (зведеному) стану – прямий вихід Q , а на іншому – нульовому (скиненому) стану – інверсний вихід \bar{Q} .

Стани тригерів позначають так:

0 – тригер знаходиться у нульовому стані незалежно від сигналів на входах ($Q = 0$);

1 – тригер знаходиться в одиничному стані незалежно від сигналів на його входах ($Q = 1$);

Q – стан тригера не змінюється зі зміною інформації на входах;

\bar{Q} – стан тригера змінюється на протилежний при зміні інформації на входах;

X – невизначений стан (коли після отримання інформаційного сигналу тригер рівноможливо може опинитися у будь-якому сталому стані і, за відсутності зовнішніх сигналів керування, може знаходитися у ньому скільки завгодно довго (але тільки за наявності живлення – маємо енергозалежну пам'ять).

Найчастіше застосовуються кілька різновидів тригерів (з практично необмеженого числа можливих).

Розглянемо тригери, що досліджуються у даній роботі.

Умовне позначення асинхронного RS -тригера з інверсними входами наведено на рис. 4.9, а його робота описана таблицею переходів табл. 4.7.

З таблиці видно, що встановлення тригера у одиничний стан забезпечується подачею 0 (напруги низького рівня) на вхід S при 1 (напрузі високого рівня) на вході R (тригер керується нульовими сигналами).

Для встановлення тригера у нульовий стан комбінація вхідних сигналів повинна бути зворотною.

За умови наявності одиничних сигналів на обох входах стан тригера залишається незмінним як завгодно довго (режим збереження інформації).

Нульові сигнали на обох входах переводять тригер у невизначений стан (оскільки керуючими сигналами є нулі, то тригер у даному разі ніби повинен одночасно встановлюватися в обидва стани).

Умовне позначення T -тригера показано на рис. 4.10, а робота описана табл. 4.8.

Цей тригер має тільки один тактовий вхід, а його стан змінюється на протилежний із надходженням на вхід кожного тактового імпульсу, у даному випадку при зміні стану на вході з 1 на 0. Такі тригери застосовують у лічильниках імпульсів і дільниках частоти.

Умовне позначення D -тригера показано на рис. 4.11, а робота описана табл. 4.9.

Цей тригер має один інформаційний вхід і один тактовий. Стан тригера у наступний момент

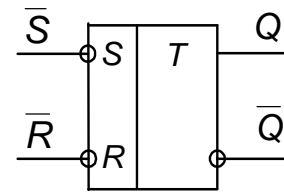


Рис. 4.9 – Умовне позначення RS -тригера

Таблиця 4.7 –
Таблиця переходів асинхронного RS -тригера

з інверсними входами

t^i		t^{i+1}
\bar{S}^i	\bar{R}^i	Q^{i+1}
0	0	X
0	1	1
1	0	0
1	1	Q^i

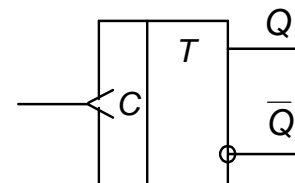


Рис. 4.10 – Умовне позначення T -тригера

Таблиця 4.8 – Таблиця переходів T -тригера

t^i	t^{i+1}
C^i	Q^{i+1}
0	\bar{Q}^i
1	Q^i

часу відповідає стану інформаційного входу на даний момент (здійснюється затримка передачі інформації на вихід на один такт – період – синхронізуючих імпульсів).

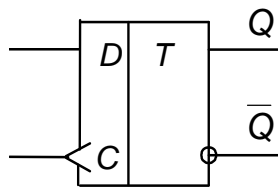


Рис. 4.11 – Умовне позначення *D*-тригера

Таблиця 4.9 –
Таблиця переходів
D-тригера

t^i	t^{i+1}
D^i	Q^{i+1}
0	0
1	1

D-тригери часто використовуються для створення регістрів пам'яті (наприклад, пристрою керування дисплеєм у цифровому вольтметрі).

Умовне позначення *JK*-тригера наведено на рис. 4.12, а робота його описана табл. 4.10.

JK-тригер багато у чому аналогічний асинхронному *RS*-тригеру з прямими входами (керованому одиничними сигналами). Роль входів *S* і *R* виконують входи *J* і *K*. Тільки при подачі на обидва інформаційні входи одиничних сигналів тригер при надходженні тактового імпульсу переходить в стан, протилежний попередньому як *T*-тригер, а не у невідзначений як *RS*-тригер.

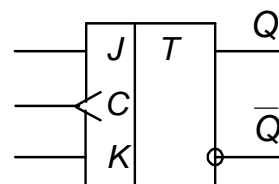


Рис. 4.12 – Умовне позначення *JK*-тригера

JK-тригер є універсальним, бо може виконувати роль *RS*-, *T*- або *D*-тригера при певних зовнішніх з'єднаннях.

Зазвичай у одному корпусі ІМС міститься від одного до чотирьох тригерів (іноді зі спільними колами керування). Вони можуть мати також додаткові входи, наприклад, установки у нульовий стан – *R*.

Таблиця 4.10 –
Таблиця переходів
JK-тригера

t^i		t^{i+1}
J^i	K^i	Q^{i+1}
0	0	Q^i
0	1	0
1	0	1
1	1	\bar{Q}

Контрольні запитання

- 1) Поясніть, що таке мультивібратор, у яких режимах можуть працювати мультивібратори, для чого вони призначені?
- 2) Поясніть характер осцилограм напруг симетричного мультивібратора на біполярних транзисторах.
- 3) Поясніть, як можна змінювати частоту надходження імпульсів мультивібратора на біполярних транзисторах?

4) Поясніть, як можна змінювати щільність імпульсів мультівібратора.

5) Покажіть шляхи протікання струмів у мультівібраторі.

6) Поясніть причину спотворення фронту і Як можна поліпшити форму імпульсів мультівібратора на біполярних транзисторах?

7) Поясніть будову, властивості і призначення тригерів, способи опису їхньої роботи.

8) Вкажіть різницю між асинхронним і синхронним тригерами.

9) Поясніть, як працюють RS-тригер, T-тригер, D-тригер, JK-тригер.

ЛІТЕРАТУРА

3. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. - пп. 5.1 – 5.3, розділ 7.

4. Колонтаєвський, Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум [Текст]: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) – пп. 5.1 – 5.3, розділ 7.

5. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - с. 195-199, 223-232.

6. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - с. 176-178, 187, 231-239.

7. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - с. 106-108, 119, 154-160.

8. Красько А.С., Скачко К.Г. Промышленная электроника [Текст]: учебное пособие для теплоэнергетических спец. вузов / А.С. Красько, К.Г. Скачко – Минск: Высшейшая школа, 1984, 208 с. - с. 133-134, 144-151, 156-158.

Лабораторна робота №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ НА ІМС

1. МЕТА РОБОТИ

- 1) Дослідження логічних елементів.
- 2) Дослідження реверсивного двійково-десятькового лічильника і двійково-десятькового дешифратора.

2. ОБЛАДНАННЯ

- 1) Стенд лабораторний № 5, 6.
- 2) Мультиметр ВР11.
- 3) Осцилограф С1-93 (С1-83).

3. ЗМІСТ РОБОТИ

- 1) Дослідження роботи логічного елемента НІ у статичному і динамічному режимах.
- 2) Дослідження роботи двохходових логічних елементів АБО-НІ, І та І-НІ у статичному і динамічному режимах.
- 3) Дослідження роботи дворозрядного реверсивного двійково-десятькового лічильника.
- 4) Дослідження роботи дешифратора, що перетворює двійково-десятьковий код у десятковий.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Ознайомитися з робочим місцем і приладами.
- 4.2. Ввімкнути вимірювальні прилади і живлення стенда лабораторного. Тумблер у середній частині лицьової панелі стенда (між мнемосхемами) встановити у ліве положення.
- 4.3. Дослідження роботи логічних елементів робити за допомогою схеми, зображеної на рис. 5.1 (верхня мнемосхема на лівій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

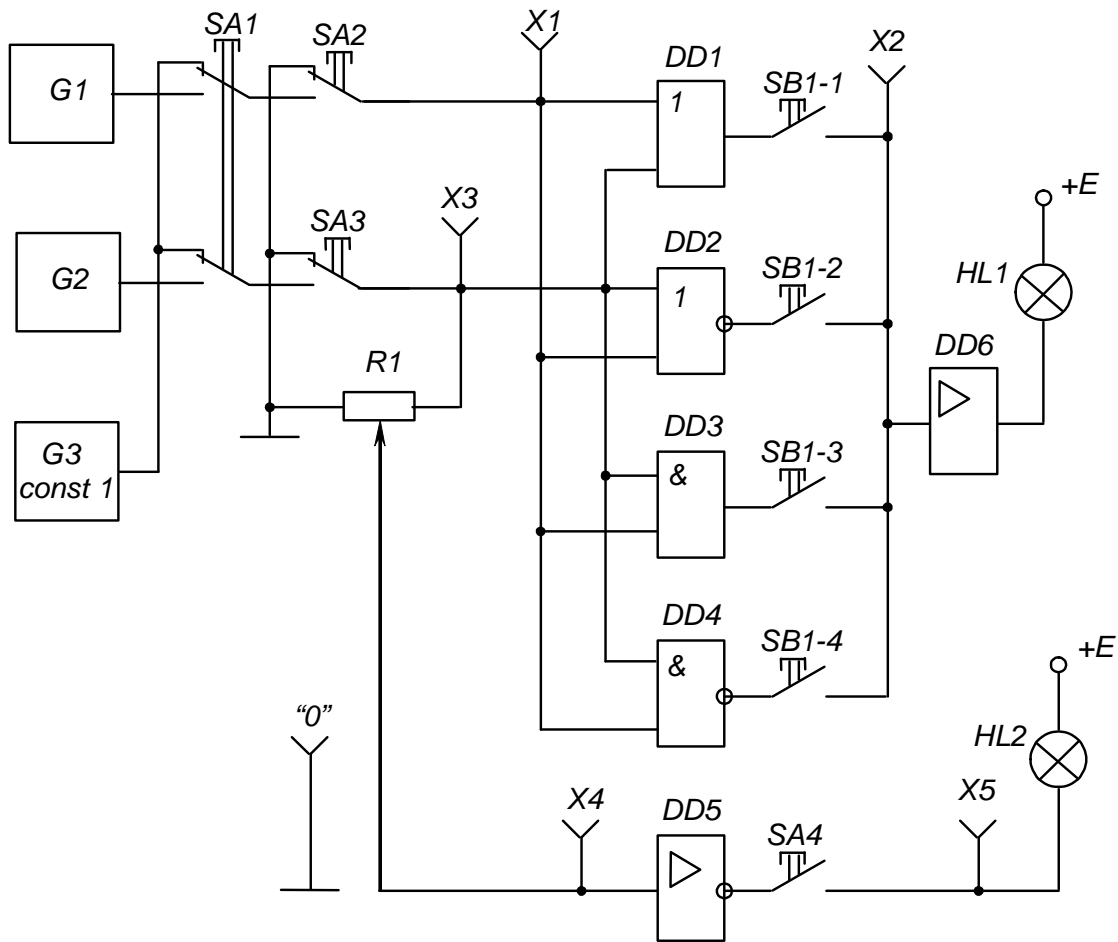


Рис. 5.1 – Схема для дослідження логічних елементів

4.4. Дослідження роботи логічного елемента НІ у статичному режимі

4.4.1. Установити границю виміру мультиметра „20 V” за постійним струмом і підімкнути його до клем $X4$ та „1”, дотримуючись полярності.

Перемикачі $SA3$ і $SA4$ встановити у натиснуте положення, а всі інші – у ненатиснуте.

4.4.2. Обертаючи ручку резистора R_1 із крайнього лівого положення за годинниковою стрілкою, зафіксувати момент згасання індикаторної лампи $HL2$.

Записати значення вхідної напруги елемента, що відповідає його порогу спрацьовування.

4.4.3. Установивши ручку резистора R_1 у крайнє праве положення, записати максимальне значення напруги вхідного сигналу (дорівнює напрузі джерела живлення $+E$).

Вимкнути і від’єднати мультиметр.

4.5. Дослідження роботи логічного елемента НІ у динамічному режимі

Перемикачі $SA1$, $SA3$ і $SA4$ встановити у натиснуте положення, інші – у ненатиснуте.

Кабель першого каналу осцилографа підключити до клем $X4$ і „1”, а другого – до клем $X5$ і „1” сигнальними і нульовими провідниками відповідно. При крайньому правому положенні ручки резистора R_1 установити органи керування осцилографа в положення, що забезпечують спостереження стійкого зображення.

Замалювати осцилограми імпульсів напруги на вході і виході елемента НІ.

4.6. Дослідження роботи двохходових логічних елементів АБО-НІ, І та І-НІ у статичному режимі

Підмикання виходу необхідного досліджуваного елемента до підсилювача $DD6$ і сигнальної лампи $HL1$ виконується встановленням відповідної кнопки перемикача $SB1$ у натиснуте положення.

Завдання необхідних комбінацій вхідних сигналів для кожного елемента робити перемикачами $SA2$ і $SA3$ (при ненатиснутому положенні перемикача $SA1$).

Натиснуте положення перемикача відповідає одиничному сигналу (світиться сигнальна лампа біля кнопки перемикача), ненатиснуте – нульовому (лампа не світиться).

Вид вихідних сигналів елемента визначається за сигнальною лампою HL (за наявності одиничного сигналу вона світиться, за нульового – ні). Результати експерименту занести в узагальнену таблицю істинності табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Узагальнена таблиця істинності логічних елементів

Вхідні сигнали		Вихідний сигнал			
$SA2$	$SA3$	$DD1$ (АБО)	$DD2$ (АБО-НІ)	$DD3$ (І)	$DD4$ (І-НІ)
0	0				
0	1				
1	0				
1	1				

4.7. Дослідження роботи двовходових логічних елементів у динамічному режимі

4.7.1. Перемикачі *SA1*, *SA2*, *SA3* встановити у натиснуте положення, що забезпечить автоматичну подачу сигналів на входи логічних елементів від генераторів *G1* і *G2*.

Кабель першого каналу осцилографа підімкнути до клем *X3* і „ \perp ”, а другого – до клем *X1* і „ \perp ”.

Зарисувати одну під одною осцилограми імпульсів генераторів *G2* і *G1*, що забезпечують подачу сигналів на входи досліджуваних логічних елементів у динамічному режимі (відповідні послідовності низьких і високих рівнів напруги - нулів і одиниць).

4.7.2. Перенести сигнальний провід кабелю другого каналу осцилографа з клем *X1* на клему *X2*.

4.7.3. Перевести перемикач *SA2* у ненатиснуте положення і знову замалювати осцилограми вихідних сигналів досліджуваних елементів.

Замалювати осцилограми вихідних сигналів досліджуваних елементів, підмикаючи їхні виходи до клем *X2* за допомогою перемикача *SBI* (дотримуватись необхідної орієнтації осцилограм відносно сигналів генераторів *G1* і *G2*, звіряючись з осцилограмою першого каналу осцилографа).

4.8. Дослідження роботи дворозрядного реверсивного двійково-десятькового лічильника і двійково-десятькового дешифратора

4.8.1. Дослідження роботи лічильника і дешифратора виконувати за допомогою схеми, наведеної на рис. 5.2 (нижня мнемосхема на лівій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

4.8.2. Очистити лічильник (установити в нульовий стан) натисканням кнопки *SA3*.

Встановити у натиснуте положення перемикачі *SA1* і *SBI-1* – задання роботи лічильника у режимі підсумовування.

Подаючи сигнали (імпульси) на вхід лічильника натисканням кнопки *SA2*, фіксувати стан лічильника за сигнальними лампами, що підключені до виходів його розрядів: „ 2^0 ”, „ 2^1 ”, „ 2^2 ”, „ 2^3 ” (світяться при одиничних станах виходів). Кожне натискання на кнопку *SA2* збільшує вміст лічильника на одиницю. Двійково-десятьковий код лічильника за допомогою де-

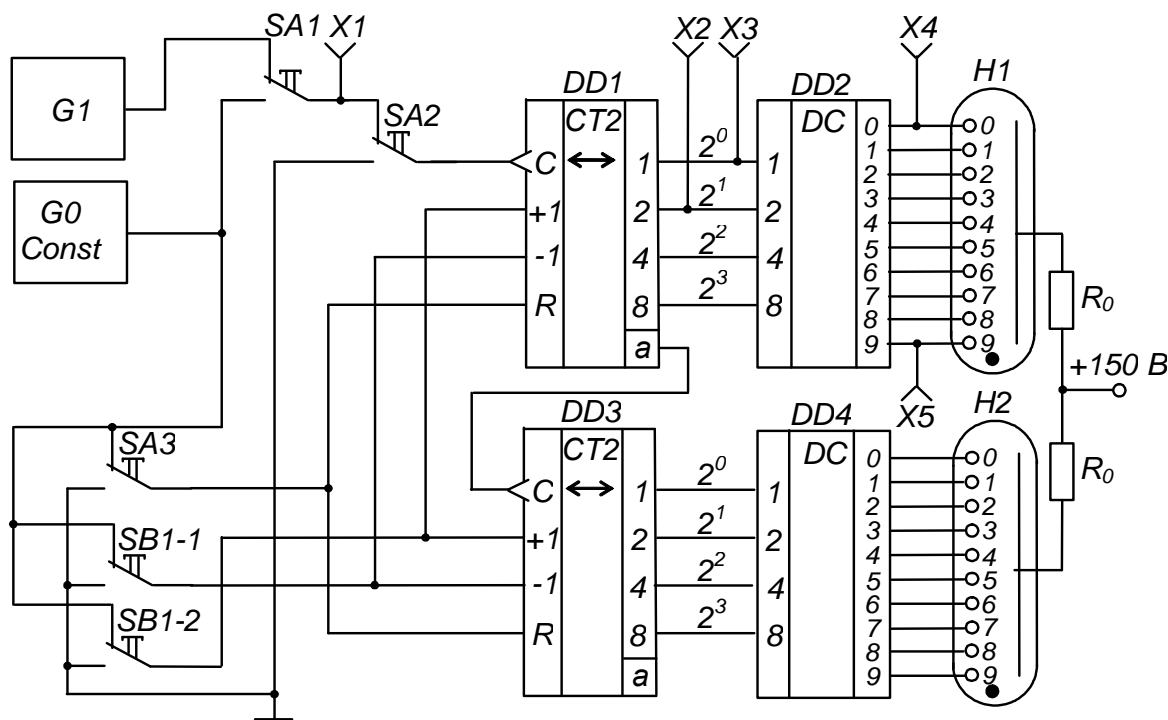


Рис. 5.2 – Схема для дослідження дворозрядного реверсивного двійково-десятькового лічильника і двійково-десятькового дешифратора

шифраторів $DD2$, $DD4$ перетворюється на сигнали керування цифровими індикаторами: порядковий номер вхідного імпульсу фіксується індикаторами $H1$, $H2$.

Заповнити таблицю переходів лічильника – табл. 5.2.

Зверніть увагу, що при подачі десятого імпульсу перший розряд лічильника $DD1$ (розряд одиниць) переходить у нульовий стан і відбувається запис одиниці у другий розряд $DD2$ (розряд десятків).

4.8.3. Встановити перемикач $SB1-2$ у натиснуте положення – задати роботу лічильника у режимі віднімання.

Тепер кожне натискання на кнопку $SA2$ призводить до зменшення вмісту лічильника на одиницю (контролювати за індикаторними лампами і порівнювати з табл. 5.2).

4.8.4. Встановити перемикач $SA1$ у ненатиснуте положення і, задаючи режим підсумовування встановленням у натиснуте положення перемикач $SB1-1$, або віднімання – встановленням $SB1-2$ у ненатиснуте положення, спостерігати за роботою лічильника в автоматичному режимі при подачі вхідних сигналів від генератора $G1$.

Таблиця 5.2 - Таблиця переходів двійково-десятькового лічильника

Номер вхідного імпульсу	Стан розрядів лічильника			
	2^3	2^2	2^1	2^0
0 *)				
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

*) Відповідає нульовому (вихідному) стану лічильника.

4.8.5. Встановити перемикач *SB1-1* у натиснуте положення (режим підсумовування).

Підімкнути кабель першого каналу осцилографа до клем *X1* та „ \perp ”, а другого – до клем *X3* і „ \perp ” (перемикач осцилографа „*Развёртка*” встановити у положення „*0,2 S*”).

Замалювати осцилограми вхідних сигналів лічильника (клема *X1*) і сигналів на виході молодшого розряду лічильника 2^0 (клема *X3*).

Перенести сигнальний провід кабелю другого каналу осцилографа з клеми *X3* на клему *X2* і замалювати осцилограму сигналів на виході другого розряду лічильника 2^1 . Звернути увагу на її характер при надходженні кожного десятого вхідного імпульсу.

4.9. Дослідження роботи двійково-десятькового дешифратора

Підімкнути кабель першого каналу осцилографа до клем *X3* та „ \perp ”, а другого - до клем *X4* і „ \perp ”. Замалювати осцилограми сигналів на виході першого розряду лічильника і нульовому виході дешифратора.

Перенести сигнальний провід кабелю першого каналу з клеми *X3* на клему *X5* і замалювати осцилограму сигналу на дев'ятому виході дешифратора, орієнтуючи її за осцилограмою другого каналу.

4.10. Вимкнути прилади і живлення стенда лабораторного.

Навести порядок на робочому місці.

4.11. Обробка результатів експериментів

1) За результатами досліджень пп. 4.4 зробити висновок про співвідношення значень напруги одиничного вхідного сигналу елемента НІ (напруги джерела живлення) і напруги порога спрацьовування елемента.

2) За осцилограмами пп. 4.5 зробити висновок про фазове співвідношення вхідного і вихідного сигналів елемента НІ.

3) На основі аналізу таблиці істинності табл. 5.1 зробити висновок про специфіку роботи логічних елементів АБО, АБО-НІ, І, І-НІ.

4) Зіставити результати дослідження логічних елементів у статичному (пп. 4.6) і динамічному (пп. 4.7) режимах. Звернути увагу на те, що при ненатиснутому положенні перемикача *SA3* елемент АБО стає повторювачем сигналу, АБО-НІ – інвертором, І – генератором константи нуля – $\text{const } 0$, а І-НІ – генератором константи одиниці – $\text{const } 1$.

5) За осцилограмами пп. 4.8.5 зробити висновок про співвідношення тривалості періодів надходження імпульсів на вході і виходах лічильника.

6) На основі аналізу осцилограм за пп. 4.9 зробити висновок про моменти появи сигналів на виходах дешифратора.

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

Основу сучасних цифрових пристроїв обробки інформації складають цифрові ІМС, призначені для перетворення й обробки інформації, представленої у вигляді електричних сигналів, що змінюються за законом дискретної функції (у двійковому або іншому дискретному коді).

Аналіз роботи цих пристроїв базується на використанні апарата математичної логіки – алгебри логіки (алгебри Буля). У її основі лежить поняття події, що оцінюється з позиції її настання: вона може настати, або не настати. Отже, кожній події можна приписати значення істинності, що моделюється, наприклад, одиницею (при електричному моделюванні - високим рівнем напруги), або хибності, що моделюється нулем (низьким рівнем напруги).

Обробка інформації, поданої у вигляді подій, ведеться у двійковій системі числення, де є тільки дві цифри: 0 і 1. Величина, котра може приймати тільки ці два значення, називається двійковою змінною.

Складна подія, що залежить від декількох двійкових змінних, називається двійковою функцією:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad x = [1,0]. \quad (5.1)$$

Цифрові пристрої поділяються на два великих класи: комбінаційні і послідовні.

Комбінаційні пристрої реалізують функції, що залежать тільки від комбінації вхідних сигналів у даний момент часу і не залежать від стану пристрою в попередній момент часу.

Послідовні пристрої реалізують функції, що залежать не тільки від комбінації вхідних сигналів у даний момент часу, але і від стану пристрою в попередній момент часу (тобто вони мають здатність запам'ятовувати свій стан).

Найпростішою логічною функцією є заперечення (інверсія):

$$y = \bar{x}. \quad (5.2)$$

Позначення елемента, що реалізує цю функцію – елемента НІ (інвертора) – наведене на рис. 5.3.

У якості елемента НІ можна використати підсилювач з СЕ, що працює у ключовому режимі: за наявності високого рівня напруги на вході на виході буде низький рівень, і навпаки.

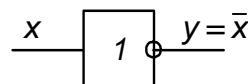


Рис. 5.3 – Елемент НІ (інвертор)

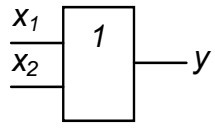
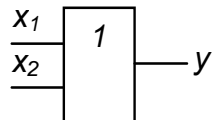
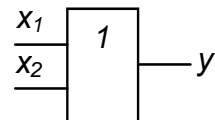
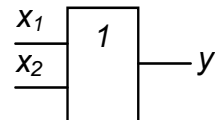
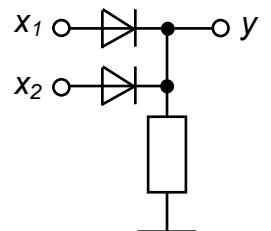
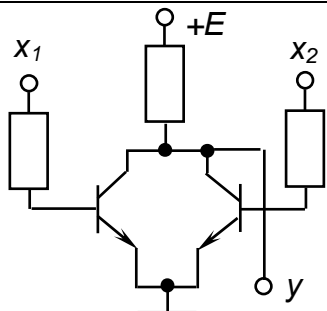
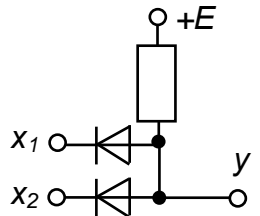
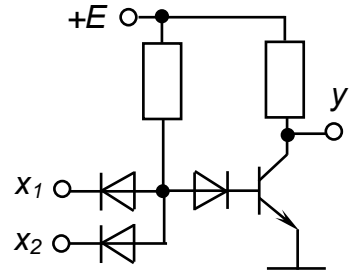
Функцію, що її виконує комбінаційний пристрій, для полегшення сприйняття часто представляють у вигляді таблиці, яку називають таблицею істинності.

Таблиця істинності має кількість стовпців, що дорівнює кількості вхідних змінних і ще один стовпець, що показує значення функції для кожної з можливих комбінацій змінних, числу яких відповідає кількість рядків таблиці.

Об'єднана таблиця істинності деяких основних логічних функцій, що залежать від двох змінних, наведена у верхній частині табл. 5.3. У нижній її частині міститься інформація про математичне представлення функцій, їхнє графічне позначення і можливу реалізацію.

Таблиця 5.3 – Об'єднана таблиця істинності деяких двовходових логічних елементів

Таблиця 5.3 – Об'єднана таблиця істинності деяких двовходових логічних елементів

Вхідні змінні		Функція y			
x_1	x_2	АБО	АБО-НІ	І	І-НІ
0	0	0	1	0	1
0	1	1	0	0	1
1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	0
Математичний запис (формула)		$y = x_1 + x_2 = x_1 \vee x_2$	$y = \overline{x_1 + x_2}$	$y = x_1 \cdot x_2 = x_1 \wedge x_2$	$y = \overline{x_1 \cdot x_2}$
Назва функції		Логічне додавання (диз'юнкція) – функція АБО	Заперечення логічного додавання (стрілка Пірса) – функція АБО-НІ	Логічне множення (кон'юнкція) – функція І	Заперечення логічного множення (штрих Шеффера) – функція І-НІ
Графічне позначення елемента, що реалізує функцію					
Можлива реалізація		 Резисторно-діодна логіка (РДЛ)	 Резисторно-транзисторна логіка (РТЛ)	 Резисторно-діодна логіка (РДЛ)	 Резисторно-діодно-транзисторна логіка (РДТЛ)

З таблиці істинності видно, що, наприклад, функція АБО істинна, якщо істинною є хоча б одна зі змінних, що до неї входять, а функція І – тільки у випадку істинності обох змінних.

У статичному режимі робота логічних елементів досліджується при завданні на їхніх входах необхідних значень змінних і спостереженні значення на виході елемента.

У динамічному режимі завдання значень вхідних змінних здійснюється за допомогою синхронних генераторів імпульсів такої довжини, що перебір усіх можливих комбінацій вхідних сигналів забезпечується автоматично.

На рис. 5.4 показані часові діаграми роботи логічних елементів, наведених у табл. 5.3 у динамічному режимі (порівняйте дані таблиці з часовими діаграмами)

Кількість вхідних змінних логічного елемента теоретично може бути будь-якою. У елементів, що випускаються у вигляді ІМС середнього ступеня інтеграції, вона зазвичай становить 2 (чотири елементи в одному корпусі зі спільними колами живлення), 3 (три елементи у корпусі), 4 (два елементи), 8 (один елемент). Найчастіше це елементи І-НІ та АБО-НІ (як такі, що складають функціонально повну систему логічних елементів).

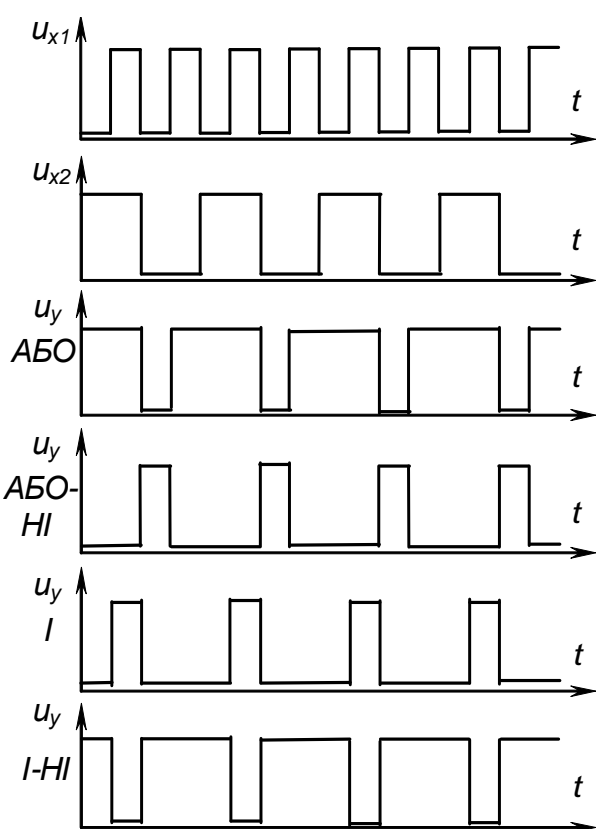


Рис. 5.4 – Часові діаграми роботи деяких двовходових логічних елементів

Складні логічні функції реалізуються за допомогою простих.

Наприклад, функція

$$y = \overline{\overline{(x_1 + x_2 + x_3)} \cdot \overline{x_1 + x_5 + x_4 + x_5}} \quad (5.3)$$

може бути реалізована за допомогою схеми, наведеної на рис. 5.5.

При реалізації складних комбінаційних пристроїв їх спочатку описують за допомогою логічних функцій. Потім ці функції мінімізують на ос-

нові законів алгебри логіки з урахуванням специфіки застосовуваних стандартних елементів (кількість входів), наявності необхідних елементів у використаній серії ІМС. Будь-який як зазвичай складний пристрій може бути реалізований за допомогою елементів І, АБО, НІ або тільки елементів АБО-НІ, або тільки І-НІ. Система таких елементів (із трьох, як І, АБО, НІ, або одного, як АБО-НІ чи І-НІ) називається функціонально повною.

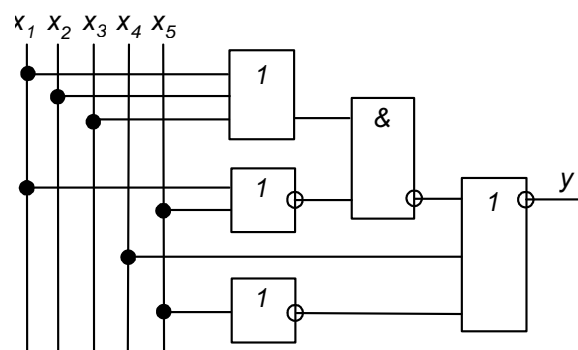


Рис. 5.5 – Приклад схемної реалізації логічної функції

Одними з найбільш широко застосовуваних різновидів комбінаційних пристроїв більш складних, ніж розглянуті логічні елементи, що реалізують найпростіші функції, є дешифратори.

Дешифратори (декодери) кожній комбінації вхідних сигналів ставлять у відповідність визначену комбінацію вихідних.

Наприклад, у досліджуваного в роботі двійково-десятькового дешифратора кожній комбінації нулів і одиниць на входах відповідає нульовий рівень на одному з виходів, кожний з яких керує відповідним електродом десятичного індикатора. Тобто, двійково-десятьковий код за допомогою цього пристрою перетворюється у десятиковий. Будується дешифратор на елементах, що реалізують прості логічні функції.

Однією з найбільш розповсюджених операцій у пристроях інформаційно-обчислювальної і цифрової вимірювальної техніки є фіксування кількості імпульсів, тобто їх підрахунок. Виконують цю операцію лічильники імпульсів, що можуть бути простими (підсумовуючими, віднімаючими) або реверсивними (суміщають властивості підсумовуючих і віднімаючих – можуть працювати у тому або іншому режимі за зовнішньою командою).

Зазвичай лічильники будуються на основі тригерів (наприклад, T -тригерів, з'єднаних послідовно).

Максимальне число станів такого лічильника дорівнює 2^n , де n – число двійкових розрядів – тригерів.

Роботу лічильника можна описати таблицею переходів, що показує відповідність між числом вхідних імпульсів і сигналами на виходах розрядів. Робота підсумовуючого послідовного чотирьохрозрядного двійкового лічильника описується табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Таблиця переходів підсумовуючого послідовного чотирирозрядного двійкового лічильника

Число вхідних імпульсів (стан)	Стан виходів (розрядів) лічильника			
	Q_8	Q_4	Q_2	Q_1
	2^3	2^2	2^1	2^0
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
16	0	0	0	0

Як видно з цієї таблиці, код на виходах лічильника є послідовним двійковим. Це є код з вагами розрядів 8, 4, 2, 1.

Для зручності реалізації на стандартних ІМС середнього ступеню інтеграції пристроїв, що забезпечують підрахунок у десятковій системі числення, використовують двійково-десяткові лічильники. Вони відрізняються від послідовних чотирьохрозрядних двійкових тим, що мають не шістнадцять станів (від 0 до 15), а десять (від 0 до 9). Тобто перехід лічильника у нульовий стан відбувається після надходження не кожного шістнадцятого, а кожного десятого імпульсу, як це показано у табл. 5.5.

Таблиця 5.5 – Таблиця переходів підсумовуючого послідовного двійково-десятькового лічильника

Число вхідних імпульсів (стан)	Стан виходів (розрядів) лічильника			
	Q_8	Q_4	Q_2	Q_1
	2^3	2^2	2^1	2^0
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	0	0	0	0

Забезпечити перехід послідовного двійкового лічильника у нульовий стан при надходженні десятого імпульсу можна, доповнивши його комбінаційною схемою, що являє собою у даному разі двовходовий елемент І. Входи елемента підмикають до виходів другого і четвертого розрядів лічильника (див. табл. 5.4, позиція 10), а вихід – до входів установки тригерів лічильника у нульовий стан.

Часові діаграми роботи підсумовуючих послідовних чотирирозрядного двійкового і двійково-десятькового лічильників наведені на рис. 5.6 і рис. 5.7 відповідно. Нижні дві діаграми на рис. 5.7 зображують вигляд сигналів на нульовому і дев'ятому виходах дешифратора.

Багаторозрядні десяткові лічильники на ІМС середнього ступня інтеграції будуються послідовним з'єднанням необхідної кількості двійково-десятькових. Підрахунок імпульсів ведеться у двійково-десятьковому коді. При цьому у межах кожного десяткового розряду – код двійковий. Це полегшує реалізацію дешифратора станів такого лічильника з будь-якою кількістю десяткових розрядів за допомогою стандартних ІМС двійково-десятькових дешифраторів.

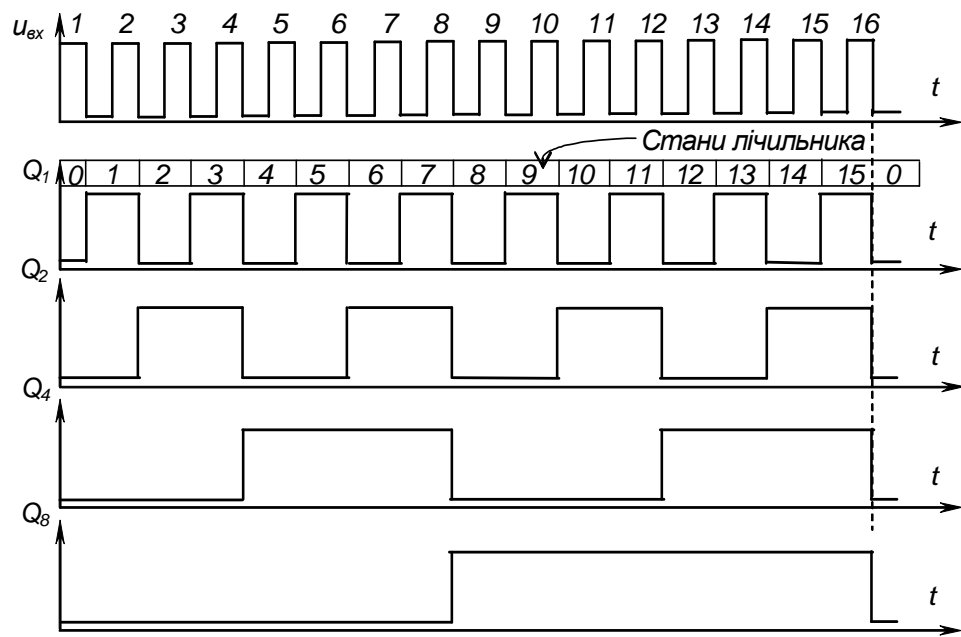


Рис. 5.6 – Часові діаграми роботи підсумовуючого чотирирозрядного послідовного двійкового лічильника з імпульсним інверсним лічильним входом

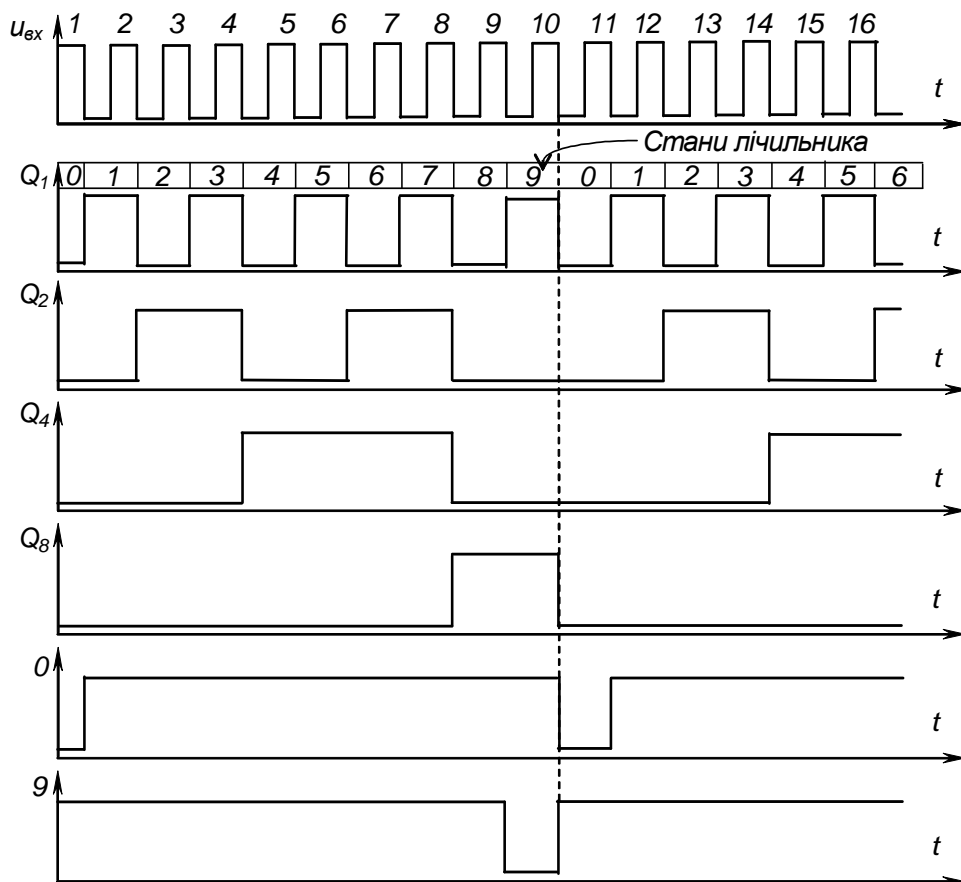


Рис. 5.7 – Часові діаграми роботи підсумовуючого двійково-десятькового лічильника з імпульсним інверсним лічильним входом і двійково-десятькового дешифратора

Контрольні запитання

1) Назвіть основні логічні функції, вкажіть способи їх опису, наведіть приклади реалізації.

2) Складіть з елементів, що реалізують основні логічні функції, комбінаційну схему, яка реалізує складну функцію (за формулою, заданою викладачем). Поясніть, що таке функціонально повна система логічних елементів?

3) Поясніть будову і принцип дії двійково-десятькового дешифратора.

4) Поясніть будову послідовних двійкових лічильників та чим відрізняється двійково-десятьковий лічильник від двійкового.

5) Поясніть, як представляються числа у двійково-десятьковій системі числення? Наведіть приклад.

6) Переведіть число (за завданням викладача) із двійкової або двійково-десятькової системи числення у десяткову.

7) Поясніть, як будуються багаторозрядні десяткові лічильники на ІМС середнього ступеня інтеграції?

8) Поясніть, у чому відмінність комбінаційних цифрових пристроїв від послідовних? Наведіть приклади пристроїв обох типів.

9) Поясніть роботу елементів, що реалізують основні логічні функції за таблицями істинності і часовими діаграмами.

10) Поясніть роботу послідовного двійкового і двійково-десятькового лічильників за таблицями переходів і за часовими діаграмами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. - розділ 6, пп. 8.1 – 8.3, 8,5.
2. Колонтаєвський, Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум [Текст]: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) – розділ 6, пп. 8.1 – 8.3, 8,5.
3. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - С. 65-67, 262-266, 268-270.
4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - С. 207-231, 239-247, 254-256.
5. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - С. 134-154, 160-163, 183-187.
6. Красько А.С., Скачко К.Г. Промышленная электроника [Текст]: учебное пособие для теплоэнергетических спец. вузов / А.С. Красько, К.Г. Скачко – Минск: Высшая школа, 1984, 208 с. - с. 137-144, 152-156.

Лабораторна робота № 5М

ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРИСТРОЇВ (МПП)

1. МЕТА РОБОТИ

- 1) Ознайомлення зі складом МПП
- 2) Придбання найпростіших навичок роботи з МПП

2. ОБЛАДНАННЯ

Мікропроцесорна лабораторія „Микролаб КР 580ИК80”.

3. ЗМІСТ РОБОТИ

- 1) Ознайомитись зі складом МПП.
- 2) Вивчити порядок запису інформації в оперативний запам'ятовуючий пристрій (ОЗП) МПП.
- 3) Вивчити порядок виконання програм, що містяться в постійному запам'ятовуючому пристрої (ПЗП) МПП.
- 4) Вивчити порядок введення у МПП й ініціалізації виконання програм користувача.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Ознайомитись з робочим місцем і устаткуванням.

4.2. Ознайомитись зі складом МПП

На моношасі мікропроцесорної лабораторії знайдіть основні складові вузли й елементи МПП: мікропроцесор, тактовий генератор, ОЗП, ПЗП, пристрій вводу-виводу, клавіатуру, дисплей, шину даних і шину адреси.

4.3. Запис інформації в ОЗП

4.3.1. Ввімкніть живлення мікропроцесорної лабораторії, встановивши перемикач „Сеть” блоку живлення МПП у натиснуте положення.

4.3.2. Перемикач завдання режиму роботи „АВТ-ШАГ” встановіть у положення „АВТ”.

4.3.3. Визначте вміст кількох комірок пам'яті ОЗП, для чого виконайте наступні операції:

1) натисніть клавішу клавіатури „СБРОС”: на дисплеї, від якого наведено на рис. 5М.1, індикуються нулі у всіх розрядах, світяться вісім світлодіодів індикації стану виходів пристрою вводу-виводу (ПВВ);

2) натисніть послідовно клавіші „8”, „0”, „0”, „0” – на дисплеї індикуюється число 0000 8000;

3) натисніть клавішу установки адреси „УСТ. АД” – у 5, 6, 7 і 8 розрядах дисплея індикуюється адреса комірки пам’яті ОЗП 8000, а у 1 і 2 розрядах – дані, що зберігаються за цією адресою (випадкове число, зумовлене станами тригерів комірки ОЗП, у які вони встановлюються після подачі живлення). Номер адреси і дані представлені у шістнадцятковому коді;

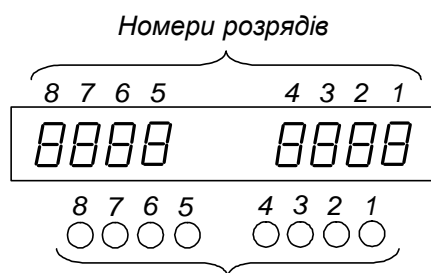
4) натискаючи клавіші збільшення номера адреси на одиницю „АД+” спостерігати збільшення номера адреси у 5-8 розрядах дисплея. Запишіть у табл. 5М.1 дані, що зберігаються за відповідними адресами. Зверніть увагу на те, що при черговому збільшенні номера адреси дані, які зберігаються за попередньою адресою, переміщуються у 3 і 4 розряди дисплея;

5) натискаючи клавішу зменшення номера адреси на одиницю „АД-” продивіться вміст ОЗП у зворотному порядку.

4.3.4. Запишіть у комірки ОЗП числа, вказані у табл. 5М.2.

Запис виконується у наступному порядку:

- 1) наберіть код адреси 8000;
- 2) натисніть клавішу „УСТ. АД”;
- 3) наберіть код першого числа;
- 4) натисніть клавішу „ЗАПИСЬ”;



Світлодіоди індикації станів виходів ПВВ

Рис. 5М.1 – Дисплей мікропроцесорної лабораторії „Микролаб КР 580ИК80”

Таблиця 5М.1 - Дані, що зберігаються у ОЗП

Адреса ОЗП	Дані	
	шістнадцятковий код	двійковий код
8000		
8001		
8002		
8003		
8004		
8005		
8006		
8007		
8008		
8009		
800A		
800B		
800C		
800D		
800E		
800F		
8010		

5) наберіть код другого числа, що повинне бути записане за адресою 8001;

6) натисніть клавішу „ЗАПИСЬ” і т.д.;

7) натискаючи клавішу „АД–”, проконтролюйте правильність набору чисел за даними 1 і 2 розрядів дисплея. При наявності помилок зробіть повторний запис за відповідними адресами.

Контроль вмісту будь-якої комірки пам'яті можна здійснити, набравши її адресу і натиснувши клавішу „УСТ. АД”.

Таблиця 5М.2 –
Дані для запису кодів у
ОЗП

Адреса ОЗП	Код числа
8000	00
8001	10
8002	2А
8003	FD
8004	BE

4.4. Ініціалізація виконання програм, що зберігаються у ПЗП

4.4.1. Ініціюйте виконання “музичної” програми, для чого виконайте наступні операції:

1) натисніть клавішу „СБРОС”;

2) наберіть номер адреси комірки ПЗП 0300, у якій зберігається початок програми;

3) натисніть клавішу „УСТ. АД”;

4) натисніть клавішу „ПУСК”. При виконанні даної програми МП через ПВВ видає на гучномовець послідовність нулів і одиниць, записану в ПЗП. Ця послідовність сформована таким чином, що сприймається як мелодія – маємо найпростіший приклад цифрового запису звуку;

5) після закінчення виконання програми (припиненні звучання мелодії) натисніть клавішу „СБРОС”.

4.4.2. Ініціюйте виконання програми, що реалізує тривходову логічну функцію I, для чого виконайте наступні операції:

1) установіть початкову адресу програми логічної функції I, набравши номер комірки ПЗП 03Е0 і натиснувши клавішу „УСТ. АД”;

2) натисніть клавішу „ПУСК” – програма, що зберігається у ПЗП, починає виконуватись у циклічному режимі;

3) набирайте за допомогою трьох перемикачів, що знаходяться у лівій нижній частині моношасі значення вхідних змінних відповідно до таблиці істинності табл. 5М.3 (задані значення подаються у мікропроцесор через ПВВ). За станом першого світлодіода індикації стану виходів ПВВ

фіксуйте значення функції (світіння світлодіода відповідає 1, погашений стан – 0). Заповніть стовпець $y = x_1x_2x_3$ табл. 5М.3.

Таблиця 5М.3 – Таблиця істинності тривходової логічної функції I

Вхідні змінні			Значення функції
x_1	x_2	x_3	$y = x_1x_2x_3$
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

4.5. Виконання програм користувача

4.5.1. Ініціюйте виконання програми, що реалізує функцію порозрядного логічного множення чисел (функцію I), для чого виконайте наступні операції:

1) введіть програму наведену в табл. 5М.4, що реалізує логічну функцію I, у ОЗП МПП. Введення здійснюється шляхом запису кодів за відповідними адресами за методикою, викладеною у пп. 4.3.4;

2) здійснить пуск програми, набравши її початкову адресу 8000 і поспідовно натиснувши клавіші „УСТ. АД” і „ПУСК”;

3) набираючи перемикачами у нижній лівій частині моношасі коди операнду A відповідно до таблиці істинності табл. 5М.5, фіксуйте значення функції $y = A \cdot B$ по 1 - 4 світлодіодах індикації стану виходів ПВВ. Заповніть відповідний стовпець табл. 5М.5. При цьому значення розрядів x_1, x_2, x_3 набираються за допомогою перемикачів, а значення $x_4 = 0$ – незмінне;

4) натисніть клавішу „СБРОС”.

Таблиця 5М.4 - Програма, що реалізує логічну функцію I

Адреса	Код команди	Команда	Коментар
8000	3E	MVI A, 81	} Програмування інтерфейсу МПП
8001	81		
8002	D3	OUT FB	
8003	FB		
8004	DB	INF A	Читання даних з ПВВ у реєстр А
8005	FA		
8006	06	MVI B, 0A	Запис числа $0A_{16}=00001010_2$ в реєстр В
8007	0A		
8008	A0	ANA B	Порозрядне логічне множення чисел, що знаходяться у реєстрах А і В
8009	D3	OUT F9	Вивід результату на індикацію
800A	F9		
800B	C3	JMP 8004	Повернення на адресу 8004
800C	04		(зациклення програми)
800D	80		

Таблиця 5М.5 – Таблиця істинності логічних функцій $y = A \cdot B$ і $y = A + B$

Значення операндів								Значення функції							
A				B				$y = A \cdot B$				$y = A + B$			
x_1	x_2	x_3	x_4	4	3	2	1	4	3	2	1	4	3	2	1
0	0	0	0	1	0	1	0								
0	0	1	0	1	0	1	0								
0	1	0	0	1	0	1	0								
0	1	1	0	1	0	1	0								
1	0	0	0	1	0	1	0								
1	0	1	0	1	0	1	0								
1	1	0	0	1	0	1	0								
1	1	1	0	1	0	1	0								

4.5.2. Ініціюйте виконання програми, що реалізує функцію порозрядного логічного додавання чисел (функцію АБО), для чого виконайте наступні операції:

1) замініть у програмі, наведеній в табл. 5М.4, команду ANA B (код A0 за адресою 8008) на команду ORA B – порозрядне логічне додавання чисел, що знаходяться в регістрах A і B (занесіть код B0 за адресою 8008).

2) здійсніть пуск програми і її виконання, як у попередньому досліді. Заповніть стовпець $y = A+B$ таблиці істинності табл. 5М.5.

3) натисніть клавішу „СБРОС”.

4.5.3. Ініціюйте виконання програми, що реалізує арифметичні операції додавання і віднімання, для чого виконайте наступні операції:

1) введіть програму, наведену в табл. 5М.6, відповідно до методики, викладеної у пп. 4.3.4;

Таблиця 5М.6 - Програма, що реалізує арифметичні операції додавання і віднімання

Адреса	Код команди	Команда	Коментар
8000	90	SUB B	<i>Віднімання числа, що міститься в регістрі B з числа,</i>
8001	81	ADD C	<i>що міститься в регістрі A Додавання до результату вмісту регістра C</i>

2) встановіть перемикач „АВТ - ШАГ” у положення „ШАГ” (завдання режиму покрокового виконання програми);

3) занесіть за методикою пп. 4.3.4 операнди (двозначні шістнадцяткові числа) в регістри A, B і C.

Наприклад, в регістр A за адресою 83ЕВ – число $A_{7_{16}} = 1010\ 0111_2$;

в регістр B за адресою 83Е9 – число $23_{16} = 0010\ 0011_2$;

в регістр C за адресою 83Е8 – число $73_{16} = 0111\ 0011_2$.

4) здійсніть пуск програми, набираючи її початкову адресу 8000 і натискаючи клавіші „УСТ. АД” і „ПУСК”.

У 3 і 4 розрядах дисплея індикується результат першої операції:

$$\begin{array}{r} A7_{16} = 1010\ 0111_2 \\ - 23_{16} = 0011\ 0011_2 \\ \hline 84_{16} = 1000\ 0100_2 \end{array};$$

5) натисніть клавішу повернення до виконання програми „ВОЗВР”.

Тепер у 3 і 4 розрядах індикується результат другої операції:

$$\begin{array}{r} 84_{16} = 1000\ 0100_2 \\ + 73_{16} = 0111\ 0011_2 \\ \hline F7_{16} = 1111\ 0111_2 \end{array}$$

4.5.4. Ініціюйте виконання програми, що реалізує світловий ефект, для чого виконайте наступні операції:

1) введіть програму, наведену в табл. 5М.7, відповідно до методики, викладеної у пп. 4.3.4;

2) встановіть перемикач „АВТ - ШАГ” у положення „АВТ” (завдання режиму автоматичного виконання програми);

3) здійсніть пуск програми, набираючи її початкову адресу 8000 і натискаючи клавіші „УСТ. АД” і „ПУСК”.

4.5.5. Ініціюйте виконання програми, що реалізує звуковий ефект, для чого виконайте наступні операції:

1) введіть програму, наведену в табл. 5М.8, відповідно до методики, викладеної у пп. 4.3.4;

2) здійсніть пуск програми, набираючи її початкову адресу 8000 і натискаючи клавіші „УСТ. АД” і „ПУСК”;

3) натискайте клавішу „7”.

4.6. Вимкніть живлення мікропроцесорної лабораторії. Наведіть порядок на робочому місці.

4.7. Обробка результатів експериментів

4.7.1. Значення даних, що зберігаються в ОЗП МПП (див. табл. 5М.1) переведіть у двійковий код, і занесіть у відповідний стовпець табл. 5М.1. Зробіть висновок про наочність представлення чисел у двійковому і шістнадцятковому кодах.

4.7.2. Наведіть у загальному вигляді порядок ініціалізації виконання програм, що зберігаються в ПЗУ МПП.

4.7.3. Наведіть порядок виконання МПП програм користувача.

Таблиця 5М.7 - Програма, що реалізує світловий ефект

Адреса	Код команди	Помітка	Команда	Коментарі
8000 8001 8002 8003	3E 81 D3 FB	MOV A, 81	MOV A, 81 OUT FB	Програмування інтерфейсу
8004 8005 8006 8007 8008 8009 800A 800B 800C	3E 92 D3 F9 16 01 CD 22 80	SEQ	MOV A, 92 OUT F9 MVI D, I CALL DELAY	Встановлення коду світіння 1, 4, 7 світлодіодів Світіння заданої комбінації
800D 800E 800F 8010 8011 8012 8013 8014 8015	3E 49 D3 F9 16 01 CD 22 80		MOV A, 49 OUT F9 MVI D, I CALL DELAY	Встановлення коду світіння 2, 5, 8 світлодіодів Світіння заданої комбінації
8016 8017 8018 8019 801A 801B 801C 801D 801E 801F 8020 8021	3E 24 D3 F9 16 01 CD 22 80 C3 04 80		MOV A, 24 OUT F9 MVI D, I CALL DELAY JMP SEQ	Встановлення коду світіння 3, 6 світлодіодів Світіння заданої комбінації Повернення у основну програму

Адреса	Код команди	Помітка	Команда	Коментарі
8022	01	DELAY	LXI B, 0025	Початок внутрішньої петлі затримки
8023	00			
8024	25			Внутрішня петля, що генерує затримку 0,786 с
8025	0B	LOOP	DCX B	
8026	78		MOV A,B	
8027	B1		ORA C	
8028	C2		JNZ LOOP	
8029	25			
802A	80			
802B	15		DCR D	
802C	C2		JNZ DELAY	
802D	22			
802E	80			Основна петля затримки
802F	C9		RET	Повернення

Таблиця 5М.8 - Програма, що реалізує звуковий ефект

Адреса	Код команди	Помітка	Команда	Коментарі
8000	CD	READ	CALL KEYIN	Виклик програми читання з клавіатури
8001	16			
8002	02			
8003	FE		CPI 07	Порівняння коду ключа з 07
8004	07			Повернення, якщо клавіша 7 не натиснута
8005	C2		JNZ READ	
8006	00			
8007	80			Звуковий сигнал, якщо клавіша 7 натиснута
8008	CD		CALL BEEP	
8009	50			
800A	03			Повторення програми
800B	C3		JMP READ	
800C	00			
800D	80			

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

Із розвитком технології і схемотехніки цифрових ІМС з'явилася можливість створювати складні пристрої обробки цифрової інформації у вигляді компактних ІМС великого ступеня інтеграції – великих інтегральних схем (ВІС). Однак збільшення складності реалізованого алгоритму (послідовності) обробки інформації, як правило, звужує область застосування конкретної ІМС, робить її спеціалізованою.

Усунути протиріччя між ступенем складності ВІС і можливістю її універсального застосування вдалося за рахунок застосування програмування виконуваних функцій (у найпростішому випадку, наприклад, програмування коефіцієнта лічення лічильника).

У наш час основним типом програмованих ВІС, що мають найбільшу інформаційну потужність, є мікропроцесор.

Мікропроцесор (МП) – це програмно керований пристрій обробки цифрової інформації, виконаний у вигляді однієї (рідше кількох) ВІС.

За функціями МП аналогічний центральному процесору ЕОМ.

На основі МП виконуються такі МПП, як мікро-ЕОМ – пристрої, що містять МП, запам'ятовуючі пристрої, органи керування і засоби зв'язку із зовнішніми пристроями (інтерфейс). Якщо мікро-ЕОМ призначена для керування деяким об'єктом, вона доповнюється засобами сполучення (узгодження) з ним: датчики, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, виконавчі пристрої і т.п. Сукупність мікро-ЕОМ і засобів сполучення називають мікропроцесорною системою.

Структура такої системи наведена на рис. 5М.2.

МП є мозком ЕОМ, у якому відбувається обробка інформації (команд і даних), що представляються у двійковому коді.

МП може вирішувати дуже складні задачі обчислення і керування, уміючи виконувати лише елементарні операції (логічні й арифметичні, операції пересилання даних, порівняння двох кодів і деякі інші) за рахунок багаторазового їхнього повторення відповідно до заданої користувачем програми (визначеної послідовності виконання команд).

Для забезпечення виконання команд МП містить пристрої вибірки інформації з пам'яті та її дешифрування, арифметико-логічний пристрій (сукупність схем, що реалізують арифметичні і логічні операції над дани-

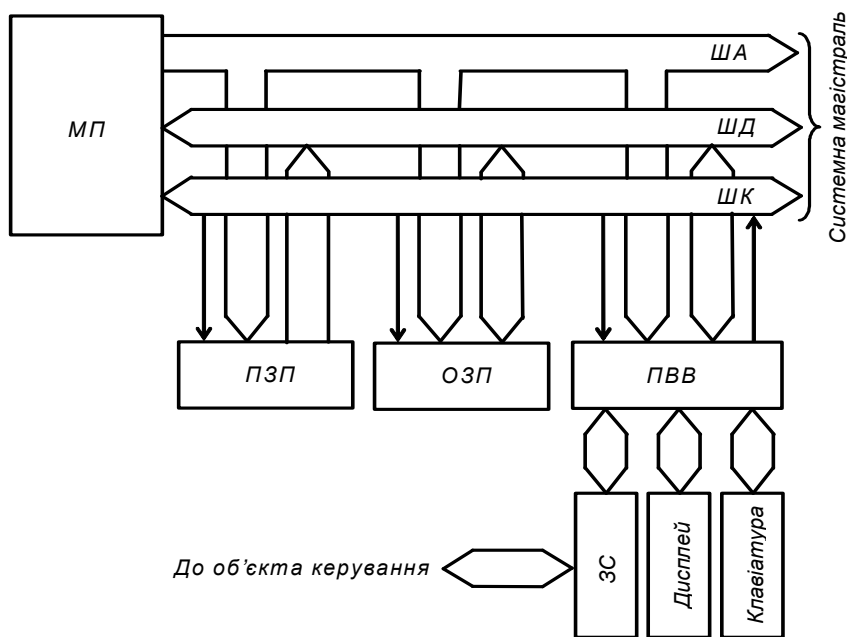


Рис. 5М.2 – Структура мікропроцесорної системи

ми), пристрій керування (забезпечує виконання команд МП), різні регістри для тимчасового збереження і перетворення даних і команд, тактовий генератор (синхронізує і задає темп роботи МП).

ПЗП призначений для зберігання інформації, що заноситься в нього при виготовленні МПУ. Він є енергонезалежною пам'яттю, бо занесені у його комірки пам'яті коди зберігаються при вимиканні живлення. Завдяки цьому МПП після наступного вмикання живлення знає, як підготувати себе до роботи і що потрібно робити при одержанні тих або інших зовнішніх команд. ПЗП може працювати тільки у режимі видачі інформації. Вміст ПЗП можна змінити заміною його ІМС на інші з новим набором програм або перепрограмуванням (залежить від виду ІМС).

ОЗП призначений для тимчасового зберігання даних і програм користувача та проміжних результатів роботи МП. Він є енергозалежною пам'яттю, бо занесені до нього коди не зберігаються при вимиканні живлення. Якщо інформацію, що міститься в ОЗП, необхідно зберігати довгостроково, то її треба записати у зовнішній пристрій пам'яті (наприклад, на жорсткий диск).

ПВВ забезпечує зв'язок МП із зовнішніми пристроями – дисплеєм, клавіатурою, засобами сполучення ЗС і т.п.

Зв'язок між вказаними модулями МПП здійснюється на основі магістральної схеми. Відповідно до неї модулі підімкнені до системної магіст-

ралі, що складається із шини адреси (ША), шини даних (ШД) і шини керування (ШК). Кожна із шин являє собою набір деякого числа провідників.

По ША МП повідомляє, з яким із модулів чи з якою коміркою пам'яті (вказується їхній код, що називається адресою) він буде працювати у даний момент часу.

Розрядність ША (число провідників) визначає число модулів, з якими може взаємодіяти МП. Зазвичай вона складає 16, що відповідає числу 2^{16} (комірок пам'яті ПЗП й ОЗП, модулів вводу, виводу і т.ін.).

По ШК МП повідомляє характер взаємодії: введення даних чи їх вивід.

По ШД дані надходять у процесор і виводяться із нього (тобто ШД двонаправлена – по одному й тому ж провіднику інформація може передаватися в обох напрямках). У кожний конкретний момент часу ШД використовується тільки для вводу або тільки для виводу.

Оскільки до ШД приєднано усі модулі одночасно, то, щоб виключити їхній взаємний вплив, підмикання до провідників шини виконується за допомогою елементів, що мають три стани: 1; 0 (логічні) і третій – відмикання від шини (нелогічний).

МП вибирає один з модулів для виводу даних на ШД, задаючи його адресу по ША. Виходи інших модулів при цьому знаходяться у третьому стані – відключені від ШД.

Розрядність ШД визначає розрядність двійкових даних, з якими може оперувати МП. Залежно від типу МП, ШД має 4, 8, 16 і більше розрядів (збільшується з розвитком ВІС). Найбільш розповсюджені сучасні МП мають восьмирозрядну ШД: обробляють двійкові числа (слова) у вигляді байт по 8 розрядів (біт).

Для забезпечення виконання МПП необхідних функцій у його ПЗП (іноді в ОЗП: одноразово або з забезпеченням безперебійного живлення) записується набір програм (стандартних – для виконання, наприклад, арифметичних і логічних операцій, обчислення тригонометричних функцій і т.п., та спеціальних, що реалізують, наприклад, алгоритми керування конкретним об'єктом).

При складанні програм програміст повинен дати МП детальний опис його дій бо МП може працювати з великою швидкістю і точністю протягом тривалого часу, але тільки за чітким завданням, що не допускає

тлумачень. МПП може реагувати на зміну умов, якщо в його пам'яті є програма, що повідомляє МП, як йому поводитись у нових обставинах. МП діє логічно, але не має творчих здібностей (принаймні, у даний час). Удавана розумність МПП є результатом великого числа програм, закладених у них.

Для ініціалізації виконання програми в МП заноситься її початкова адреса (комірки ПЗП або ОЗП) і подається команда ПУСК.

При роботі МП забезпечує таку послідовність дій:

- 1) витягнення даних (коду команди, числа) з пам'яті (ПЗП або ОЗП);
- 2) розшифровка команди;
- 3) виконання команди і т.д. знову.

На робочому рівні МП реагує на список команд, представлений, як уже зазначалося, у вигляді набору двійкових кодів, називаного машинною програмою. Таке представлення програм є винятково важким для оперативного сприйняття людиною.

Деяке спрощення при написанні і читанні команд дає використання шістнадцяткової системи числення. Вона має 16 символів, кожному з яких відповідає чотирирозрядне число у двійковому коді.

Табл. 5М.9 показує представлення чисел у десятковому, двійковому та шістнадцятковому кодах, а також представлення шістнадцяткового коду на дисплеї “Микролаб КР580ИК80”.

Перетворити двійковий код у шістнадцятковий дуже легко: двійкове число поділяється на групи по чотири розряди, починаючи з молодшого – на тетради. Кожна тетрада замінюється відповідним шістнадцятковим символом.

При зворотному перетворенні навпаки – кожен символ замінюється двійковою тетрадою.

Наприклад: $0111\ 1101_2 = 7D_{16}$.

І все ж таки програма, записана в шістнадцятковому коді, залишається складною для сприйняття і розуміння.

Більш прийнятною для людини була б описова форма завдання програми – на „людській” мові. Але така форма громіздка, допускає тлумачення, незручна для введення у машину при програмуванні.

Виходом є використання мови простого програмування – асемблера, що переводить слова і фрази програми, представлені у вигляді мнемонік (англійських скорочень назв), у машинний код.

Таблиця 5М.9 - Представлення чисел у десятковому,
і шістнадцятковому кодах,
та представлення шістнадцяткового коду
на дисплеї „Микролаб КР580ИК80”

Десятковий код	Двійковий код	Шістнадцятковий код	Представлення в „Микролаб КР580ИК80”
0	0000	0	0
1	0001	1	1
2	0010	2	2
3	0011	3	3
4	0100	4	4
5	0101	5	5
6	0110	6	6
7	0111	7	7
8	1000	8	8
9	1001	9	9
10	1010	A	A
11	1011	B	b
12	1100	C	C
13	1101	D	d
14	1110	E	E
15	1111	F	F

Приклади мнемонік і їхнє представлення у шістнадцятковому кодї наведені у табл. 5М.10.

Програма спочатку складається у вигляді списку мнемонік, що називається вихідною програмою. Кожному коду присвоюється номер комірки пам’яті. Потім вручну або за допомогою ЕОМ програма переводиться на машинну мову. Тепер вона називається об’єктною програмою і далі заноситься у ПЗП або ОЗП.

Таблиця 5М.10 - Приклади мнемонік асемблера

Команда	Мнемоніка асемблера	Шістнадцятковий код
1. Читання даних з ПВВ у внутрішній реєстр А	<i>INFA</i>	<i>DB FA</i>
2. Вивід результату на індикацію	<i>OUT F9</i>	<i>D3 F9</i>
3. Порозрядне логічне множення чисел, що знаходяться в реєстрах А і В	<i>ANAB</i>	<i>A0</i>
4. Додавання чисел, що зберігаються в реєстрах А і С	<i>ADD C</i>	<i>81</i>

При використанні МПП для керування можливість зміни програми ПЗП заміною ІМС або їх перепрограмуванням (у залежності від типу) забезпечує використання даного МПП у різних умовах застосування для вирішення різних задач без будь-яких змін в апаратурі – функція МПП задається програмуванням.

Поліпшення техніко-економічних характеристик МП дозволило надзвичайно ефективно використовувати їх у різних пристроях цифрової обробки інформації і керування (у якості процесорів та у периферійних пристроях ЕОМ, мікрокалькуляторах, у системах керування і регулювання поточними лініями, верстатами-автоматами, роботами-маніпуляторами, стабілізованими джерелами живлення, в електронних пристроях – телевізорах, радіостанціях, вимірювальних приладах, іграшках і т.п.).

Це підняло на новий рівень ефективність роботи технічних пристроїв і систем.

У табл. 5М.11 наведено співставлення основних етапів створення пристроїв керування з жорсткою логікою і програмованих.

Наостанку зазначимо, що з кінця 80-х років минулого століття з'явилися і набувають зараз надзвичайної популярності при створенні пристроїв цифрової обробки інформації і керування мікроконтролери.

Мікроконтролером називають програмно керовану ІМС, що застосовується для побудови контролерів.

Таблиця 5М.11 - Співставлення основних етапів створення пристроїв керування

Пристрій керування з жорсткою логікою	Програмований пристрій керування
<i>1. Розробка алгоритму керування</i>	
<i>2. Розробка електричної принципової схеми пристрою керування на основі обраного типу ІМС</i>	<i>2. Розробка програми роботи пристрою керування на основі обраного типу МПП</i>
<i>3. Створення макету пристрою керування</i>	<i>3. Занесення програми в ОЗУ МПП</i>
<i>4. Відладка макету пристрою керування і відповідне коригування його електричної принципової схеми</i>	<i>4. Відладка і відповідне коригування програми</i>
<i>5. Розробка конструкторської і технологічної документації для виробництва пристрою керування</i>	<i>5. Придбання типового МПП</i>
<i>6. Виробництво пристрою керування</i>	<i>6. Занесення програми в ПЗУ МПП</i>
<i>7. Поставка пристрою керування замовнику</i>	

Контрблер – це закінчений електронний пристрій, зазвичай виконаний на друкованій платі і призначений для прийому та обробки сигналів від датчиків, а також для керування зовнішніми пристроями на основі результатів обробки прийнятих сигналів.

Мікроконтролер окрім МП має у своєму складі оперативний та постійний запам'ятовуючі пристрої, таймери, лічильники, канали вводу та виводу інформації, інші пристрої. Отже – це самостійна комп'ютерна система, що вміщує процесор, допоміжні схеми та пристрої вводу-виводу даних, розміщені у спільному корпусі.

Контрольні запитання

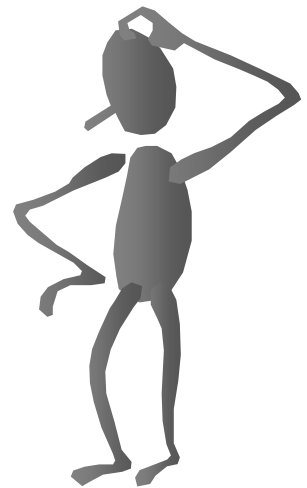
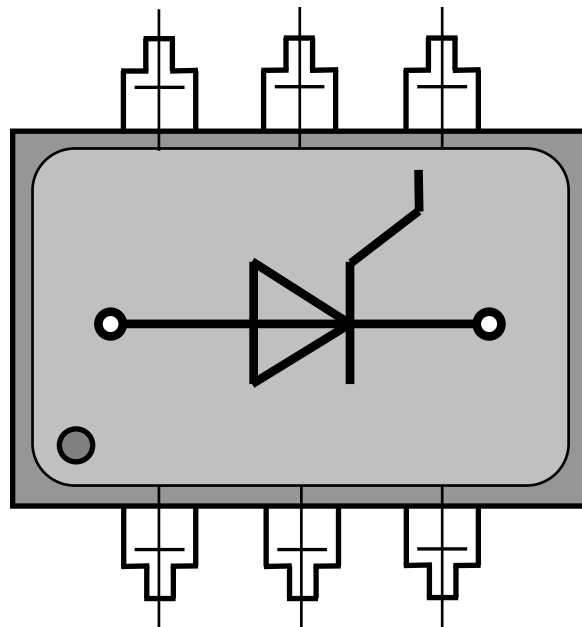
- 1) Поясніть, що таке мікропроцесор і його призначення.**
- 2) Намалюйте структуру мікропроцесорної системи і поясніть призначення її складових частин.**
- 3) Поясніть, що таке системна магістраль і як здійснюється підмикання до неї модулів мікропроцесорної системи?**
- 4) Поясніть, як ініціюється виконання програми мікропроцесором?**
- 5) Поясніть, у якому вигляді може бути представлена програма роботи мікропроцесорного пристрою?**
- 6) Поясніть, як використовується шістнадцяткова система числення при записі програм мікропроцесорного пристрою? За завданням викладача переведіть число, записане в шістнадцятковому (двійковому) коді у двійковий (шістнадцятковий) код.**
- 7) Поясніть, у чому полягає ефективність застосування мікропроцесорів у порівнянні з іншими пристроями обробки цифрової інформації?**

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. - пп. 8.10.
2. Колонтаєвський, Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум [Текст]: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) – - пп. 8.10.
3. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - с. 270-274.
4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - с. 256.-262.
5. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - с. 168-183.

ЧАСТИНА ТРЕТЯ

ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ



Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

1. МЕТА РОБОТИ

- 1) Дослідження однофазних схем випрямлення.
- 2) Дослідження однофазних випрямлячів з пасивними фільтрами і компенсаційним стабілізатором.
- 3) Дослідження однофазного керованого випрямляча.

2. ОБЛАДНАННЯ

- 1) Стенд лабораторний № 5, 6.
- 2) Осцилограф С1-93 (С1-83).

3. ЗМІСТ РОБОТИ

- 1) Дослідити роботу однопівперіодної і мостової однофазних схем випрямлення при роботі на активне навантаження.
- 2) Дослідити роботу однопівперіодного і мостового однофазних випрямлячів з ємнісним, індуктивним, індуктивно-ємнісними Г-подібним і П-подібним фільтрами та з компенсаційним стабілізатором.
- 3) Дослідити роботу однофазного керованого випрямляча з нульовим виводом.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Ознайомитись з робочим місцем устаткуванням і приладами.
- 4.2. Ввімкнути осцилограф та живлення стенда лабораторного. Тумблер у середній частині лицьової панелі стенда (між мнемосхемами) встановити у праве положення.
- 4.3. Дослідження однопівперіодної і мостової схем випрямлення при роботі на активне навантаження
 - 4.3.1. Дослідження виконувати за допомогою схеми, наведеної на рис. 6.1 (верхня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

Перемикач „Рег. выпр.” встановити у ненатиснуте положення.

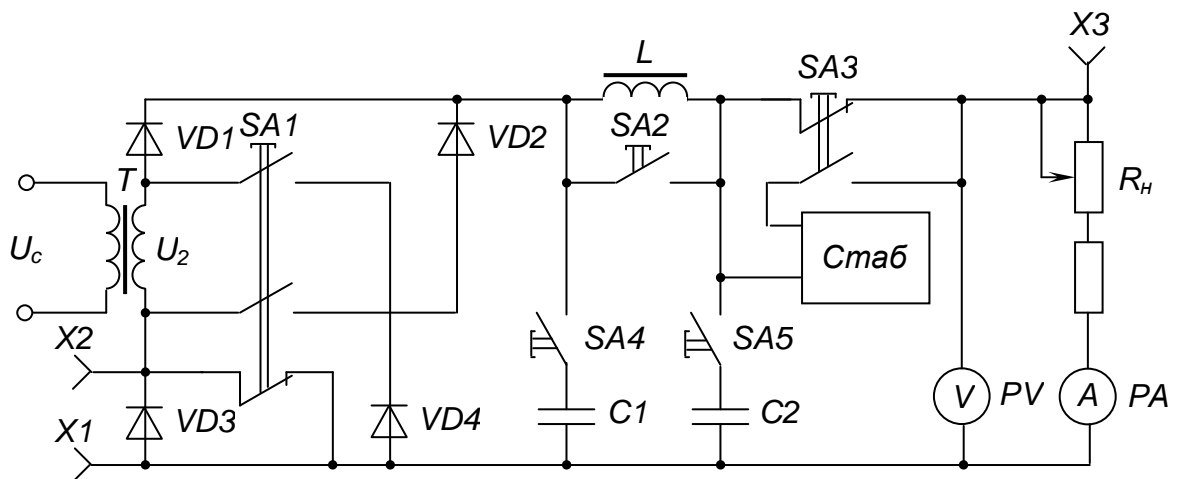


Рис. 6.1 - Схема для дослідження однофазних некерованих випрямлячів

4.3.2. Зібрати однопівперіодну схему випрямлення, для чого перемикачі встановити у такі положення: *SA1* – у ненатиснуте, *SA2* – в натиснуте, *SA3* - *SA5* – у ненатиснуте.

4.3.3. Замалювати осцилограму напруги на навантаженні однопівперіодного випрямляча, для чого кабель першого каналу осцилографа підімкнути нульовим проводом до клеми *X1*, а сигнальним до клеми *X3*.

Замалювати осцилограму напруги на вентилі (діоді) однопівперіодного випрямляча, для чого кабель першого каналу осцилографа підімкнути нульовим проводом до клеми *X2*, а сигнальним до клеми *X1*.

При виконанні дослідів органи керування осцилографа встановлювати у положення, що забезпечують спостереження стійкого, зручного для вимірів зображення.

4.3.4. Зібрати мостову схему випрямлення, для чого перемикач *SA1* встановити у натиснуте положення, а інші перемикачі – згідно з пп. 4.3.2.

4.3.5. Замалювати осцилограми напруг на навантаженні і діоді мостового випрямляча, використовуючи методику, викладену в пп. 4.3.3.

4.4. Дослідження однопівперіодного і мостового випрямлячів з різними типами фільтрів та з стабілізатором

4.4.1. Зняти залежність вихідної напруги однопівперіодного і мостового випрямлячів від струму навантаження для різних типів фільтрів і з стабілізатором (зовнішні характеристики), для чого:

1) значення струму навантаження задавати резистором R_n за амперметром *PA*, встановленим на лицьовій панелі стенда лабораторного;

2) значення вихідної напруги фіксувати за вольтметром PV , встановленим на лицьовій панелі;

3) перемикачі $SA1$ – $SA5$ встановлювати згідно з табл. 6.1;

4) результати занести у табл. 6.2.

Примітки. 1. У табл. 6.1 знак “X” відповідає натиснутому положенню перемикача.

2. У табл. 6.2 позиції, що відповідають значенням струму навантаження, які не можуть бути встановлені за допомогою резистора R_n , не заповнювати.

Таблиця 6.1 - Положення перемикачів при дослідженнях

Тип випрямляча	Положення перемикачів					Тип фільтра
	SA1	SA2	SA3	SA4	SA5	
однопівперіодний		X				без фільтра
		X		X	X	C
						L
					X	LC
				X	X	CLC
мостовий	X	X				без фільтра
	X	X		X	X	C
	X					L
	X				X	LC
	X			X	X	CLC
мостовий з стабілізатором	X		X	X	X	CLC

4.4.2. Зняти осцилограми напруги на навантаженні однопівперіодного і мостового випрямлячів з ємнісним та індуктивним фільтрами, а також мостового випрямляча з П-подібним CLC -фільтром і з CLC -фільтром та стабілізатором. Для цього кабель першого каналу осцилографа нульовим проводом підімкнути до клеми $X1$, а сигнальним до $X3$. Тип фільтра задавати установкою перемикачів згідно табл. 6.1.

Таблиця 6.2 - Результати зняття зовнішніх характеристик

I_n, A		0,1	0,15	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	Тип випрямляча	
U_d, B	Тип фільтра	без фільтра								одно-півперіодний	
		C									
		L									
		LC									
		CLC									
		без фільтра									МОСТОВИЙ
		C									
		L									
		LC									
		CLC									
		CLC									МОСТОВИЙ з стабілізатором
		*) LC ($\alpha=30^\circ$)									керований з нульовим виводом
*) LC ($\alpha=60^\circ$)											

*) Строки, помічені цим знаком, заповнюються при виконанні завдання пп. 4.5.3.

4.5. Дослідження керованого випрямляча з нульовим виводом

4.5.1. Дослідження виконувати за допомогою схеми, наведеної на рис. 6.2 (нижня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

Перемикач “Рег. выпр.” установити в натиснуте положення.

Перемикач SA встановити у ненатиснуте положення (відключення фільтра).

4.5.2. Замалювати осцилограми напруг для кута керування $\alpha = 60^\circ$:

1) на вторинній обмотці трансформатора, для чого підімкнути кабель першого каналу осцилографа до клеми X1 нульовим проводом, а до клеми X2 сигнальним;

2) на навантаженні – клеми X1 і X5 відповідно;

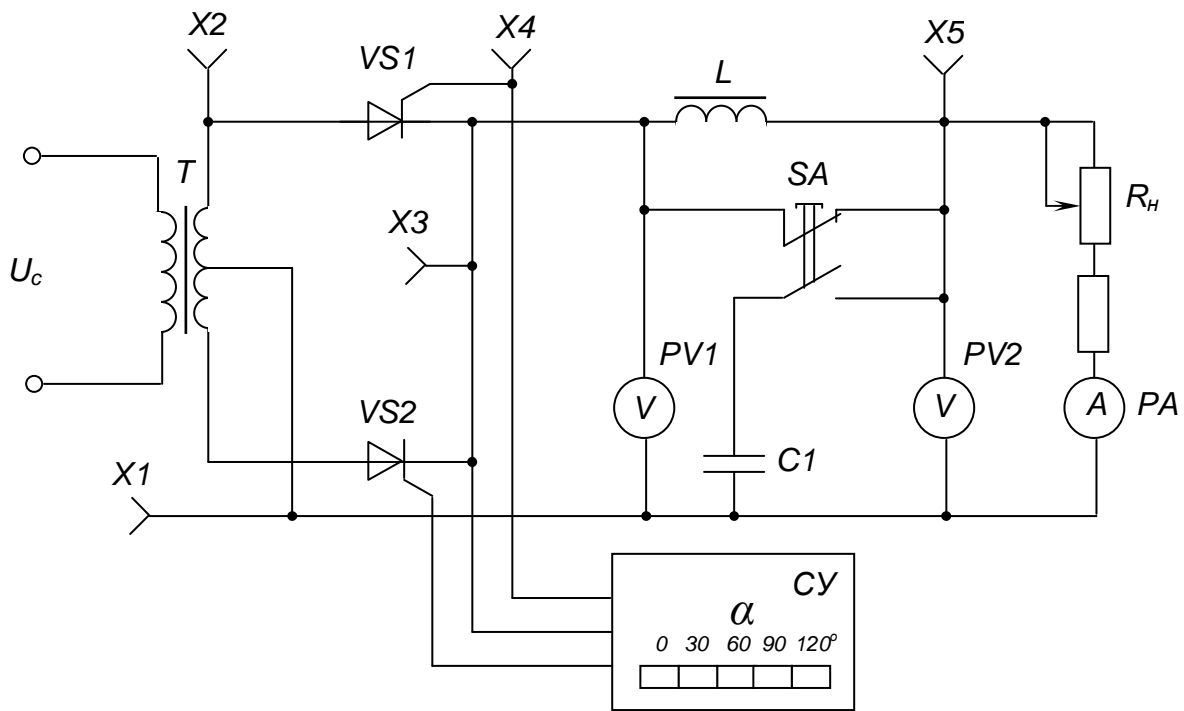


Рис. 6.2 - Схема для дослідження однофазного керованого випрямляча з нульовим виводом

3) на тиристорі – клеми $X3$ і $X2$;

4) на керуючому електроді тиристора – клеми $X3$ і $X4$.

Значення кута керування задавати встановленням у натиснуте положення відповідної кнопки перемикача „ α ” системи керування CU .

4.5.3. Зняти зовнішню характеристику випрямляча з Γ -подібним LC -фільтром при кутах керування $\alpha = 30^\circ$ і $\alpha = 60^\circ$, для чого:

1) підімкнути фільтр, встановивши перемикач SA у натиснуте положення;

2) значення кута керування задавати натисканням відповідної кнопки перемикача „ α ” системи керування CU ;

3) значення струму навантаження задавати резистором R_n за амперметром PA ;

4) значення напруги на навантаженні фіксувати за вольтметром $PV2$;

5) результати експерименту занести в табл. 6.2.

4.5.4. Зняти залежність вихідної напруги випрямляча від кута керування (регульовальну характеристику) при роботі на активне навантаження, для чого:

- 1) перемикач SA встановити у ненатиснуте положення;
- 2) значення кута керування задавати перемикачем “ α ” системи керування СУ;
- 3) результати експерименту занести в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Регульовальна характеристика керованого випрямляча

α , град	0	30	60	90	120
U_d , В					

4.6. Вимкнути живлення осцилографа і стенда лабораторного.
Навести порядок на робочому місці.

4.7. Обробка результатів експериментів

4.7.1. У звіті про лабораторну роботу осцилограми розташовувати одну під одною з урахуванням орієнтації відносно осцилограми напруги на вторинній обмотці трансформатора.

За осцилограмами з пп. 4.3.3 та пп. 4.3.5 зробити висновки щодо характеру вихідної напруги досліджуваних схем випрямлення і значень зворотної напруги на діодах.

4.7.2. За даними табл. 6.2 у одній системі координат побудувати зовнішні характеристики однопівперіодного і мостового випрямлячів для різних типів фільтрів та мостового випрямляча з стабілізатором.

Аналізуючи побудовані характеристики, зробити висновки про вплив на значення вихідної напруги випрямляча:

- 1) схеми випрямлення (типу вентильної схеми);
- 2) ємнісного фільтра;
- 3) індуктивного фільтра;
- 4) наявності у складі випрямляча стабілізатора.

4.7.3. За осцилограмами пп. 4.4.2 визначити розмах пульсацій напруги для кожного випадку і зробити висновки про вплив типу фільтра на характер пульсацій і про вплив стабілізатора на їхнє значення.

4.7.4. За даними табл. 6.2 у одній системі координат побудувати зовнішні характеристики керованого випрямляча для різних кутів керування.

4.7.5. За даними табл. 6.3 побудувати регулювальну характеристику керованого випрямляча.

4.7.6. На основі аналізу осцилограм за пп. 4.5.2 і характеристик, побудованих за пп. 4.7.4 і 4.7.5, зробити висновки про те, за рахунок чого здійснюється регулювання середнього значення вихідної напруги керованого випрямляча і чому регулювальна характеристика має нелінійний характер.

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

5.1. Випрямлячі

Електрична енергія централізовано, в основному, виробляється на змінному струмі.

В той же час споживання електричної енергії, за винятком теплових та освітлювальних установок, двигунів змінного струму та деяких інших застосувань, як правило, відбувається на постійному струмі: електричні двигуни постійного струму, технологічні процеси (наприклад, електроліз, зварювання), живлення електронних пристроїв (наприклад, вимірювальних, підсилюючих, обчислювальних, керуючих і т.п.).

Виходячи з цього, одним з основних видів перетворення електричної енергії є випрямлення.

Випрямлячем називають електротехнічний пристрій, призначений для перетворення енергії джерела напруги змінного струму в енергію напруги постійного струму.

Випрямляч зазвичай містить трансформатор, вентильну схему, згладжуючий фільтр, регулятор (стабілізатор). Навантаження також відносять до складу випрямляча, оскільки воно суттєво впливає на його роботу.

Трансформатор здійснює перетворення напруги мережі до необхідного для роботи випрямляча значення і забезпечує електричне (гальванічне) розділення первинного і вторинного кіл. Останнє забезпечує умови електричної безпеки за живлення.

Вентильна схема перетворює змінну напругу на випрямлену – в однополярну пульсуючу.

Згладжуючий фільтр виділяє з однополярної пульсуючої напруги постійну складову, чим забезпечує отримання власне напруги постійного струму.

Регулятор (стабілізатор) призначений для завдання на навантаженні необхідного значення напруги або його зміни за необхідним законом (наприклад, підтримки напруги на навантаженні на незмінному рівні) при змінах напруги мережі або змінах опору навантаження у заданих межах.

5.2. Однофазні схеми випрямлення

При потужності споживачів до декількох сотень ват випрямлення здійснюють за допомогою однофазних схем: однопівперіодної і двопівперіодних – з нульовим виводом і мостової.

Однопівперіодна схема і часові діаграми, що ілюструють її роботу, наведені на рис. 6.3.

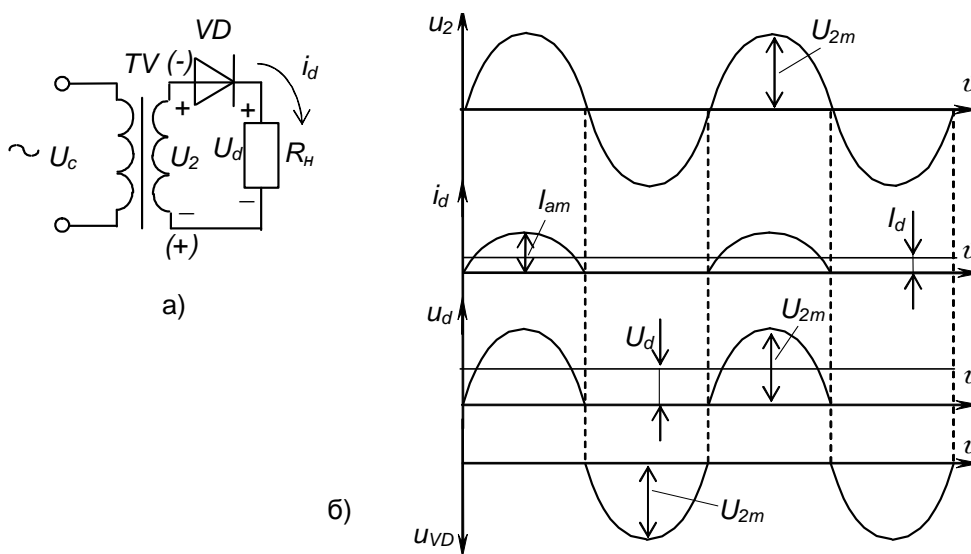


Рис. 6.3 – Однофазний однопівперіодний випрямляч (а)
і часові діаграми його роботи (б)

Часові діаграми тут і надалі, як правило показують залежність відповідної величини від $\vartheta = \omega t$, де $\omega = 2\pi f_M$ – кругова частота, f_M – частота мережі живлення, а t – час.

Струм у схемі протікає тільки при полярності напруги U_2 , зазначеної без дужок, коли діод VD відкритий. При протилежній полярності діод закритий, і вся напруга прикладається до нього.

Двопівперіодна схема випрямляча з нульовим виводом та часові діаграми його роботи наведені на рис. 6.4.

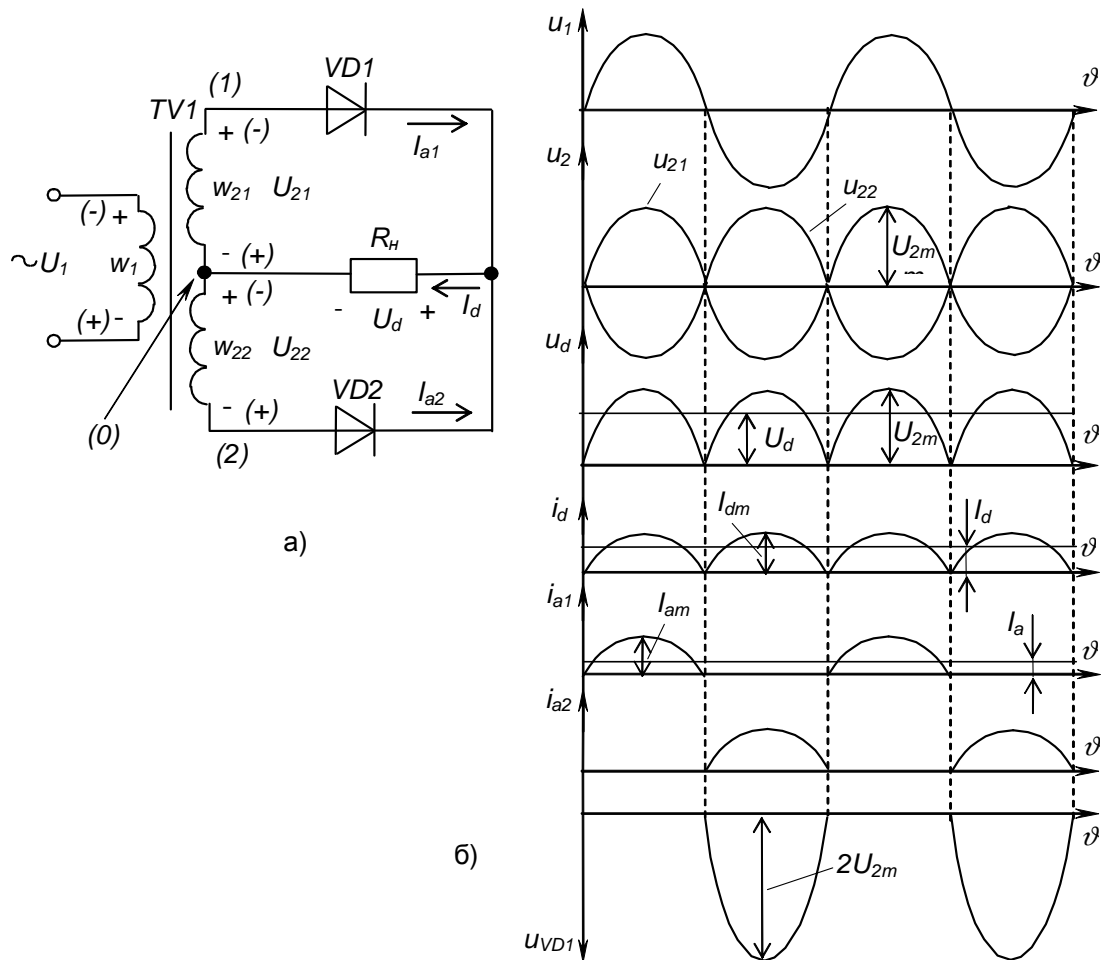


Рис. 6.4 – Однофазний випрямляч з нульовим виводом (а) і часові діаграми його роботи (б)

Дана схема фактично являє собою об'єднання двох однопівперіодних схем випрямлення, одна з яких пропускає струм у навантаження при позитивній півхвилі напруги U_{21} , а інша – при негативній півхвилі напруги U_{22} . Оскільки число витків півобмоток однакове, то $U_{21} = U_{22}$. При цьому напрямок струму в навантаженні у обох випадках однаковий, а отже полярність пульсуючої напруги також однакова.

Максимальна зворотна напруга на закритому діоді дорівнює сумі амплітуд напруг U_{21} і U_{22} , тобто подвійній амплітуді напруги півобмотки трансформатора, оскільки коли один діод відкритий, а інший закритий, то останній виявляється підімкненим до двох півобмоток трансформатора.

Двопівперіодна мостова схема і часові діаграми, що пояснюють її роботу, наведені на рис. 6.5

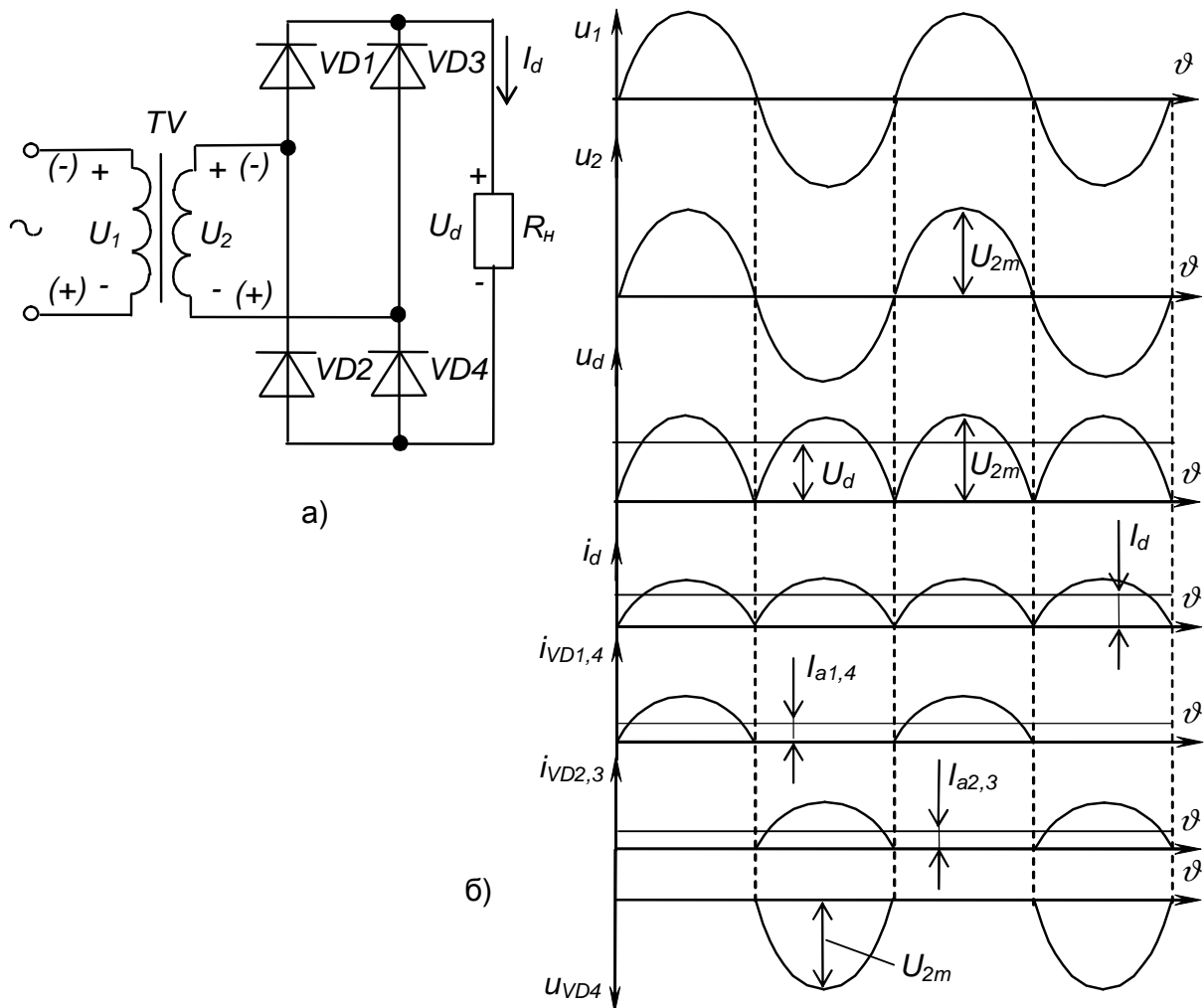


Рис. 6.5 – Однофазний мостовий випрямляч (а) і часові діаграми його роботи (б)

У цій схемі до однієї діагоналі утвореного діодами моста – діагоналі змінного струму – підімкнено вторинну обмотку трансформатора, а до іншої – діагоналі постійного струму – навантаження. Діоди $VD1$ і $VD3$ складають катодну групу, а $VD2$ і $VD4$ – анодну (за ознакою з'єднання разом однакових електродів).

За позитивної півхвилі напруги U_2 (полярність зазначена без дужок) струм протікає через діоди $VD1$ і $VD4$. До діодів $VD2$ і $VD3$ у цей час прикладена зворотна напруга, амплітудне значення якої дорівнює U_{2m} , тому що закритий діод (наприклад, $VD2$) через діод, що проводить струм ($VD4$), підмикається паралельно до вторинної обмотки трансформатора. За негативної півхвилі (полярність зазначена у дужках) струм проводять діоди

$VD2$ і $VD3$, тобто у провідному стані в мостовому випрямлячі завжди знаходяться два діоди – один катодної групи і один анодної.

Основні показники однофазних схем випрямлення наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Основні показники однофазних схем випрямлення

Параметр		Схема випрямлення		
		однопів-періодна	двопів-періодна з нульовим виводом	двопів-періодна мостова
Відношення діючого значення напруги вторинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленої напруги	$\frac{U_2}{U_d}$	2,22	1,11	1,11
Відношення діючого значення струму вторинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_2}{I_d}$	1,57	0,785	1,11
Відношення середнього значення струму діода до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_a}{I_d}$	1,57	0,5	0,5
Відношення діючого значення струму первинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленого струму (n - коефіцієнт трансформації)	$\frac{I_1}{nI_d}$	1,21	1,11	1,11
Частота основної гармоніки пульсацій	$f(1)$	f_m	$2f_m$	$2f_m$
Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги	$K_{n(1)}$	1,57	0,667	0,667
Габаритна потужність трансформатора	S_T	3,1	1,48	1,23
Наявність підмагнічування	–	є	немає	немає

Порівняльний аналіз однофазних схем випрямлення показує:

1) однопівперіодна схема, у зв'язку з підвищеною габаритною потужністю трансформатора (бо його осердя підмагнічується через протікання струму у вторинній обмотці в одному напрямку протягом періоду) і знач-

ним коефіцієнтом пульсацій, застосовується тільки для живлення навантажень малої потужності – десятки міліват;

2) схема з нульовим виводом має кращі параметри вихідної напруги і два діоди, але трансформатор повинен мати вторинну обмотку, що складається з двох однакових півобмоток, і на закритий діод діє подвійна зворотна напруга;

3) мостова схема, що має чотири діоди і трансформатор з однією вторинною обмоткою, забезпечує ті ж параметри вихідної напруги, що й схема з нульовим виводом (оскільки габарити і вартість діодів невеликі, їхня подвоєна кількість не є істотним недоліком, окрім випадків випрямлення малих значень напруг – одиниці вольт, – коли істотно проявляється дія прямого падіння напруги на діодах).

5.2. Згладжуючі фільтри

Згладжуючий фільтр застосовується для згладжування пульсацій випрямленої напруги до рівня, необхідного для нормальної роботи навантаження.

При цьому коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги визначається як відношення амплітуди основної гармоніки пульсацій $U_{m(1)}$ до значення постійної складової

$$K_{n(1)} = \frac{U_{m(1)}}{U_d} . \quad (6.1)$$

Якість фільтра характеризується коефіцієнтом згладжування, що дорівнює відношенню коефіцієнта пульсацій на вході фільтра $K_{n(1)вх}$ до коефіцієнта пульсацій на його виході $K_{n(1)вих}$:

$$K_{зг} = \frac{K_{n(1)вх}}{K_{n(1)вих}} . \quad (6.2)$$

Фільтри бувають пасивними (виконуються на пасивних елементах – резисторах, конденсаторах, дроселях) і активними (на транзисторах, операційних підсилювачах).

Пасивні фільтри використовують здатність індуктивностей і ємностей накопичувати енергію відповідно електричного та електромагнітного полів.

Індуктивні фільтри застосовуються у випрямлячах середньої і великої потужності, тому що забезпечують безперервність струму в схемі: у

навантаженні, трансформаторі, діодах (бо відповідно до першого закону комутації струм у індуктивності не може змінюватися стрибком).

Схема індуктивного фільтра і часові діаграми його роботи при фільтрації двопівперіодної напруги наведені на рис. 6.6.

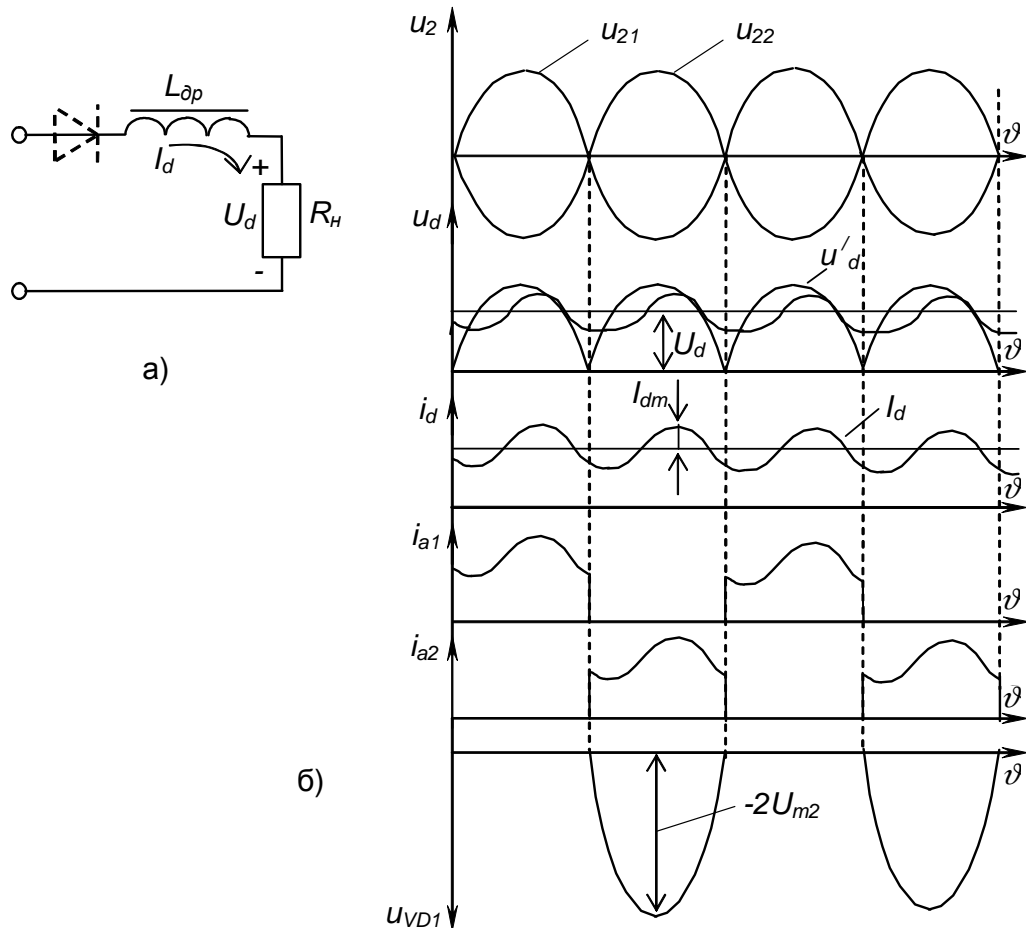


Рис. 6.6 – Індуктивний фільтр (а) і часові діаграми роботи (б) однофазного двопівперіодного випрямляча з індуктивним фільтром (з активно-індуктивним навантаженням)

Ефект фільтрації визначається тим, що індуктивність чинить опір гармонічним складовим пульсуючої випрямленої напруги, а постійній складовій – ні. Дросель і активний опір навантаження утворюють частотозалежний дільник напруги за умови, що опір дроселя змінній складовій пульсуючого струму з найнижчою частотою $X_L = \omega_n L$ (активний опір у ідеального дроселя відсутній) значно перевищує активний опір навантаження R_n . Змінні складові напруги діляться між R_n і X_L так, що в основному падають на X_L , а постійна складова вся прикладається до R_n .

Отже для ефективного згладжування необхідним є виконання умови:

$$X_L = \omega_n L \gg R_n, \quad (6.3)$$

де $\omega_n = 2\pi f_n$.

У якості індуктивності в випрямлячах використовують дроселі – котушки індуктивності з магнітним осердям, що має повітряний зазор, який запобігає насиченню магнітопроводу.

Ємнісний фільтр – це конденсатор, що вмикається паралельно навантаженню. Його схема і часові діаграми роботи наведені на рис. 6.7.

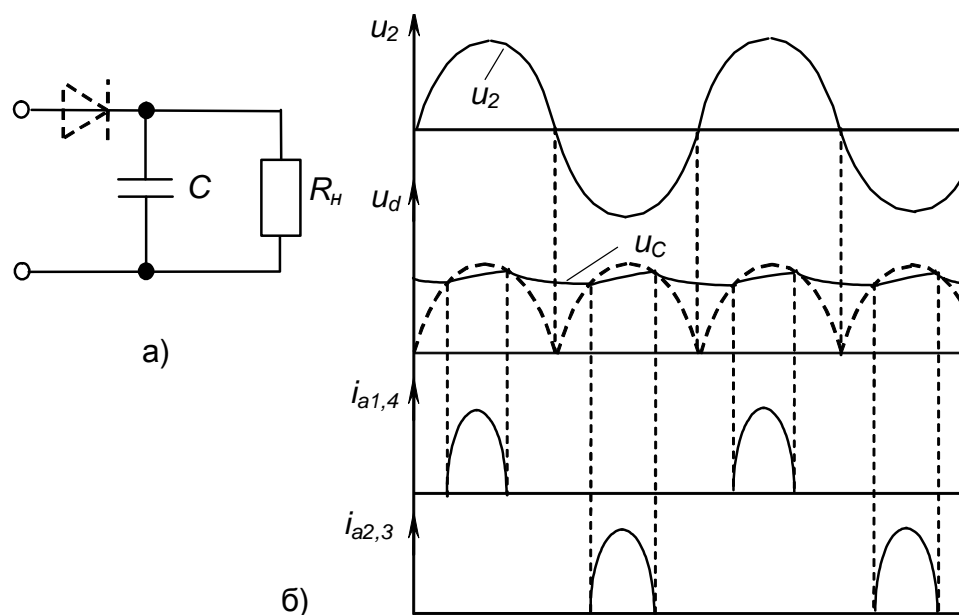


Рис. 6.7 – Ємнісний фільтр (а) і часові діаграми роботи (б) мостового випрямляча з ємнісним фільтром (з активно-ємнісним навантаженням)

За умови, що опір конденсатора X_C для складової пульсуючого струму з найнижчою частотою значно менший за опір навантаження R_n , забезпечується шунтування навантаження за змінним струмом: оскільки конденсатор і активний опір навантаження утворюють частотнозалежний дільник струму, постійний струм увесь протікає через R_n (конденсатор постійного струму не проводить), а змінні складові розподіляються між R_n і X_C . Для ефективного згладжування необхідним є виконання умови:

$$X_C = \frac{1}{\omega_n C} \ll R_n . \quad (6.4)$$

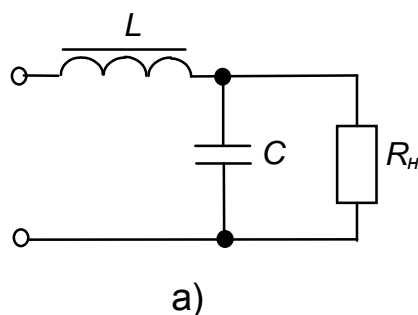
Заряд конденсатора відбувається у проміжки часу, коли напруга вторинної обмотки перевищує напругу на конденсаторі (протікає струм через відповідні вентилі). Якщо вона нижче, то навантаження живиться енергією, що запасена в ємності (конденсатор розряджається).

Струм заряду, значення якого обмежується лише опором елементів схеми випрямлення, має пульсуючий характер, що несприятливо як для діодів і трансформатора, так і для мережі живлення. Тому ємнісні фільтри застосовуються при малих струмах навантаження. Іноді, щоб обмежити кидки струму, у коло заряду включають опір $R = (0,2 - 0,3)R_H$.

Слід також зазначити, що чим більша постійна часу розряду конденсатора $\tau = CR_H$, тим вище середнє значення випрямленої напруги, що наближається до величини $U_{dXX} = \sqrt{2}U_2$.

Для підвищення якості фільтрації і поліпшення умов роботи випрямляча застосовують Г-подібні LC-фільтри, що виконуються за схемою, зображеною на рис. 6.8,а.

Тут конденсатор знижує опір навантаження за змінним струмом, а індуктивність, окрім фільтрації, забезпечує і безперервність струму.



Для одержання кращого згладжування випрямленої напруги при забезпеченні прийнятних значень параметрів елементів фільтра застосовують багатоланкові фільтри, що являють собою послідовне вмикання простих фільтрів (ланок). Коефіцієнт згладжування багатоланкового фільтра дорівнює добутку коефіцієнтів згладжування ланок. Прикладом багатоланкового фільтра може бути П-подібний CLC-фільтр, зображений на рис. 6.8,б. Він являє собою послідовне вмикання ємнісного фільтра і Г-подібного LC-фільтра.

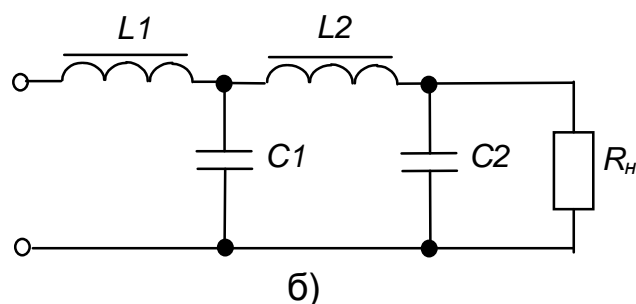


Рис. 6.8 - Г-подібні LC-фільтри: одноланковий (а) і дволанковий (б)

Для забезпечення високих масогабаритних показників за малої потужності застосовують активні фільтри, у яких дія реактивних елементів посилюється транзисторними або операційними підсилювачами.

5.5. Компенсаційний стабілізатор напруги

Стабілізатори призначені для підтримання значення напруги на навантаженні випрямляча на незмінному рівні при змінах напруги мережі, опору навантаження у заданих межах і дії інших дестабілізуючих факторів.

Стабілізатори поділяються на параметричні, де використовується ефект незмінності напруги в деяких видах електронних приладів при зміні струму, що протікає через них, (наприклад, стабілітрон), і компенсаційні, у яких стабілізація забезпечується за рахунок замкненої автоматичної системи регулювання з негативним зворотним зв'язком, коли, наприклад, опір керованого нелінійного елемента, включеного послідовно або паралельно навантаженню, змінюється за допомогою спеціальної схеми слідкування.

Частіше застосовуються послідовні стабілізатори, як більш економічні. Структурна схема такого стабілізатора зображена на рис. 6.9.

Тут струм навантаження I_H дорівнює струму регулюючого елемента PE , а напруга на навантаженні U_H дорівнює різниці напруги U_d і падіння напруги на PE U_{PE} . Завдяки зміні системою керування СК значення U_{PE} підтримується сталість U_H :

$$U_H = U_d - U_{PE}. \quad (6.5)$$

Ефективність роботи стабілізатора визначається коефіцієнтом стабілізації, що дорівнює відношенню відносної зміни напруги на вході стабілізатора до відносної зміни напруги на його виході:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_d}{U_d} : \frac{\Delta U_H}{U_H}, \quad (6.6)$$

де ΔU_d і ΔU_H – абсолютні зміни вхідної і вихідної напруг відповідно.

Одна з можливих схем компенсаційного стабілізатора наведена на рис. 6.10.

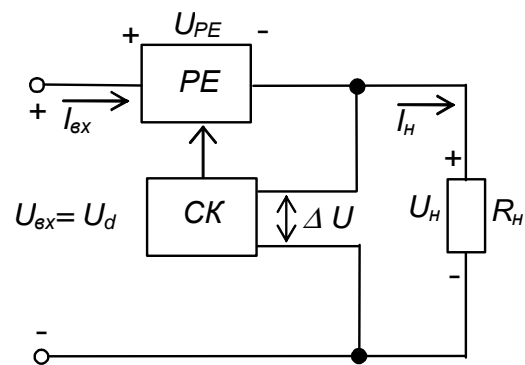


Рис. 6.9 - Структурна схема компенсаційного стабілізатора послідовного типу

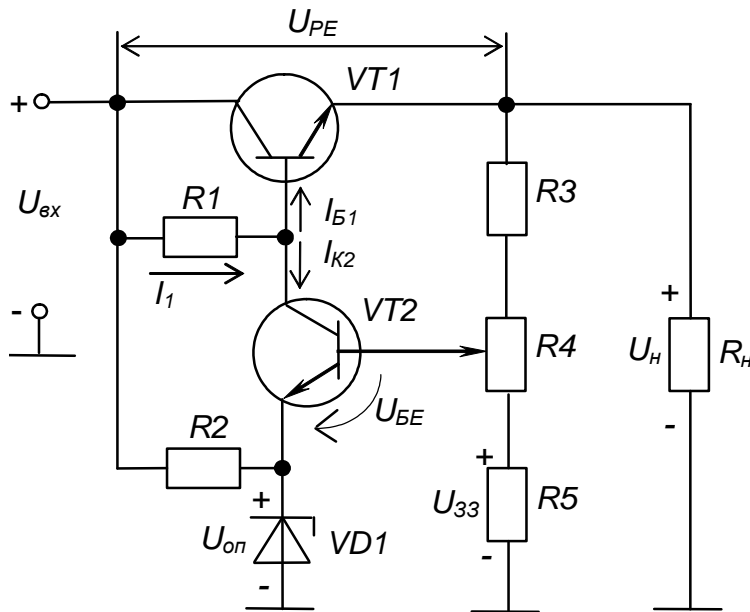


Рис. 6.10 - Компенсаційний стабілізатор послідовного типу з регульованою вихідною напругою

Транзистор $VT2$ є пристроєм порівняння і підсилювачем сигналу неузгодженості, що дорівнює різниці напруг $U_{зз}$ і $U_{оп}$.

Працює стабілізатор наступним чином.

Наприклад, при збільшенні $U_d = U_{вх}$ починає збільшуватися U_n , а виходить, і $U_{зз}$. Це призводить до збільшення напруги розузгодження

$$U_{БЕ} = U_{зз} - U_{оп} , \quad (6.7)$$

транзистора, що є керуючим для, $VT2$. Через це $VT2$ сильніше відкривається, збільшується його колекторний струм $I_{К2}$ і більша частина струму I_1 , що тече через резистор R_1 , відгалужується у $VT2$. Струм бази транзистора $VT1$

$$I_B = I - I_K \quad (6.8)$$

зменшується і транзистор $VT1$ призакривається, тобто падіння напруги на ньому $U_{КЕ} = U_{PE}$ збільшується. У результаті, напруга на навантаженні згідно з (6.6) наближається до попереднього значення.

При зменшенні U_d відбуваються зворотні процеси, що також змушує U_n повернутися до попереднього значення.

У якості PE тут використано біполярний транзистор $VT1$, увімкнений за схемою з СК із зміщенням фіксованим струмом через резистор R_1 .

Елементи R_2 і $VD1$, що являють собою параметричний стабілізатор, є джерелом опорної (еталонної) напруги $U_{оп}$.

Резистори $R_3 - R_5$ утворюють ділянку вихідної напруги, що є джерелом напруги зворотного зв'язку $U_{зз}$.

Напруга на навантаженні визначається значенням еталонної напруги U_{on} і може регулюватися зміною напруги U_{33} при використанні, наприклад, у якості R_4 резистора змінного опору.

У наш час широко поширені стабілізатори у інтегральному виконанні. Крім елементів, що забезпечують стабільність вихідної напруги, вони містять також елементи захисту від перевантаження, короткого замикання та перегріву корпусу.

5.3. Зовнішня (навантажувальна) характеристика випрямляча

Через наявність опору обмоток трансформатора R'_T (у розрахунках приводиться до вторинної сторони), опору провідників, що з'єднують елементи, R_{np} і опору діодів R_D вихідна напруга випрямляча знижується зі збільшенням струму навантаження.

Це відображає зовнішня характеристика випрямляча:

$$U_d = U_{dXX} - I_d (R'_T + R_{np} + R_D) , \quad (6.9)$$

де U_{dXX} – середнє значення випрямленої напруги у режимі холостого ходу;

I_d – середнє значення струму навантаження.

Зовнішні характеристики випрямлячів різного типу наведено на рис 6.11.

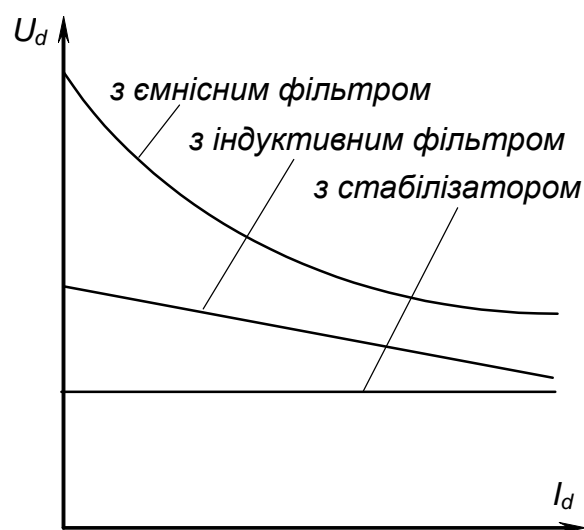


Рис. 6.11 – Зовнішні характеристики випрямлячів

5.6. Керований випрямляч

Можливість зміни постійної напруги на навантаженні за необхідним законом або стабілізація її значення може бути реалізована за допомогою керованих випрямлячів, що будуються на вентилях, які дозволяють за сигналами керування змінювати свої параметри, наприклад, на тиристорах.

Тиристором називають багатошаровий електронний прилад, який може знаходитися у двох станах: закритому і відкритому.

Перевести тиристор із закритого стану у відкритий можна, пропустивши по колу керуючий електрод – катод струм керування $i_{кер}$ за наявності на тиристорі прямої напруги. За рахунок дії внутрішнього позитивного зворотного зв'язку достатній для відкриття тиристора час протікання струму керування складає мікросекунди.

З відкритого стану у закритий тиристор переходить, якщо до нього на деякий час (сотні мікросекунд) прикласти зворотну напругу або зменшити струм, що протікає через нього, нижче значення, названого струмом утримання. Струм у колі керування при цьому повинен бути відсутнім.

Принцип дії керованого випрямляча розглянемо на прикладі однофазного випрямляча з нульовим виводом, схема і часові діаграми, що пояснюють його роботу, зображені на рис. 6.12.

Принцип регулювання полягає у задаванні регульованої затримки на вмикання тиристорів випрямляча відносно моменту природного переходу напруги мережі живлення через нуль. Ця затримка вимірюється кутом α , що називається кутом керування.

Тиристори $VS1$ і $VS2$ за допомогою схеми керування СК по черзі підмикають навантаження до півобмоток трансформатора TV .

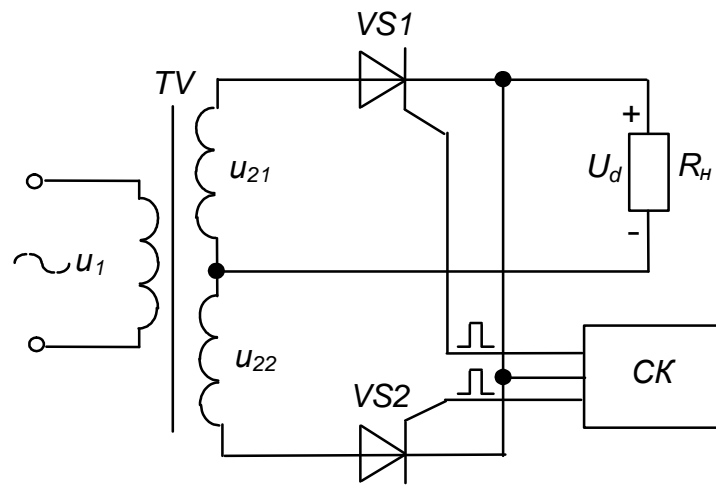
При $\alpha = 0$ маємо нерегульований режим;

при $\alpha = \pi$ тиристор закритий і $U_d = 0$;

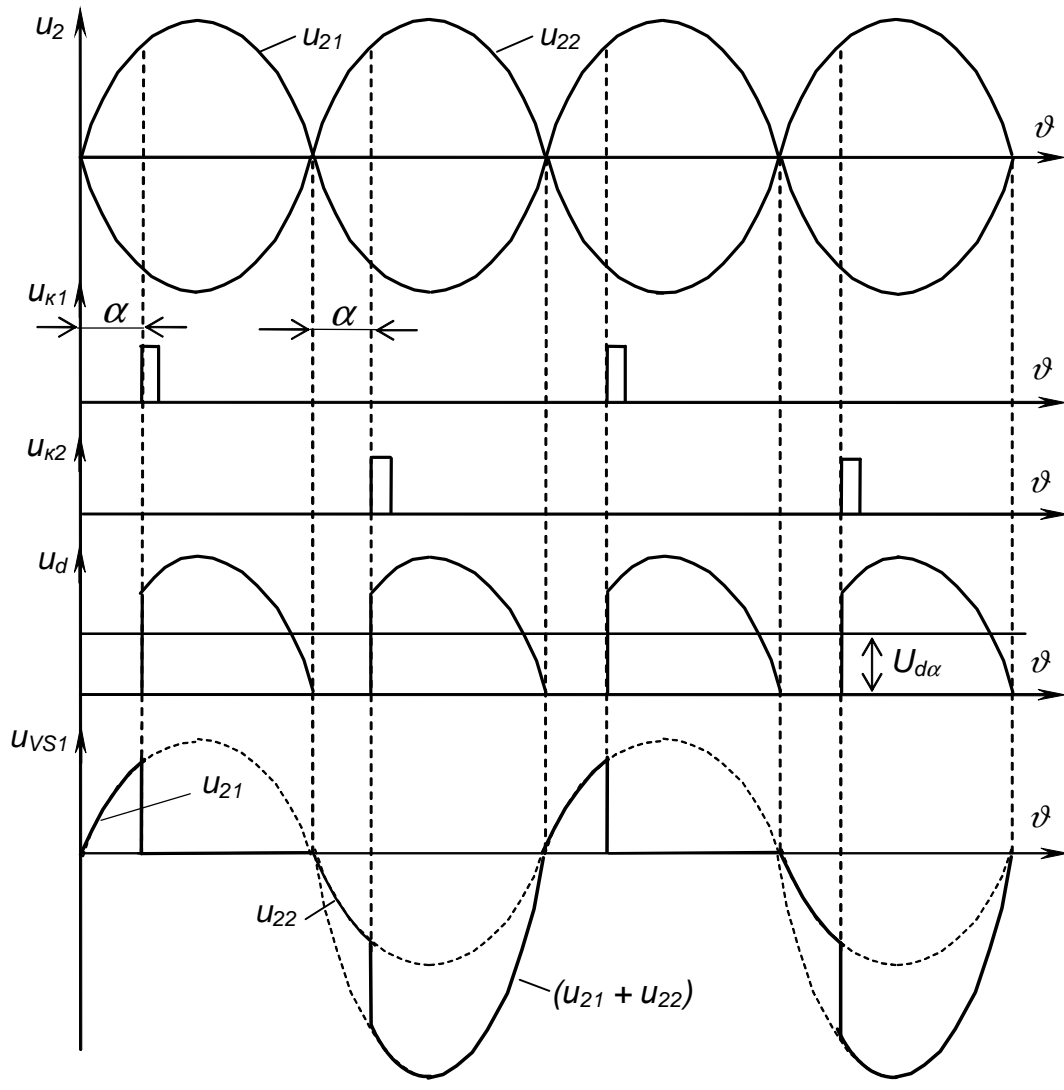
при $0 < \alpha < \pi$ напруга на навантаженні становить

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{2m}(\sin \omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{U_{2m}}{\pi} (1 + \cos \alpha) . \quad (6.10)$$

Таким чином, змінюючи значення α , регулюють середнє значення вихідної напруги U_d .



а)



б)

Рис. 6.12 - Однофазний двопівперіодний керований випрямляч з нульовим виводом (а) та часові діаграми його роботи (б)

Регулювальна характеристика випрямляча зображена на рис. 6.13.

Вона нелінійна, тому що лінійна зміна α викликає нелінійні зміни площі під кривою синусоїди.

Керовані випрямлячі на тиристорах безінерційні, мають високий к.к.д. (тому що на відміну, наприклад, від компенсаційного стабілізатора надлишок потужності

при регулюванні не виділяється на регулюючому елементі у вигляді тепла, а просто не береться з мережі), добре працюють у автоматичному режимі при керуванні від зовнішніх пристроїв.

Їхнім недоліком є значне викривлення форми вихідної пульсуючої напруги, що веде до збільшення габаритів і маси фільтрів і вимагає додаткового встановлення вхідних фільтрів для виключення впливу на мережу живлення за рахунок імпульсного споживання струму.

Керовані випрямлячі застосовуються для створення потужних регульованих джерел постійної напруги, що використовуються для різних цілей: стабілізаторів, терморегуляторів, світлорегуляторів, регуляторів швидкості обертання електродвигунів постійного струму і т.п.

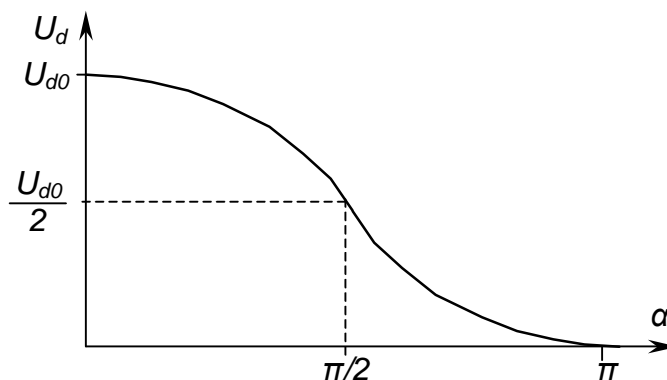


Рис. 6.13 – Регулювальна характеристика керованого випрямляча

Контрольні запитання

- 1) Вкажіть призначення і склад випрямляча.**
- 2) Назвіть схеми випрямлення, що досліджуються у даній роботі, і поясніть принцип дії кожної з них.**
- 3) Проведіть порівняльний аналіз однофазних схем випрямлення.**
- 4) Вкажіть призначення, основні параметри й види згладжуючих фільтрів.**
- 5) Наведіть схему і поясніть принцип дії індуктивного фільтра.**
- 6) Наведіть схему і поясніть принцип дії ємнісного фільтра.**
- 7) Наведіть схему і поясніть принцип дії Г-подібного LC-фільтра.**
- 8) Вкажіть призначення стабілізаторів напруги і поясніть принцип роботи параметричного і компенсаційного стабілізаторів.**

9) **Наведіть схему компенсаційного стабілізатора напруги і поясніть принцип його дії.**

10) **Поясніть, що показує зовнішня характеристика випрямляча і як впливає на її вид склад випрямляча?**

11) **Поясніть, що таке тиристор, яким чином здійснюють керування ним.**

12) **Наведіть схему і поясніть принцип дії керованого випрямляча.**

13) **Поясніть, що показує регульовальна характеристика регульованого випрямляча і який вигляд вона має.**

14) **Поясніть, у чому полягає відмінність принципів регулювання вихідної напруги в компенсаційному стабілізаторі й у регульованому випрямлячі.**

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. - пп. 2.6, пп. 9.1-9.4, пп. 9.6-9.13.

2. Колонтаєвський, Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум [Текст]: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) – пп. 2.6, пп. 9.1-9.4, пп. 9.6-9.13.

3. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - с. 274-281, 293.

4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - с. 287-314.

5. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - 189-210, 215-218.

6. Красько А.С., Скачко К.Г. Промышленная электроника [Текст]: учебное пособие для теплоэнергетических спец. вузов / А.С. Красько, К.Г. Скачко – Минск: Высшейшая школа, 1984, 208 с. - с. 167-173, 177-185, 187-190, 193-94.

Лабораторна робота №7
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ
І ОДНОФАЗНОГО АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА

1. МЕТА РОБОТИ

- 1) Дослідження трифазних схем випрямлення.
- 2) Дослідження однофазного автономного інвертора струму.

2. ОБЛАДНАННЯ

- 1) Стенд лабораторний №7.
- 2) Осцилограф С1-68.

3. ЗМІСТ РОБОТИ

- 1) Дослідити трифазну схему випрямлення з нульовим виводом (схему Міткевича) при роботі на активне навантаження.
- 2) Дослідити трифазну мостову схему випрямлення (схему Ларіонова) при роботі на активне навантаження.
- 3) Дослідити однофазний автономний інвертор струму з нульовим виводом при роботі на активне навантаження.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Ознайомитись з робочим місцем і приладами.
- 4.2. Ввімкнути осцилограф і живлення стенда лабораторного.

4.3. Дослідження схеми Міткевича

4.3.1. Дослідження виконувати за допомогою схеми, наведеної на рис. 7.1 (мнемосхема на лівій половині стенда лабораторного).

Перемикач „Род работы” встановити у положення „Сх. Міткевича”.

4.3.2. Зняти дані для побудови зовнішньої характеристики випрямляча і розрахунку його параметрів. Для цього тумблери SB1-SB8 „Нагрузка” встановити у відключене положення. Після чого, переводячи тумблери у ввімкнене положення згідно з табл. 7.1, збільшувати струм навантаження від нуля до максимального значення. Показання вимірювальних приладів, встановлених на лицьовій панелі стенда лабораторного, занести у табл. 7.1.

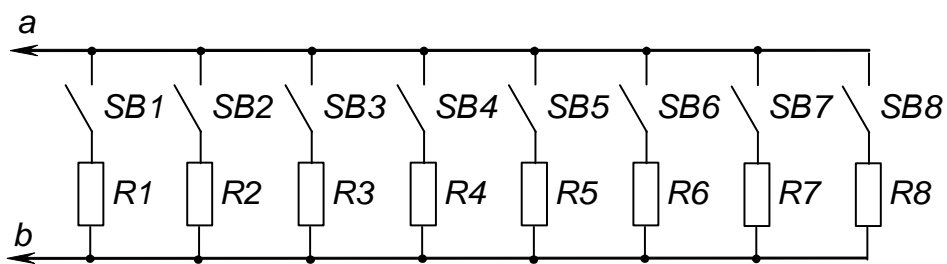
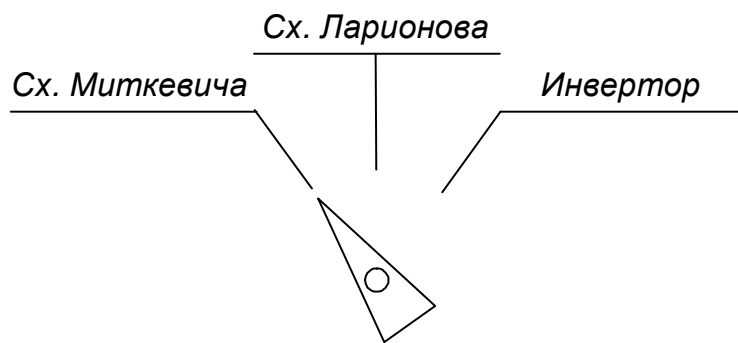
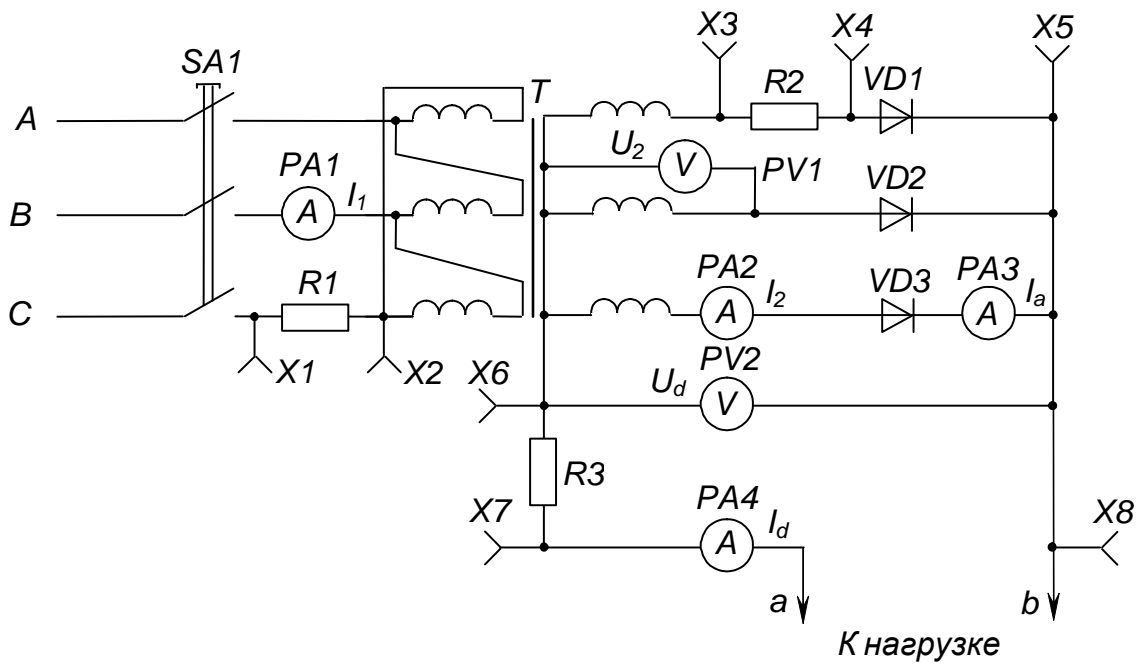


Рис. 7.1 – Схема для дослідження трифазного випрямляча з нульовим виводом (схеми Міткевича)

Таблиця 7.1 – Експериментальні дані схеми Міткевича

Кількість ввімкнених тумблерів	0	1	2	3	4	5	6	7	8
U_2 , В									
U_d , В									
I_1 , А									
I_2 , А									
I_a , А									
I_d , А									

Примітка. У табл. 7.1 позначені:

U_2 – діюче значення фазної напруги на вторинній обмотці трансформатора (вимірюється вольтметром $PV1$);

U_d – середнє значення напруги на навантаженні випрямляча (вимірюється вольтметром $PV2$);

I_1 – діюче значення лінійного струму первинної обмотки трансформатора (вимірюється амперметром $PA1$);

I_2 – діюче значення фазного струму вторинної обмотки трансформатора (вимірюється амперметром $PA2$);

I_a – середнє значення струму через діод (вимірюється амперметром $PA3$);

I_d – середнє значення струму навантаження (вимірюється амперметром $PA4$).

4.3.3. Зняти осцилограми напруг і струмів (тумблери $SB1-SB8$ увімкнуті) у схемі випрямляча (перемикач вибору виду синхронізації осцилографа встановити у положення „*Сеть*”, тут і надалі при виконанні дослідів органи керування осцилографа встановлювати у положення, що забезпечують спостереження стійкого, зручного для вимірів зображення):

1) фазної напруги на вторинній обмотці трансформатора, підімкнувши сигнальний кабель осцилографа нульовим проводом до клеми $X6$, а сигнальним – до $X3$ (перемикач осцилографа „*Усилитель Y*” встановити орієнтовно у положення „*1 В/см*”, а множник підсилення по вертикалі задати рівним „ $\times 10$ ”);

- 2) напруги на навантаженні, підімкнувши кабель осцилографа до клем $X7$ і $X8$ відповідно;
- 3) напруги на діоді – клеми $X5$ і $X4$ відповідно;
- 4) струму вторинної обмотки трансформатора – клеми $X4$ і $X3$ відповідно (перемикач осцилографа „Усилитель Y ” встановити орієнтовно у положення „10 мВ/см”, бо як датчики струму використовуються шунти – у даному випадку це резистор $R2$ з опором у десяті долі ома);
- 5) струму навантаження – клеми $X6$ і $X7$ відповідно.

4.4. Дослідження схеми Ларіонова

4.4.1. Дослідження роботи за допомогою схеми, зображеної на рис. 7.2 (верхня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного). Перемикач „Род роботи” встановити у положення „Сх. Ларіонова”.

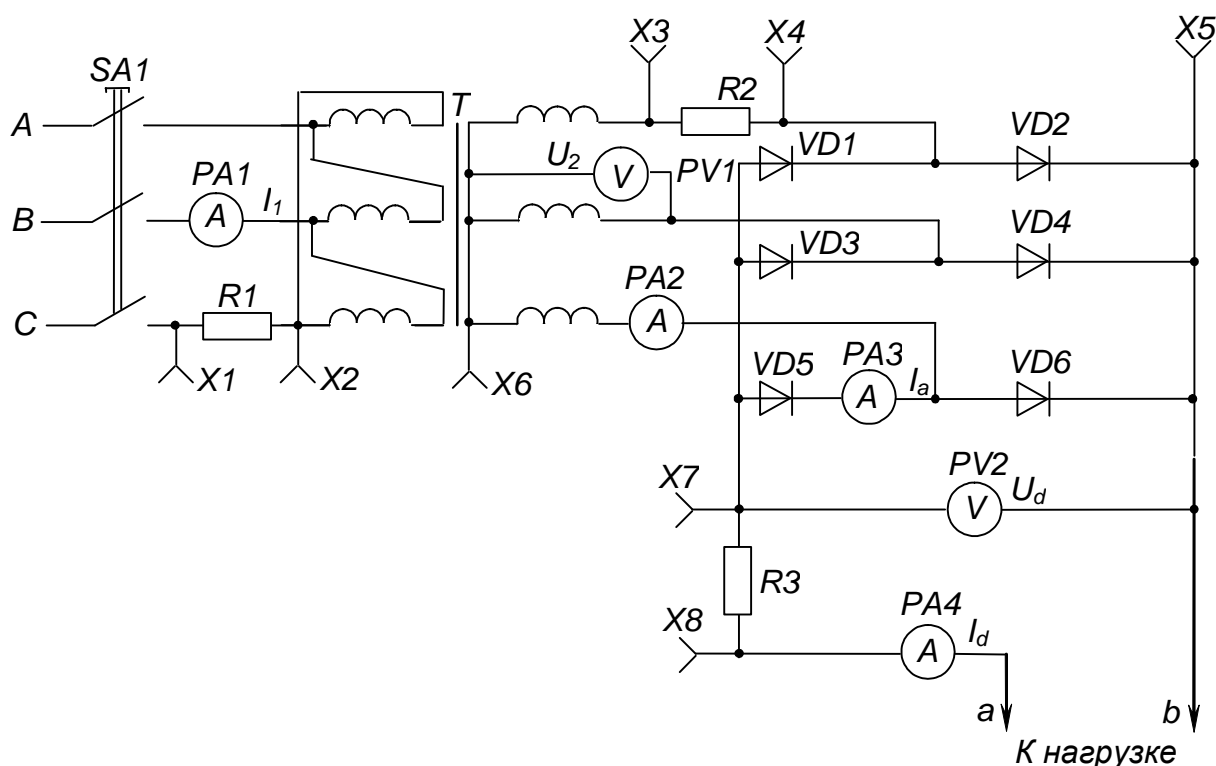


Рис. 7.2 – Схема для дослідження трифазного мостового випрямляча (схеми Ларіонова)

4.4.2. Зняти дані для побудови зовнішньої характеристики випрямляча і розрахунку його параметрів відповідно до методики пп. 4.3.2. Показання вимірювальних приладів занести в таблицю, аналогічну табл. 7.1.

4.4.3. Зняти осцилограми напруг і струмів у схемі випрямляча аналогічно методиці пп. 4.3.4, підмикаючи нульовий і сигнальний проводи сигнального кабелю осцилографа відповідно до клем:

- 1) X6-X3 (фазна напруга);
- 2) X8-X5 (напруга на навантаженні);
- 3) X5-X4 (напруга на діоді);
- 4) X4-X3 (струм вторинної обмотки);
- 5) X7-X8 (струм навантаження).

4.5. Дослідження інвертора

4.5.1. Дослідження роботи за допомогою схеми, зображеної на рис. 7.3 (нижня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного). Перемикач „Род работы” встановити у положення „Інвертор”.

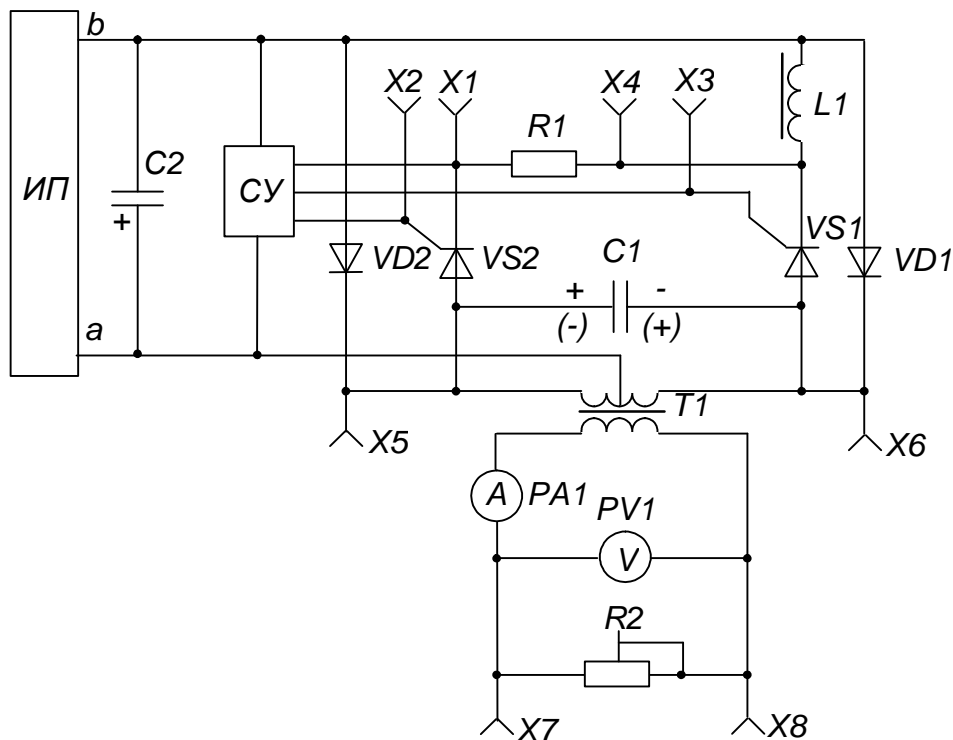


Рис. 7.3 – Схема для дослідження однофазного автономного інвертора струму

4.5.2. Зняти осцилограми напруг і струму в схемі інвертора, підмикаючи нульовий і сигнальний проводи сигнального кабелю осцилографа відповідно до клем (перемикач вибору виду синхронізації осцилографа встановити у положення „Внутр.”):

- 1) X4-X3 – імпульси керування тиристора VS1 (перемикач осцилографа „Усиление Y” встановити орієнтовно у положення „0,2 В/см”, а масштаб – „x10”);
- 2) X1-X2 – імпульси керування тиристора VS2;
- 3) X8-X7 – напруга на навантаженні (перемикач „Усиление Y” – орієнтовно у положенні „1 В/см”);
- 4) X6-X5 – напруга на комутуючому конденсаторі („Усиление Y” – „2 В/см”);
- 5) X1-X5 – напруга на тиристорі VS2;
- 6) X4-X1 – струм через тиристор VS2 („Усиление Y” – орієнтовно „20 мВ/см”).

4.6. Виключити осцилограф і живлення стенда лабораторного.
Навести порядок на робочому місці.

4.7. Обробка результатів експериментів

4.7.1. За даними таблиць пп. 4.3.2 і пп. 4.4.2 в одній системі координат побудувати зовнішні характеристики випрямлячів $U_d = f(I_d)$. Зробити висновки про значення і характер зміни напруги.

4.7.2. За даними пп. 4.3.2 і пп. 4.4.2 виконати розрахунки і результати занести у табл. 7.2. Виконати порівняльний аналіз показників трифазних схем випрямлення.

4.7.3. Осцилограми напруг і струмів для кожного випрямляча розташувати одну під одною з урахуванням орієнтації відносно фазної напруги на вторинній обмотці трансформатора, а для інвертора – відносно імпульсів керування тиристора VS1.

4.7.4. Для кожного випрямляча за осцилограмами зробити висновок про значення вихідної напруги і частоту її пульсацій, про максимальне значення зворотної напруги на діоді, форму струму вторинної обмотки трансформатора.

4.7.5. Для інвертора за осцилограмами зробити висновок про форму вихідної напруги, струму через тиристор, напруги на комутуючому конденсаторі.

Таблиця 7.2 – Результати розрахунку показників трифазних схем випрямлення

Схема випрямлення	Відношення	Кількість увімкнених тумблерів			
		0	2	4	8
Міткевича	U_2/U_d				
	I_1/I_d				
	I_2/I_d				
	I_a/I_d				
Ларіонова	U_2/U_d				
	I_1/I_d				
	I_2/I_d				
	I_1/I_d				

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

5.1. Трифазні схеми випрямлення

Для живлення навантажень середньої і великої потужності використовують трифазні схеми випрямлення, що порівняно з однофазними мають ряд переваг: суттєво нижчий коефіцієнт пульсацій, а отже більш ефективне використання згладжуючих фільтрів, ефективне використання габаритної потужності трансформатора, краще використання вентилів за струмом.

Найрозповсюдженішими з трифазних схем випрямлення є однопівперіодна з нульовим виводом (схема Міткевича) та двопівперіодна мостова (схема Ларіонова).

5.1.1. Схема Міткевича

Схема Міткевича і часові діаграми, що пояснюють її роботу, зображені на рис. 7.4.

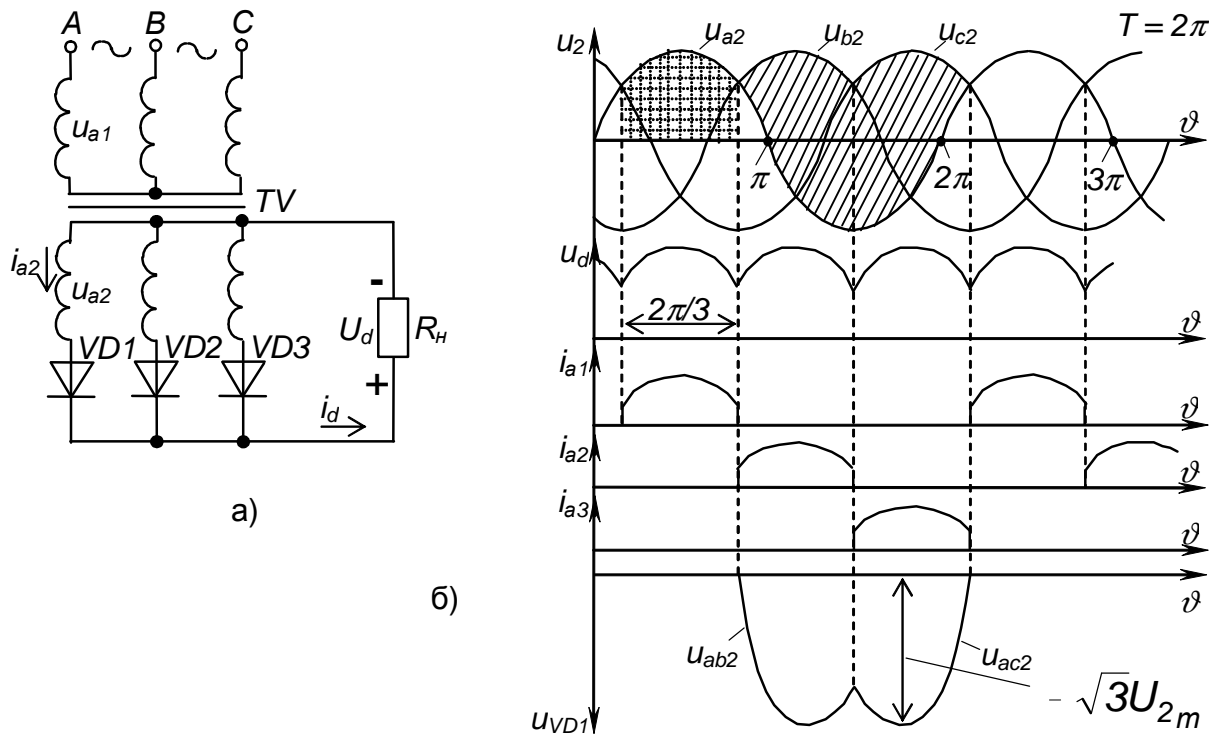


Рис. 7.4 – Трифазна схема з нульовим виводом (схема Міткевича)

Первинна обмотка трансформатора в цій схемі може бути з'єднана у зірку або трикутник, а вторинна – тільки у зірку, оскільки ця схема фактично являє собою три увімкнені паралельно однофазні однопівперіодні схеми, що працюють на спільне навантаження. При цьому е.р.с. e_{2a} , e_{2b} і e_{2c} мають напруги синусоїдної форми, що синхронно змінюються за часом і мають взаємне зміщення на кут $2\pi/3$ (тобто на 120°).

Аноди вентилів у даному разі підімкнені до виводів вторинної обмотки трансформатора, а катоди з'єднані разом і утворюють позитивний полюс випрямляча. Негативним полюсом є нульовий вивід трансформатора (див. рис. 7.4, а).

В результаті, у кожен момент часу через навантаження протікає струм, що визначається фазою з найбільш позитивною напругою.

Як видно з часових діаграм, зображених на рис. 7.4, б, напруга на навантаженні u_d і струм, що протікає через неї, i_d мають пульсуючий характер. Частота пульсації випрямленої напруги у три рази перевищує частоту мережі: $f_{(1)} = 3f_m$.

Недоліком схеми Міткевича є наявність постійного підмагнічування магнітопроводу трансформатора. Воно зумовлене тим, що, як і у будь-якої однофазної схеми, вторинною обмоткою трансформатора струм за період протікає лише один раз і у одному напрямку, тобто має постійну складову. Це вимагає використання трансформатора із підвищеним перерізом магнітопроводу – з завищеною габаритною потужністю.

Кожний діод у цій схемі працює одну третину періоду, тому середній струм через нього I_a складає третину значення середнього випрямленого струму навантаження I_d .

У закритому стані потенціал анода діода у кожен момент часу визначається напругою своєї фази, а потенціал катода – напругою фази, що живить навантаження, тобто до нього прикладається лінійна напруга, максимальне значення якої становить:

$$U_{VD\ m} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} U_2 = 2,09 U_d. \quad (7.1)$$

Основні параметри схеми Міткевича при роботі на активне навантаження наведені у табл. 7.3.

5.1.2. Схема Ларіонова

Схема Ларіонова і часові діаграми, що пояснюють її роботу, зображені на рис. 7.5.

Первинна і вторинна обмотки трансформатора у цій схемі можуть з'єднуватися як у зірку, так і в трикутник. Тут шість випрямних діодів, увімкнених в трифазну мостову схему, утворюють дві групи: анодну ($VD1$, $VD2$, $VD3$) і катодну ($VD4$, $VD5$, $VD6$) – див. рис. 7.5,а.

Навантаження вмикається між спільними точками анодної і катодної груп діодів. Можна виділити три однофазних мости, підімкнених до відповідних лінійних вторинних напруг і паралельно до навантаження.

В провідному стані у схемі Ларіонова завжди знаходяться два діоди: один із анодної групи і один з катодної. Струм протікає від фази з найбільш позитивною на даний момент напругою до фази із найбільш негативною напругою. Тобто, як видно з рис. 7.5, б, потенціал з'єднаних катодів (плюс випрямляча) змінюється за верхньою огинаючою синусоїд, а потенціал з'єднаних анодів (мінус випрямляча) – за нижньою. Отже, струм навантаження у даній схемі тече під дією лінійної напруги.

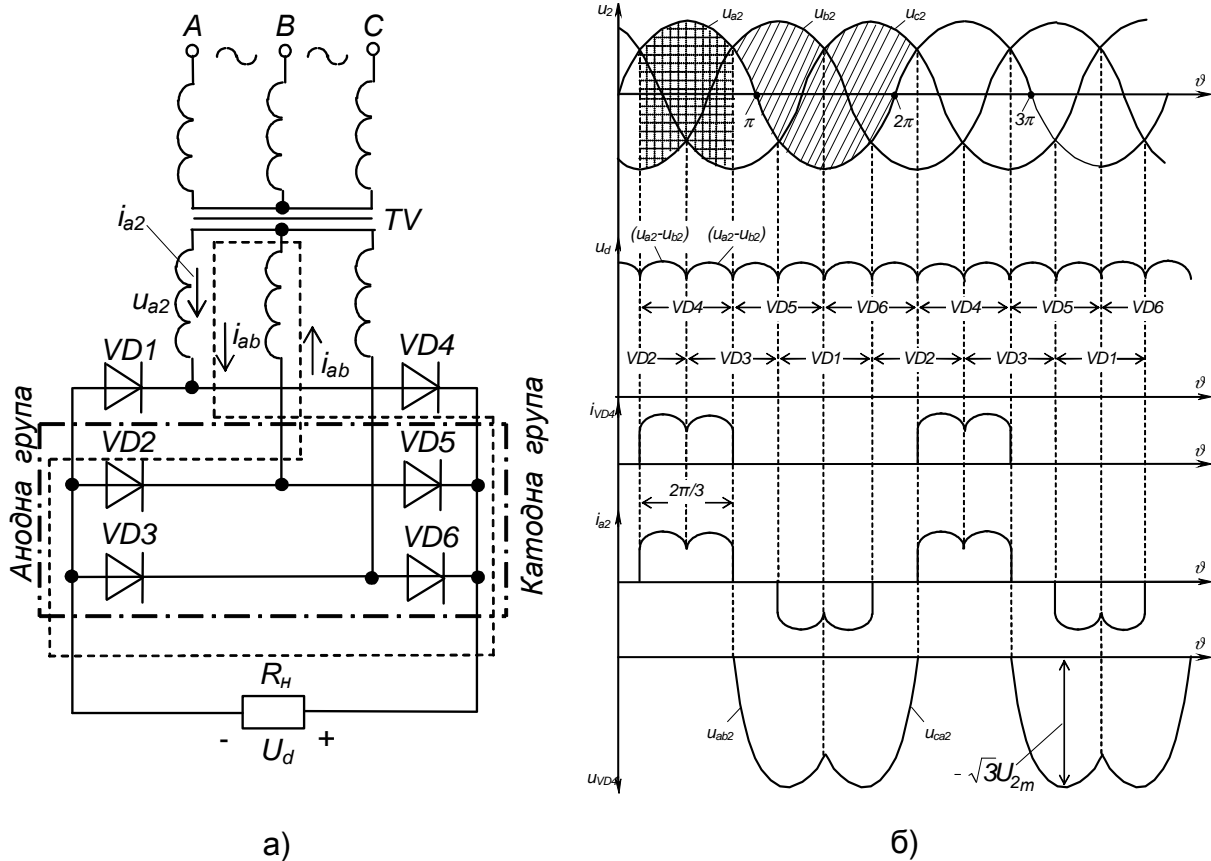


Рис. 7.5 - Трифазна мостова схема (схема Ларіонова)

Частота пульсації випрямленої напруги більша за частоту мережі у шість разів: $f_{(I)} = 6f_m$.

Амплітуда пульсацій тут значно менша, ніж у розглянутих раніше схемах випрямлення (складає менш за 6 %).

У цій схемі відсутнє підмагнічування магнітопроводу трансформатора, оскільки у вторинному колі кожної з його обмоток за період напруги мережі струм протікає двічі, причому у різних напрямках.

Зворотна напруга на діоді, як і у схемі Міткевича, дорівнює лінійній, а струм через діод також протікає протягом третини періоду.

Основні параметри схеми Ларіонова наведені у табл. 7.3.

Схема Ларіонова у порівнянні зі схемою Міткевича має такі переваги:

- 1) краще використовується трансформатор за потужністю за рахунок відсутності підмагнічування осердя;
- 2) за рівних фазних напруг середнє значення випрямленої напруги приблизно у два рази вище (потрібно задавати меншу кількість витків вторинних обмоток трансформатора);

Таблиця 7.3 – Основні параметри трифазних схем випрямлення

Параметр		Схема випрямлення	
		Міткевича	Ларіонова
Відношення діючого значення напруги вторинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленої напруги	$\frac{U_2}{U_d}$	0,855	0,43
Відношення діючого значення струму вторинної обмотки до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_2}{I_d}$	0,59	0,82
Відношення середнього значення струму діода до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_a}{I_d}$	0,33	0,33
Частота основної гармоніки пульсацій	$f_{(1)}$	3	6
Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги	$K_{n(1)}$	0,25	0,057
Габаритна потужність трансформатора	S_T	$1,67 P_d$	$1,05 P_d$
Наявність підмагнічування	–	є	немає

3) більш низький коефіцієнт пульсацій, що часто дозволяє використовувати схему Ларіонова без фільтра.

Правда кількість діодів у схемі Ларіонова удвічі більша, але на даний час це несуттєво, оскільки вартість діодів незначна порівняно з вартістю трансформатора, що у схемі Міткевича повинен бути приблизно на 60 % потужнішим.

5.2. Автономні інвертори

5.2.1. Автономні інвертори – це пристрої, що працюють на автономне навантаження і призначені для перетворення напруги постійного струму у напругу змінного струму заданої або регульованої частоти.

Основні області застосування автономних інверторів:

1) живлення споживачів змінного струму, коли єдиним джерелом живлення є джерело напруги постійного струму (акумуляторна батарея, сонячна батарея і т.п.);

2) робота у системах гарантованого електропостачання при зникненні напруги мережі живлення (живлення ЕОМ, вузлів зв'язку, елементів захисту на електростанціях, обладнання реакторів АЕС і т.п.);

3) живлення технологічного устаткування, частота напруги якого відрізняється від промислової частоти (наприклад, становить 400 Гц);

4) перетворення постійної напруги одного рівня у постійну напругу іншого рівня (конвертування напруг);

5) керування швидкістю обертання асинхронних електродвигунів (регульований електропривід).

Комутаційними елементами в автономних інверторах є керовані силові електронні ключі, наприклад, тиристори.

Залежно від специфіки електромагнітних процесів розрізняють інвертори напруги (АІН) та інвертори струму (АІС). Є також резонансні інвертори.

АІС підключаються до джерела живлення, як показано на рис. 7.6,а, через дросель з великою індуктивністю: комутація ключів здійснюється тут при незмінному струмі. АІС формує у навантаженні струм, а форма напруги залежить від виду навантаження.

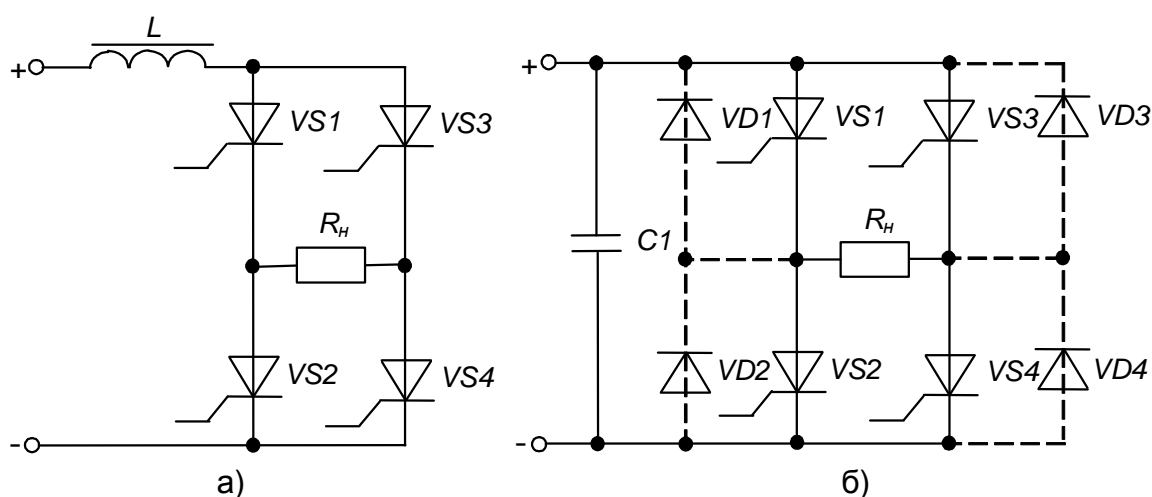


Рис. 7.6 – Автономні інвертори струму (а) та напруги (б)

АІС є непрацездатним при роботі у режимі холостого ходу, оскільки при цьому в ньому виникають значні перенапруги.

В АІН джерело постійної напруги, як показано на рис.7.6,б, шунтується конденсатором великої ємності, завдяки чому виключається вплив внутрішнього опору джерела. Перемикання ключів, у результаті, здійснюється при незмінній напрузі.

АІН формує на навантаженні напругу, а форма струму залежить від виду навантаження.

За допомогою системи керування (на рисунках не показана) здійснюється по чергове вмикання пар ключових елементів, що забезпечує протікання через навантаження знакозмінного струму.

Через те, що тиристор відновлює запираючі властивості тільки після припинення протікання через нього струму, виникає проблема вимикання тиристорних ключів постійного струму. Вона розв'язується застосуванням схем (вузлів) примусової комутації, у яких зазвичай використовуються попередньо заряджені конденсатори.

5.2.2. Схема однофазного АІС з нульовим виводом (з трансформаторним виходом) зображена на рис. 7.7, а часові діаграми, що пояснюють її роботу, – на рис. 7.8.

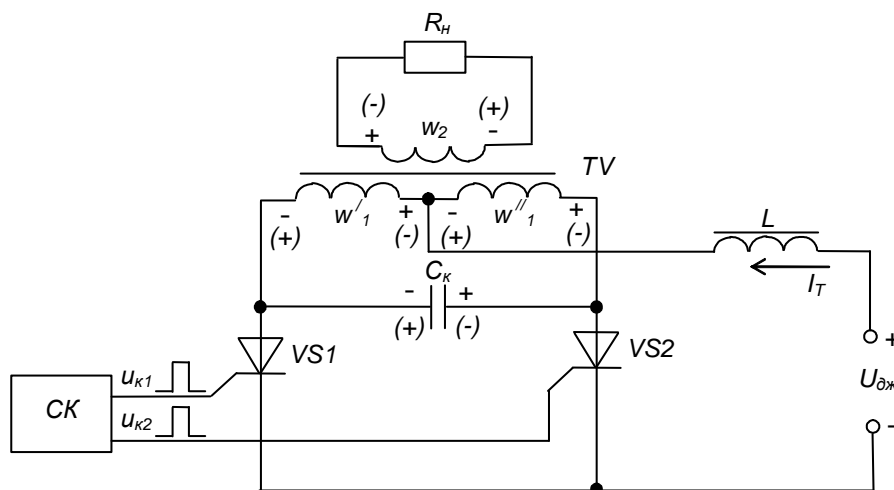


Рис. 7.7 - Однофазний інвертор струму з трансформаторним виходом

У якості перемикачів тут використано тиристори $VS1$ і $VS2$. Трансформатор TV з коефіцієнтом трансформації $n = 2w_1/w_2$ має первинну об-

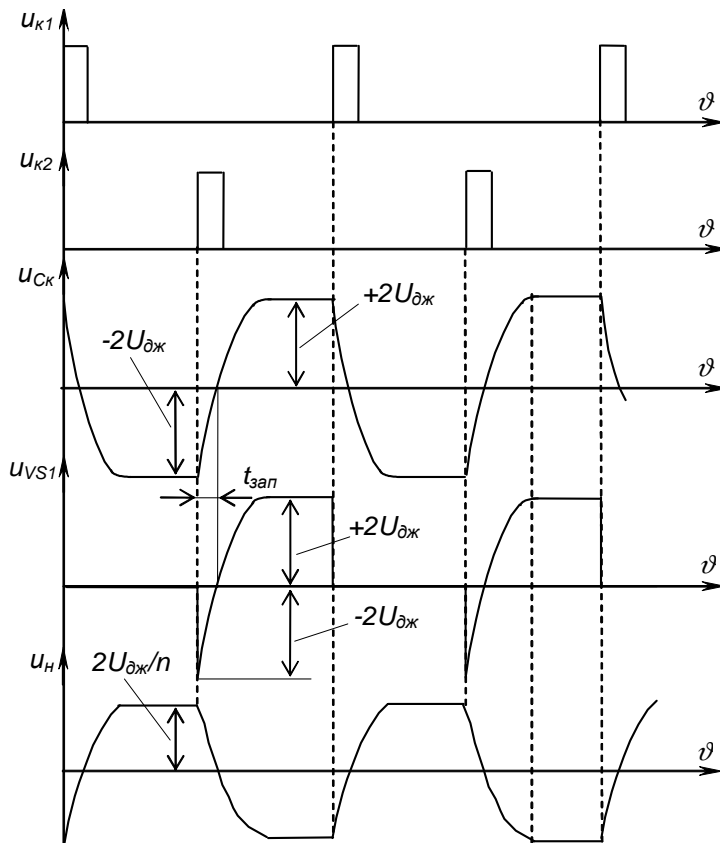


Рис. 7.8 - Часові діаграми роботи однофазного інвертора струму

мотку, що містить дві півобмотки з однаковою кількістю витків, і вторинну обмотку, до якої підімкнено навантаження.

Дросель L забезпечує незмінність струму від джерела у моменти перемикання тиристорів.

Примусове запирання тиристорів забезпечує комутуючий конденсатор C_k .

Керування тиристорами здійснює схема керування $СК$ (наприклад, симетричний мультивібратор у автоколивальному режимі).

Працює інвертор наступним чином.

- 1) $СК$ подає імпульс вмикання тиристора $VS1$.
- 2) Тиристор вмикається і напруга джерела живлення подається на ліву півобмотку трансформатора.

3) Під впливом зазначеної напруги магнітопровід трансформатора намагнічується і в іншій півобмотці, а також у вторинній обмотці трансформатора формується напруга з полярністю, вказаною без дужок. На навантаженні формується позитивна півхвиля напруги.

4) Конденсатор C_k , підімкнений паралельно до первинної обмотки трансформатора, заряджається до напруги $2U_{дж}$ через опір, що дорівнює опорі навантаження, приведену до первинної сторони $R_n^{(1)} = R_n n^2$.

5) Після закінчення проміжку часу, що відповідає позитивній півхвилі, $СК$ вмикає тиристор $VS2$.

6) Комутуючий конденсатор C_k через $VS2$ підмикається паралельно до $VS1$. Полярність напруги на C_k є такою, що вимикає $VS1$, а ємність по-

винна бути достатньою для відведення струму від тиристора на час вимикання.

7) Напруга джерела живлення через $VS2$ прикладається до правої півобмотки трансформатора і його магнітопровід перемагнічується у протилежному напрямку. На навантаженні формується негативна півхвиля напруги, конденсатор C_k перезаряджається з полярністю, вказаною у дужках.

8) Після закінчення тривалості наступного півперіоду CK вмикає $VS1$, а $VS2$ запирається і т.д.

Таким чином, форма напруги на навантаженні (активному в даному випадку) визначається формою напруги на комутуючому конденсаторі і залежить від його ємності та опору навантаження. Зі збільшенням опору навантаження стала часу заряду конденсатора збільшується і форма напруги на ньому наближається до трикутної. Її амплітуда при цьому збільшується (при збереженні середнього за півперіод значення напруги). В результаті, при холостому ході за відсутності втрат у елементах пристрою напруга на навантаженні та конденсаторі безмежно (теоретично) зростає – джерело струму (дросель) намагається підтримувати значення струму незмінним. Це може призвести до виходу з ладу елементів інвертора.

Контрольні запитання

- 1) Наведіть схему і поясніть принцип дії трифазного випрямляча з нульовим виводом (схеми Міткевича).**
- 2) Наведіть схему і поясніть принцип дії трифазної мостової схеми (схеми Ларіонова).**
- 3) Покажіть, як протікає струм у довільний момент часу в схемі Міткевича і у схемі Ларіонова.**
- 4) Поясніть форму зворотної напруги на діоді трифазних схем випрямлення.**
- 5) Поясніть форму напруги на навантаженні трифазних схем випрямлення.**
- 6) Поясніть форму струму в навантаженні трифазних схем випрямлення.**

7) Виконайте порівняльний аналіз схем Міткевича і Ларіонова, поясніть, чому саме ці схеми переважно використовують для живлення навантажень середньої і великої потужності.

8) Поясніть призначення і принципи будови автономних інверторів.

9) Поясніть, як за допомогою інвертора можна перетворити постійну напругу одного рівня у постійну напругу іншого рівня.

10) Наведіть схему АІС з нульовим виводом і поясніть її роботу.

11) Поясніть процес комутації тиристорів у АІС з нульовим виводом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. - пп. 10.1, пп. 10.3, розділ 11.

2. Колонтаєвський, Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум [Текст]: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) - пп. 10.1, пп. 10.3, розділ 11.

3. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - с. 274-276, 294-295, 299-310, 355-365, 374-385.

4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - с. 315-317, 331-337, 438-442, 452-466.

5. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - с. 212-215, 227-236, 296, 303-311.

6. Красько А.С., Скачко К.Г. Промышленная электроника [Текст]: учебное пособие для теплоэнергетических спец. вузов / А.С. Красько, К.Г. Скачко – Минск: Высшейшая школа, 1984, 208 с. - с. 167-168, 173-177, 195-196, 199-201.

ДОДАТОК А

ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ

Звіт про лабораторну роботу – це документ, що вміщує опис проведених експериментів, отримані результати у вигляді таблиць, графіків (осцилограм) тощо, розрахункові значення та висновки з виконаної роботи.

Звіт містить:

- 1) **титульний лист**, на якому необхідно вказати (приклад виконання титульного листа наведено на рис. А1):
 - а) адміністративну приналежність навчального закладу;
 - б) назву навчального закладу (повну та скорочену);
 - в) назву кафедри, що проводить заняття;
 - г) слова „ЗВІТ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ №” і далі номер та назву лабораторної роботи;
 - д) номер курсу і групи, прізвище та ініціали виконавця;
 - е) підпис виконавця і дату виконання роботи;
 - ж) вчене звання (посаду), вчену ступінь, прізвище та ініціали викладача;
 - з) назву міста та рік складання документа;
- 2) **текст звіту**, до якого входять:
 - а) мета лабораторної роботи;
 - б) перелік устаткування та вимірювальних приладів;
 - в) схеми установок, на яких проводились експерименти, або схеми електронних пристроїв, що досліджувались (**виконуються згідно з вимогами державних стандартів і з застосуванням креслярського знаряддя** – рекомендується застосовувати радіотехнічний трафарет);
 - г) таблиці з експериментальними і розрахунковими даними та побудовані за ними графіки;
 - д) розрахункові формули (у схемах, таблицях і формулах необхідно застосовувати стандартні умовні позначення);
 - е) осцилограми;
 - ж) висновки, у яких наводяться пояснення отриманих результатів.

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
(ХНАМГ)

Кафедра теоретичної та загальної електротехніки

ЗВІТ



про лабораторну роботу № 1

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІПОЛЯРНИХ І ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ
ТА ОДИНОЧНИХ ПІДСИЛЮЮЧИХ КАСКАДІВ

Виконала: студентка 3 курсу групи ЕТРВ-2010-1

Вакуленко К.Є.

Прийняв: доцент, канд. техн. наук


18.05.12

18.05.12

Колонтаєвський Ю.П.

Харків – 2012

Рис. А1 – Приклад виконання титульного листа

ЗМІСТ

Техніка безпеки при виконанні лабораторних робіт	3
ВСТУП	4
ЧАСТИНА ПЕРША.	
ПІДСИЛЮЮЧІ ПРИСТРОЇ	7
Лабораторна робота № 1 ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК БІПОЛЯРНИХ І ПОЛЬОВИХ ТРАНЗИСТОРІВ ТА ОДИНОЧНИХ ПІДСИЛЮЮЧИХ КАСКАДІВ	8
Лабораторна робота № 2 ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОКАСКАДНИХ ТРАНЗИСТОРНИХ І ІНТЕГРАЛЬНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ ЗМІННОГО СТРУМУ	34
Лабораторна робота № 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ІНТЕГРАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙНИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ І ЇХНІХ ТИПОВИХ ЗАСТОСУВАНЬ	47
ЧАСТИНА ДРУГА.	
ІМПУЛЬСНІ ТА ЦИФРОВІ ПРИСТРОЇ	59
Лабораторна робота №4 ДОСЛІДЖЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ ПРИСТРОЇВ НА ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ І ІНТЕГРАЛЬНИХ МІКРОСХЕМАХ (ІМС)	60
Лабораторна робота №5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ І ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ НА ІМС	78
Лабораторна робота № 5М ДОСЛІДЖЕННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНИХ ПРИСТРОЇВ (МПП)	94

ЧАСТИНА ТРЕТЯ.

ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ	111
Лабораторна робота №6	
ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ВІПРЯМЛЯЧІВ	112
Лабораторна робота №7	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНИХ ВІПРЯМЛЯЧІВ І ОДНОФАЗНОГО	
АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА	134
ДОДАТОК А	
ЗМІСТ звіту про лабораторну роботу	150

Навчальне видання

**ЕЛЕКТРОНІКА
ТА
МІКРОСХЕМОТЕХНІКА**

ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ

*(для студентів усіх форм навчання напряму підготовки
6.050702 – "Електромеханіка")*

Укладачі: **КОЛОНТАЄВСЬКИЙ** Юрій Павлович,
СОСКОВ Анатолій Георгійович,
БЛОУСОВ Олександр Федорович

Відповідальний за випуск *Ю. П. Колонтаєвський*

За авторською редакцією

Дизайн обкладинки *Ю. П. Колонтаєвського*

Комп'ютерне верстання *Ю. П. Колонтаєвського*

План 2013, поз. 235 М

Підп. до друку 28.02.2013 р.
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60 x 84 /16
Ум. друк. арк. 9,1
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.

Письмена могут быть потеряны,
ложь может быть написана,
но то, что увидели глаза,
есть истина
и остаётся в памяти.

Джозеф Конрад