

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

Кафедра електропривода та
автоматизації промислових установок

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни
“ Електроніка та основи схемотехніки ”
для студентів спеціальності 173 Авіоніка для
всіх форм навчання

ЧАСТИНА II

2019

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни
ЕЛЕКТРОНІКА ТА ОСНОВИ СХЕМОТЕХНІКИ для студентів
спеціальності 173 Авіоніка для всіх форм навчання/Частина II/ Укл.:
М.Л. Антонов Є.В. Васильєва, – Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 72 с.

Укладачі: М.Л Антонов
Є.В. Васильєва

Рецензент: С.Г. Деєв

Відповідальний за випуск: П.Г. Засипко.

Затверджено
на засіданні кафедри ЕПА

Протокол № 6 від 29 січня
2019

Протокол НМК № 7 від 21
лютого 2019

Рекомендовано до видання
НМК Інженерно фізичного
Факультету

ЗМІСТ

Лабораторна робота №8	
Дослідження регулюємо однофазної схеми випрямлення на тиристорах.	71
Лабораторна робота № 9	
Дослідження логічних елементів на основі інтегральної транзисторно - транзисторної логіки.	83
Лабораторна робота № 10	
Дослідження тригерів на основі інтегральної транзисторно-транзисторної логіки.	95
Лабораторна робота № 11	
Дослідження двійкових і двійково-десяткових чотирьох розрядних лічильників на основі інтегральної транзисторно-транзисторної логіки.	104
Лабораторна робота № 12	
Дослідження роботи суматора, компаратора, тригера Шмідта.	110
Лабораторна робота № 13	
Дослідження роботи інвертуючого і неінвертуючого підсилювача.	113
Лабораторна робота № 14	
Дослідження принципу роботи інтегратора і можливості його використання	122
Лабораторна робота № 15	
Дослідження принципу роботи інтегратора і можливості його використання	130
Перелік посилань	138

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЮЄМО ОДНОФАЗНОЇ СХЕМИ ВИПРЯМЛЕННЯ НА ТИРИСТОРАХ

Мета роботи – Вивчити принцип роботи регулюємої однофазної схеми випрямлення. Дослідити зовнішні і регулюючі характеристики регулюємого однофазного випрямляча. Визначити вплив режимів роботи схеми на величину та форму випрямленої напруги.

8.1 Програма роботи

8.1.1 Ознайомитись зі стендом.

8.1.2 Зняти і побудувати при активному навантаженні зовнішні навантажувальні характеристики випрямляча $U_d = f(I_d)$ при $\alpha = 0^\circ$ і $\alpha = 90^\circ$.

8.1.3 Зняти і побудувати регулюючу характеристику при $R_n = \text{const}$ при активному навантаженні випрямляча.

8.1.4 За допомогою осцилографа згідно з режимами, заданими таблицею 8. 3 зняти осцилограми напруг 1.5 Проаналізувати характеристики і осцилограми випрямляча і зробити висновки роботи.

8.2 Стислі відомості

Сучасні напівпровідникові випрямляючі прилади, як правило, вмикаються в системи автоматичного керування вихідних параметрів (стабілізація електролізних агрегатів, напруга з відсічкою струму в агрегатах для живлення електроприводів, програмне керування режимів заряду акумуляторів, тощо). Це викликає необхідність керування величини випрямленої напруги.

Керовані випрямлювачі виконують на керованих вентилях (тиристорах і тиратронах)

Структурна (блок-схема) схема регулюємого випрямляча наведена на рис. 8.2.

Існує багато способів регулювання випрямленої напруги за допомогою керованих вентилів з системи керування,

випрямляючими пристроями та поставленими до них вимогами можна ознайомитись у [1-4,10].

У розглянутих схемах випрямлячів керування розміром випрямленої напруги можна робити за допомогою автотрансформатора в колі змінного струму, реостата або потенціометра в колі випрямленого струму. Проте подібні засоби керування випрямленою напругою (струмом) при відносній простоті мають істотні недоліки. У першу чергу, слід зазначити низький ККД внаслідок значного споживання енергії в регулювальних елементах. Іншими недоліками є громіздкість і висока вартість регуляторів.

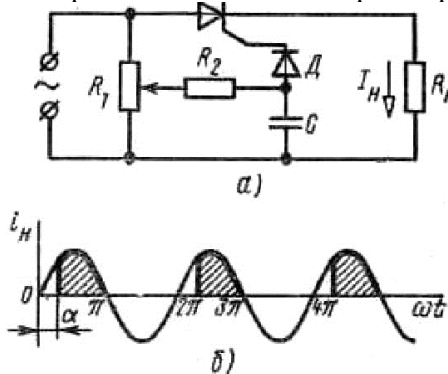


Рисунок 8.1 – Схема і часова діаграма вихідної напруги однофазного однонапівперіодного керованого випрямляча

Найбільш економічним, зручним і тому більш розповсюдженим засобом керування випрямленою напругою (струмом), що не має перерахованих недоліків, є *кероване випрямлення*. Випрямний пристрій, у якому реалізується цей засіб керування, називають керованим випрямлячем. На рисунку 8.1а зображена схема найпростішого однофазного однонапівперіодного керованого випрямляча на тиристорі.

Керування випрямленою напругою в керованих випрямлячах зводиться до затримки в часі моменту вмикання тиристора стосовно його природного вмикання. Це здійснюється завдяки зсуву фаз між анодною напругою і напругою, що подається на керуючий електрод тиристора (рис 8.1 а). Такий зсув фаз називають кутом керування α . Керування розміром α у випрямлячі (рис 8.1 б) проводиться за допомогою фазообертового кола R_1R_2C . У залежності від опору

змінного резистора R_1 кут керування α може змінюватися від 0 до 90° , що дозволяє плавно регулювати напругу, що випрямляється, від найбільшого розміру до її половини.

Оптимальною формою керуючого сигналу для тиристорів є прямокутний імпульс малої тривалості, або імпульс з крутим переднім фронтом. Така форма дозволяє зменшити нагрівання керуючого електрода у тиристорі, а також забезпечити за допомогою високої крутизни імпульсу чітке вимикання тиристора. Тому для створення керуючого сигналу подібної форми застосовують спеціальні пристрої керування, що називаються *системами керування*.

При всій різноманітності систем керування можна вважати, що вони складаються з трьох основних елементів.

На рисунку 8.2 зображена основна структурна схема керування.

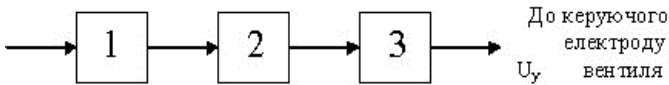


Рисунок 8.2 – Основна структурна схема керування

Вхідний пристрій 1 призначений для перетворення до необхідного розміру керуючих сигналів, що синхронізуються в цьому пристрої з напругою мережі. За звичай в якості вхідного пристрою використовується багатообмотковий багатофазний трансформатор.

Фазозсуваючий пристрій 2 зсуває по фазі (за часом) керуючі сигнали на кут відносно напруги живлення. У якості фазозсувального пристрою можуть служити RC кола (рис 8.1 а), мостові фазообертачі, насичені дроселі і трансформатори, а також схеми “вертикального керування”.

Вихідний пристрій 3 формує і підсилює керуючий сигнал. Відзначимо, що в деяких перетворювачах можуть бути відсутні окремі пристрої. Наприклад, у малопотужному випрямлячі, зображеному на рис. 1, а відсутні вхідні і вихідні пристрої.

На рисунку 8.4, а зображена схема однофазного двунепівперіодного керуваного випрямляча.

допомогою мостового фазообертача. Схема і векторна діаграма фазообертача зображені на рисунку 8.4 б. При зміні опорного змінного резистора R фаза напруги U_{CD} (рисунк 8.4 б), є вихідною напругою мостового фазообертача, при незмінній амплітуді плавно змінюється від 0 до 180° . Напруга з виходу фазообертача через діоди $D1$ і $D2$, що пропускають тільки позитивні імпульси, надходить на вихідний пристрій, на вході якого мають місце підсилювачі-обмежувачі на транзисторах $T1$ і $T2$. вихідні напруги цих підсилювачів, що мають трапецеїдальну форму, диференціюються, проходячи через кола $R1C1$ і $R2C2$. завдяки діодам $D1$, $D4$ у керуючі кола тиристорів надходять лише позитивні імпульси малої тривалості з крутим переднім фронтом. Живлення підсилювачів-обмежувачів здійснюється від окремого мостового випрямляча (діод $D5$, $D6$, $D7$, $D8$). Фазовий зсув (час надходжень імпульсу) плавно регулюють змінним резистором R мостового фазообертача від 0 до 180° .

Середнє значення випрямленої напруги при куті керування α без урахування втрат визначають:

$$U_{ma} = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha}^{\pi} \sqrt{2} U_2 \sin \omega t d\omega t = \frac{\sqrt{2} U_2}{\pi} (1 + \cos \alpha) = U_{HO} \frac{1 + \cos \alpha}{2}$$

де U_2 – діюче значення напруги фази вторинної обмотки трансформатора;

$U_{HO} = (2\sqrt{2}U_2)/\pi$ - розмір U_{Ha} при $\alpha = 0$.

Залежність $U_{Ha}(\alpha)$ називають *характеристикою керування* керованого випрямляча, графічне зображення якої для навантажувального пристрою з активним опором на рисунку 8.5

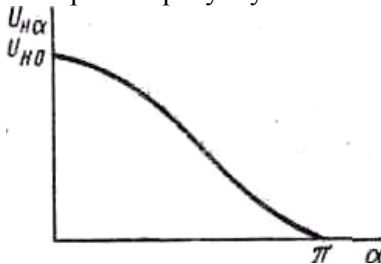


Рисунок 8.5 – Характеристика керування однофазного керованого випрямляча

З урахуванням втрат залежність $U_H(I_H)$ для керованого випрямляча така ж сама, як і для некерованого випрямляча. На рис 8.6

показано сімейство зовнішніх характеристик керованого випрямляча для декількох значень кута керування α .

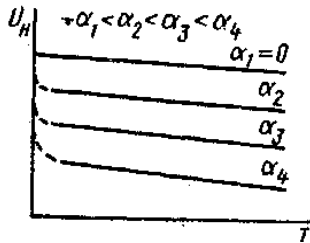


Рисунок 8.6 – Сімейство зовнішніх характеристик керованого випрямляча для декількох значень кута керування α

Фазообертові пристрої “вертикального керування” застосовуються у керованих випрямлячах на тиристорах і в системі автоматичного керування завдяки їхній високій швидкості. Робота фазообертового пристрою, заснована на порівнянні в спеціальному вузлі (пристрої порівняння) вхідної напруги $U_{ВХ}$, що надходить із первинного перетворювача, із напругою, що лінійно змінюється в часі $U_{СР}$, і синхронізованою змінною напругою, що живить, $U_{ЖИВ}$. При рівності порівнювальних напруг на виході пристрою порівняння з’являється, зсунуті по фазі на кут α , сигнал U_K , що надходить на керуючий електрод тиристора. При зміні вхідної напруги (рисунок 8.7) до значення $U_{ВХ}$ кут керування змінюється до розміру α' .

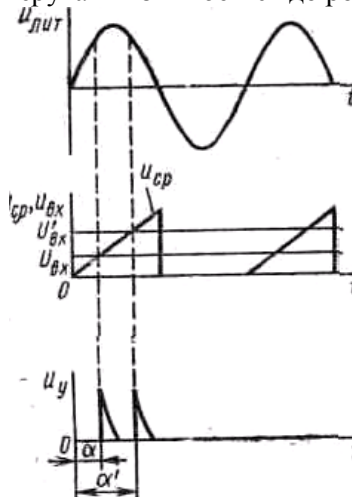


Рисунок 8.7 – часові діаграми напруг фазозсуваючого пристрою “вертикального керування”

В даній лабораторній роботі студенти мають можливість ознайомитись з принципом дії і основними характеристиками регулюемого випрямляча на тиристорах, з фазовим способом керування від автономного кола, функції якого здійснюють фазозсуваючий міст (фазорегулятор).

8.3 Опис лабораторного стенду

Принципова електрична схема містить: (див. рисунок 8.10)

а) двунапівперіодну схему випрямляча на тиристорах із виводом нульової точки трансформатора;

б) схему керування тиристорами.

У двунапівперіодній схемі випрямляча тиристори VS1 і VS2 використовуються як вентиля. Катоди тиристорів об'єднані у загальну точку і з'єднані навантаженням, а аноди приєднані до кінців А і С.

вторинної обмотки силового трансформатора Т з виведеною середньою точкою.

Вторинна обмотка АС створює систему напруг, зміщених одна відносно іншої на 180° (U_1 і U_2).

В той на півперіод, коли потенціал одного із кінців вторинної напівобмотки вище за потенціал середньої

точки трансформатора, потенціал анода тиристора VS1 вище відносно потенціалу катода, і, таким чином тиристор VS1 здатний пропускати струм через навантаження випрямляча.

Тиристор VS2 в цей на півперіод замкнений, так як в цей момент часу потенціал його катода вищий за потенціал анода.

В інший на півперіод полярність напруги на обмотках А і С трансформатора зміниться і тиристори поміняються ролями.

Даючи на керуючий електрод тиристора імпульс з певною затримкою, можна регулювати середнє значення струму і напруги в колі навантаження.

Залежність середнього значення напруги на навантаженні U_d від кута регулювання а називається регулюючою характеристикою керованого випрямляча $U_d = f(\alpha)$

Кут α в даній схемі змінюється від 0° до 150° і може бути визначений за формулою:

$$\alpha = 2\arctg R_{\Phi\omega c}$$

де : R_Φ – активний опір у плечі моста;

c – конденсатор $C1$.

Зміна активного опору здійснюється перемикачем R_Φ . Кут вмикання фіксується візуально за допомогою осцилографа за формою вихідної напруги (див. рисунок 8.3).

Крім регулюючої характеристики знімається і зовнішня (навантажуючи) характеристика $U_d = f(I_d)$

при $\alpha = \text{const}$.

Навантаження випрямляча під'єднується між загальною точкою катодів тиристорів і нульовою (середньою) точкою трансформатора. В даній схемі досліджується випрямлювач з двома видами навантаження:

а) активний – резистор R_H ;

б) активно – індуктивний – резистор R_H з індуктивністю L_H .

Вмикання активного і сполученого навантаження здійснюється перемикачем $S1$. Величина середнього значення випрямленої напруги U_d і випрямленого струму I_d контролюється вимірювальними приладами PV , P_A .

Для зняття осцилограм у характерних точках випрямляча служать контрольні гнізді. Підключення осцилографа, а також інших вимірювальних пристроїв здійснюється за допомогою з'єднувальних шнурів.

Схема керування тиристорами (див. рисунок 8.8) складається з:

а) статичного фазообертача $R_\Phi C1$;

б) обмежувачів $VD1$, $VD2$, $VD3$, $VD4$;

в) підсилювачів $VT1$; $VT2$;

г) диференціюючих кіл RC

Статичний фазообертач являє собою мостову схему, двома плечима якої є обмотки трансформатора. Два інших плеча складаються із активного опору R_Φ та ємності $C1$.

При зміні величини активного опору R_Φ змінюється фаза вихідної напруги $U_{\Phi\omega}$ (Γ_{n10} - Γ_{n9}) відносно анодної напруги.

На вхід підсилювачем – формувачів $VT1$, $VT2$ (емітер-база) послідовно проходить від'ємна на півхвилю синусоїдальної напруги

від фазообертача U_{BX} VT1. Позитивна хвиля обмежується діодами VD1, VD2 (рисунок 8.9).

Транзистори працюють в режимі насичення, крива вихідної напруги U_t VT1 має вид трапеції. Після диференціювання додатні імпульси керування подаються на керовані електроди тиристорів VS1 і VS2, від'ємні імпульси обмежуються діодами VD3 і VD4.

8.4 Порядок виконання роботи

8.4.1 Ознайомитись зі стендом, встановити потенціометр R_H і перемикачі у вхідну позицію.

8.4.2 Упевнитись оглядом зовні у справності і плавному ходу вимикачів, ручок регулювання та інших елементів (без подачі напруги на стенд).

8.4.3 Ввімкнути стенд тумблером “мережа”, при цьому загориться лампочка сигналізації.

8.4.4 Зняти і побудувати при активному навантаженні зовнішні навантажувальні характеристики випрямляча $U_d = f(I_d)$ при $\alpha = 0^\circ$ і $\alpha = 90^\circ$. Данні занести до таблиці 8.1.

Таблиця 8.1

Id					
Ud, B($\alpha=0$)					
Ud, B($\alpha=90$)					

8.4.5 Зняти і побудувати регулюючу характеристику при $R_H = \text{const}$ при активному навантаженні випрямляча:

- а) перемикач встановити у положення "R_H";
- б) ручку регулювання R_H встановити у положення "min";
- в) перемикач R_ф встановити у положення I;
- г) змінюючи за допомогою перемикача значення кута регулювання,

зняти за вольтметром значення випрямленої напруги; Примітка. Значення кута α визначити за осцилографом (див.рисунок.8.3).

- д) ручку регулювання R_H встановити у положення "max";
- е) дії аналогічні діям у пунктах 4.5в-г, зняти регулюючу характеристику Дані занести до таблиці 8.2.

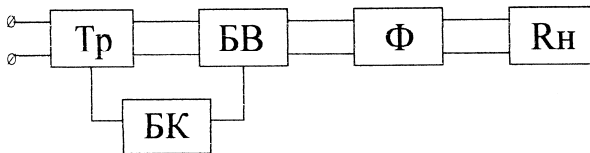


Рисунок 8.7 – Структурна схема регулюемого випрямляча

ТР – трансформатор, БВ – блок вентелів, БК – блок керування, Ф – фільтр, R_H – навантаження.

Таблиця 8.2

α°	0°	60°	90°	120°	150°
Ud, B; R _H =min					
Ud, B; R _H =max					

8.4.6 За допомогою осцилографа згідно з режимами, заданими таблицею 8.3 зняти осцилограми напруг

8.4.7 Проаналізувати характеристики і осцилограми випрямлювача і зробити висновки роботи.

Таблиця 8.3

Режим роботи випрямляча	Величина		Форма (осцилограми) напруги
	α°	U, В	
Навантаження активне $R_n = \min$	$\alpha = 0^\circ$		
	$\alpha = 90^\circ$		
Навантаження активне $R_n =$	$\alpha = 0^\circ$		
	$\alpha = 90^\circ$		
Навантаження активно-	$\alpha = 0^\circ$		
	$\alpha = 90^\circ$		

8.5 Обсяг лабораторної роботи і підготовка до захисту

Звіт лабораторної роботи повинен містити таблиці зі знятими експериментально даними дослідження, зовнішні навантажувальні характеристики, регулюючу характеристику, осцилограми напруги випрямляча, висновок.

8.6 Контрольні запитання

8.6.1 Яке призначення мають елементи схеми?

8.6.2 Пояснить принцип фазового способу керування тиристорами.

8.6.3 Які переваги та недоліки має регульований випрямлювач при зміні кута вмикання тиристорів?

8.6.4 Пояснить роботу системи керування у схемі випрямляча.

8.6.5 Пояснить вплив величини і характеру навантаження на форму вихідної напруги (аналіз таблиці 8.3).

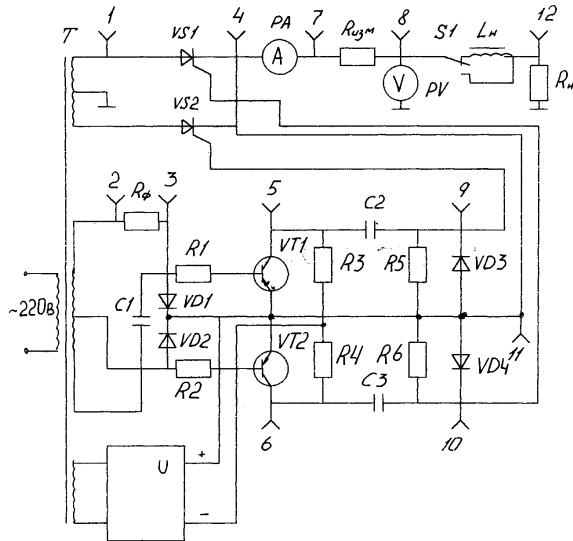


Рисунок 8.10 – Принципова електрична схема однофазного регулюемого випрямляча на тиристорах

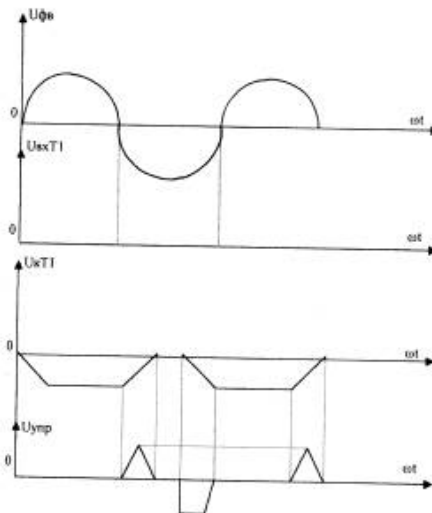


Рисунок 8.9 – Форма напруги у колах керування

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №9

ДОСЛІДЖЕННЯ ЛОГІЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ТРАНЗИСТОРНО - ТРАНЗИСТОРНОЇ ЛОГІКИ

Мета роботи – Вивчити роботу логічних елементів І, АБО, НІ, І-НІ, АБО-НІ, виконаних на основі ТТЛ серії К155 і найпростіших комбінаційних схем, виконаних на цих елементах.

9.1 Програма роботи

Зняти і побудувати передавальну характеристику $U_{вих}=f(U_{вх})$ базового логічного елемента ТТЛ - логіки І-НІ і ланцюга з логічних елементів І-НІ при роботі без навантаження і з навантаженням.

Дослідити роботу логічних елементів І-НІ, АБО-НІ в статичному режимі і побудувати для них таблиці істинності.

Дослідити роботу логічних елементів І-НІ, у динамічному режимі і побудувати сумісну тимчасову діаграму вхідних і вихідних сигналів.

Дослідити роботу логічних елементів І, НІ, АБО, у статичному режимі і побудувати для них таблиці істинності.

По заданим логічним функціям скласти і зібрати комбіновані схеми, виконані на елементах І, АБО, НІ, дослідити їхню роботу в статичному режимі і побудувати для цих елементів схеми, таблицю істинності.

9.2 Стислі відомості про логічні елементи, які досліджуються у роботі

Логічний елемент - це електронний пристрій, що реалізує найпростіші логічні операції (функції) над вхідними сигналами відповідно до правил алгебри логіки і видає сигнали, що відповідають значенням реалізованих функцій.

Інформаційними сигналами є дискретні значення (рівні) електричної напруги або струму; при позитивній логіці більш низький рівень позначають «0», а більш високий - «1», при негативній логіці навпаки.

Конструктивно логічні елементи можуть бути виконані на дискретних компонентах або у вигляді ІС. ІС малого і середнього ступенів інтеграції, які містять від декількох десятків до декількох сотень логічних елементів.

По вигляду компонентів логічної схеми, на яких виконуються логічні операції і засоби з'єднання напівпровідникових приладів у логічну схему ІС можна класифікувати в такий спосіб:

КМОН - схеми на комплементарних польових транзисторах із структурою метало–оксиднапівпровідник;

РЕТЛ - схеми з резисторними зв'язками;

РТЛ - схеми, вхідна логіка яких виконується на резисторних ланцюгах;

ДТЛ - схеми, вхідна логіка яких виконується на діодах;

ТТЛ - схеми, вхідна логіка яких виконується багатомітерним транзистором;

ЕСЛ - схеми з пов'язаними емітерами.

У теперішній час в апаратурі домінують три види технологій ІС: ТТЛ, КМОП, ЕСЛ.

Першими виникли ІС типу ТТЛ. Вони споживають статичний струм, порівняний за силою з динамічним.

За статистикою ІС КМОН практично не споживають енергію від джерела живлення. При обробці сигналів сповивальний струм в них тим більше, чим вище швидкість роботи пристрою. ІС ЕСЛ мають найшвидкісну логіку, їх швидкодія в 3-4 рази вища, ніж у перспективних ІС ТТЛ, що мають $p-n$ перехід з бар'єром Шотки. Характеристики однотипних логічних елементів виконаних за різноманітними технологіях, наведені в таблиці 9.1. Взаємна навантажувальна здатність мікросхем серії ТТЛ наведена в таблиці 9.2.

На лабораторному стенді для дослідження роботи ІС під навантаженням є блок навантаження, що складається з трьох опорів $R38$, $R39$, $R40$. Навантажувальний опір $R40$ еквівалентний паралельному підключенню до виходу п'яти логічних елементів, $R39$ — десяти логічних елементів, $R38$ - п'ятдесяти логічних елементів.

Таблиця 9.1 - Характеристики однотипних логічних елементів

Параметр	Од. вим.	Назва ІС та її технологія				
		K176LA 7 КМОП	K155LA3 ТТЛ	K555LA3 ТТЛ	K531LA3Н ТТЛ	K500ЛЕ10 6Т ТТЛ

$U_{\text{вих, не більше}}^0$	В	0,3	0,4	0,5	0,5	-1,63
$U_{\text{вих, не менше}}^0$	В	3,2	2,4	2,7	2,7	-0,98
$I_{\text{пот, не більш}}^0$	мкА	0,3	12000	4400	13000	21 000
$I_{\text{пот, не більше}}^0$	мкА	0,3	3000	1600	3000	
$I_{\text{здр, не більше}}^0$	нс	200	15	20	5	2,9
$t^{0,1}$	не	200	22	20	4,5	2,9
$I_{\text{вих, не більш}}^0$	мА	0.5	16	8	20	

У роботі досліджуються характеристики логічних елементів на ТТЛ. Принципова схема найроповсюдженішого логічного елемента серії К155 зображена на рисунку 10.1 на схемі можна виділити три основні каскади: вхідний на транзисторі $VT1$, що реалізує функцію І, фазозсувний на транзисторі $VT2$ і вихідний підсилювач на транзисторах $VT3$ і $VT4$.

Таблиця 9.2 - Взаємна навантажувальна здатність логічних елементів ТТЛ різних серій

Вихід, що навантажується	Число входів-навантажень із серії		
	К5	К1	К5
К555	20	5	4
К155	40	10	8
К531	50	12	10

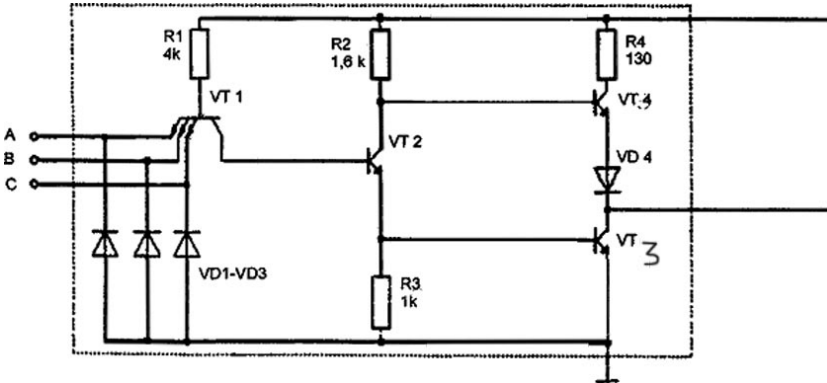


Рисунок 9.1-Принципова схема логічного елемента К155

Якщо на входах А, В та С є високий потенціал, то вхідні *p-n* переходи емітер-база зміщені в зворотному напрямку.

Якщо хоча б на один з входів А, В або С поданий потенціал близький до нуля, то вхідний *p-n* перехід відчиняється і сигнал на виході каскаду близький до нуля.

Фазозсувний каскад призначений для поділу сигналу і керування вихідним каскадом складного інвертора. Сигнал на колекторі *VT2* протилежний за фазою до сигналу, що надходить із вхідного каскаду, а сигнал на емітері збігається по фазі із сигналом на вході.

Вихідний каскад призначений для реалізації операції інверсії, посилення сигналу і забезпечення швидкого переключення наступних елементів.

Основним транзистором вихідного каскаду є транзистор *VT4*. Коли на всі входи транзистора *VT1* подані сигнали 1 (високий потенціал), транзистори *VT2* і *VT4* відкриті. Вихідна напруга дорівнює:

$$U_{\text{вих}}^0 = U_{\text{кв}VT4}$$

Якщо хоча б на один із входів не подана напруга (сигнал "0"), то транзистори *VT2* і *VT4* закриті і

$$U_{\text{вих}}^1 = U_{\text{дж}} - U_{VD4} - U_{\text{кв}VT3} - U_{R4}$$

Для того щоб запобігти відкриттю транзистора *VT4* при

нульовому сигналі на вході і для забезпечення вихідної напруги високого рівня $U_{\text{вих}} > 2,5 \text{ В}$, у схемі є діод зсуву рівня VT4, падіння напруги, на якому дорівнює $0,7 \text{ В}$. Таким чином була реалізована сумісність різноманітних серій ТТЛ на логічних рівнях. Діоди VD1-VD3 захищають вхідні емітерні ланцюги від від'ємних напруг.

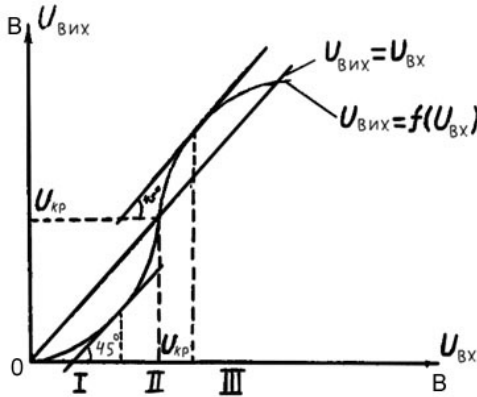


Рисунок 9.2 – Передавальна функція повторювача

Основним показником роботи логічних елементів є характеристика вхід-вихід. Характеристики логічних елементів можна розділити на два типи: повторювачі, у яких сигнали входу і виходу збігаються по фазі, і інвертори, у яких сигнали на вході і виході знаходяться в протифазі. Передавальна функція повторювача зображена на рисунку 9.2.

Для стійкої передачі сигналів логічними елементами в довгих ланцюгах необхідно і достатньо, щоб характеристика повторювача вхід-вихід мала послідовно три ділянки:

Перша ділянка I :

$$U_{\text{вих}} < U_{\text{вх}} \text{ і } \frac{dU_{\text{вих}}}{dU_{\text{вх}}} < 1$$

Друга ділянка 2:

$$\frac{dU_{\text{вих}}}{dU_{\text{вх}}} > 1$$

Третя ділянка 3:

$$U_{ВНХ} > U_{ВХ} \text{ і } \frac{dU_{ВНХ}}{dU_{ВХ}} < 1$$

а лінія рівних сигналів $U_{вих}=U_{вх}$ перетнула ці три ділянки. Середня точка перетину характеристики вхід-вихід з лінією рівних сигналів $U_{вих}=U_{вх}$ називається критичною напругою $U_{кр}$.

Якщо довжина ланцюга складається з елементів з однаковими характеристиками, то сигнали входу, менше $U_{кр}$, загасають до нульового сигналу, а сигнали більше $U_{кр}$, зростають до одиничного сигналу (рисунок 9.3).

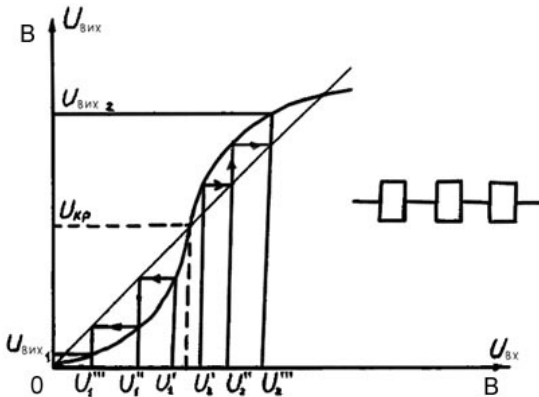


Рисунок 9.3 - Передавальна функція повторювача з елементами, які мають однакові характеристики

На основі логічних елементів можуть бути виконані комбінаційні схеми. У комбінаційних схемах значення вихідних сигналів у момент часу t однозначно визначаються значеннями вхідних сигналів в момент часу $t' < t$.

Існують схеми, в яких вихідні сигнали визначаються не тільки значеннями вхідних сигналів в даний момент часу, але і станом схеми, що залежить від сигналів, поданих на їх входи в попередні моменти часу. Такі схеми містять елементи пам'яті - тригери, пристрої затримки і інші, а їхньою математичною моделлю є дискретний або цифровий автомат.

При аналізі і синтезі комбінаційних схем використовується математичний апарат теорії перемикальних функцій.

Для реалізації комбінаційних схем на певному логічному елементі перемикальну функцію за допомогою тотожностей булевої алгебри перетворюють до зручного виду, а потім згідно з цією функцією будують комбінаційну схему.

Нехай необхідно реалізувати функцію $F=X1+X2$ на елементах І-НІ. Перетворимо функцію до вигляду: $F=X1+X2=\bar{X}1\bar{X}2$. Комбінаційна схема подана на рисунку 9.4 б.

Для дослідження роботи логічних елементів у динамічних режимах використовується вмонтований в схему генератор прямокутних імпульсів. Генератор створює прямокутні імпульси з частотами 0,001; 0,01; 0,1; 1; 10; 100 кГц і містить задаючий генератор 100 кГц, декадний дільник і пристрій узгодження. Задаючий генератор використовується в якості джерела опорної частоти 100 кГц.

Генератор виконаний за схемою автоколивального мультивібратора на трьох логічних елементах 2І-НІ (1С DD.16-155ІА3) має широкий діапазон зміни частоти від 1Гц до 1МГц у залежності від ємності конденсатора $C2$ і опору резистора $R36$.

Робота генератора здійснюється в таким чином. Нехай на виході генератора й елемента $DD16.1$ низька напруга «О», тоді на входах $DD16.3$ і $DD16.2$ є високий рівень "1".

На виході $DD16.3$ з'явиться сигнал низького рівня, коли закінчатся перехідні процеси, пов'язані з зарядом конденсатора $C2$ через опір $R36$ і $R37$. Рівень «О» на виході $DD16.3$ переключить вихід $DD16.1$ у «1», вихід $DD16.2$ у «О» і почнеться процес перезарядження конденсатора $C2$ і т.п.

9.3 Порядок виконання роботи

Перед виконанням роботи необхідно пропрацювати відповідний розділ лекційного курсу, присвячений теорії логічних елементів і літературу /1/ с 207 - 206, /2/ с 40 - 49, /3/ с 4 - 30, /4/ с 15 - 35.

Зняття передавальної характеристики $U_{вих} = f(U_{вх})$ базового логічного елемента ТТЛ і ланцюга з логічних елементів.

Положення органів керування стенду: потенціометр $U_{вх}$ у крайньому положенні; обидва тумблери РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ у нижньому положенні; тумблер РАХУВАННЯ - УСТ «О» у нижньому положенні; перемикачі ЛОГІКА, ТРИГЕРИ, ЛПЧИЛЬНИК у положенні «О».

Після установки органів керування у необхідне положення вмикається тумблер МЕРЕЖА.

Встановити накладну плату № 1 на лицьову панель стенду і закріпити її гвинтами, встановити перемикач ЛОГІКА в положення «1». З'єднати між собою дротом із штепселями гнізда ВХІД1 і ВХІД2. З'єднати між собою ВХІД4 і ВХІД5. Подати за допомогою єднальних дротів напругу з гнізда $U_{вх}$ на гнізда ВХІД1 і ВХІД4. Подати за допомогою єднального дроту напругу з гнізда ВИХІД1 на гніздо $U_{вих}$.

Змінюючи за допомогою потенціометра напругу на вході ($U_{вх}$), зняти показники вольтметрів $U_{вх}$ і $U_{вих}$ і результати занести до таблиці 9.3.

У таблиці позначені:

$U_{вх}$ - напруга на вході логічного елемента,

$U_{вих}$ - напруга на виході логічного елемента

Таблиця 9.3 - Дані для передавальної характеристики $U_{вих}=f(U_{вх})$ для І-НІ

Виміряна величина	Експериментальні дані				Режим роботи
$U_{вх}$ (В)			...		Холостий хід
$U_{вих}$ (В)			...		
$U_{вх}$ (В)			...		Під навантаженням
$U_{вих}$ (В)			...		

Для зняття вихідної напруги під навантаженням ($U_{вих2}$) необхідно з'єднати ВИХІД 1 з гніздом НАВАНТАЖЕННЯ (номер навантаження за вказівкою викладача). Результат $U_{вих2}$ занести до таблиці 9.3. По закінченню виміру навантаження від'єднати.

З'єднати ВИХІД 4 з тим же гніздом НАВАНТАЖЕННЯ. Результат занести до таблиці 10.4.

Таблиця 9.4 - Дані для передавальної характеристики $U_{вих}=f(U_{вх})$ для елемента АБО-НІ

Виміряна величина	Експериментальні дані				Режим роботи
$U_{ВХ}$ (В)			...		Холостий хід
$U_{ВИХ}$ (В)			...		
$U_{ВХ}$ (В)			...		Під навантаження М
$U_{ВИХ}$ (В)			...		

Виконати не менш як для десяти значень $U_{вх}$ для даного логічного елемента.

На основі даних у таблицях 9.3-9.4 побудувати в тих самих осях координат графіки передавальних функцій $U_{вих}=f(U_{вх})$, $U_{вих1}=f(U_{вх})$, $U_{вих2}=f(U_{вх})$ для обох елементів.

9.4 Дослідження роботи логічних елементів І-НІ, АБО-НІ в статичному режимі

За допомогою єднальних дротів з'єднати гніздо ВХІД 1 із гніздом під лівим тумблером РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ, а гніздо ВХІД 2 із гніздом під правим тумблером. Змінюючи тумблерами комбінації сигналів на вході елемента І-НІ за допомогою вольтметра, під'єданого до гнізда ВИХІД 1, спостерігати логічний рівень на виході елемента, що відповідає встановленій комбінації сигналів на вході.

За результатами спостережень заповнити таблицю істинності для досліджуваного елемента (таблиця 9.5).

Таблиця 9.5 - Таблиця істинності

Стан входних параметрів		Стан виходу	
		І-НІ	АБО-НІ
x_1	x_2	$F=X_1 * X_2$	$F=X_1 + X_2$

0	0		
P	1		
1	0		
1	1		

Дослідження статичного режиму елемента АБО-НІ аналогічно. Відмінність полягає в з'єднанні з тумблерами РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ гнізд ВХІД 4 і ВХІД 5 і гнізда вольметра з гніздом ВИХІД 4. Результати спостережень занести до таблиці 10.5.

9.5 Дослідження роботи логічного елемента І-НІ, у динамічному режимі

Прямокутні імпульси з умонтованого в стенд генератора прямокутних імпульсів подаються на входи досліджуваного елемента і за допомогою осцилографа спостерігається часова діаграма на виході.

Дротом з'єднати виходи генератора імпульсів 100 кГц із гніздами ВХІД 1 і ВХІД 2, а вхід осцилографа по черзі підключати до вхідних і вихідних гнізд досліджуваного елемента, у кожному випадку замалювати отриману часову діаграму так, щоб точка відліку і масштаб за часом не змінювався. Результатом дослідження є сумісна часова діаграма вхідних і вихідних .сигналів досліджуваного елемента.

Виконати попередній пункт для імпульсів із частотою 1 кГц.

9.6 Дослідження роботи логічних елементів І, АБО, НІ в статичному режимі

Зняти накладну плату №1 і поставити накладну плату №2. При цьому загориться лампочка №2 на стенді. Перемикач ЛОГІКА перевести в положення «2».

За результатами спостережень необхідно побудувати таблиці істинності для елементів І, АБО, НІ аналогічні таблиці 10.5.

9.7 Дослідження комбінаційних схем зібраних згідно з заданими перемикальними функціями у статичному режимі

Використовуючи елементи плати №2 зібрати комбінаційну схему для /реалізації перемикальної функції $F=x1*x2+x3$.

Подаючи на входи x_1 , x_2 , x_3 усі можливі комбінації сигналів із рівнями «О» і «1» і для кожного випадку, визначити сигнал на виході, скласти таблицю істинності для даної схеми. Необхідно використовувати тумблери РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ і кнопку ІМПУЛЬС ОДИНОЧНИЙ.

Зібрати комбінаційні схеми для реалізації наступних перемикальних функцій:

$$\overline{F} = x_1 \cdot x_2 + x_3; \quad F = x_1 \cdot \overline{(x_2 + x_3)}; \quad F = x_1 \cdot \overline{(x_2 + x_3)}$$

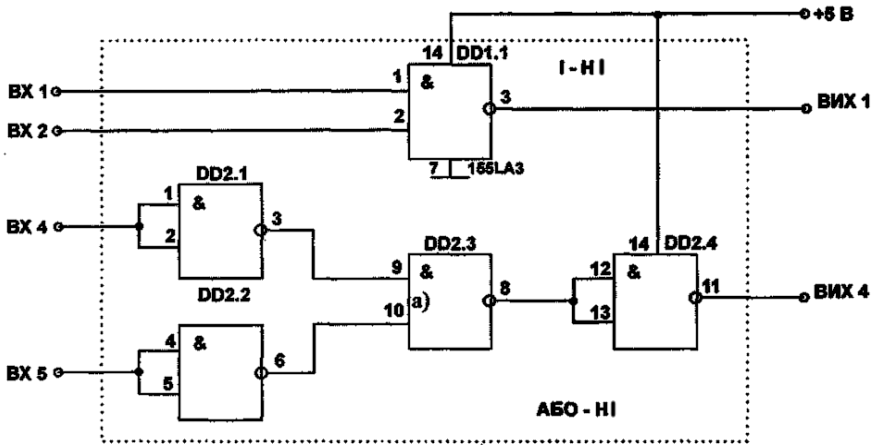
і для кожної з цих схем виконати попередній пункт.

9.8 Зміст лабораторної роботи і підготовка до захисту

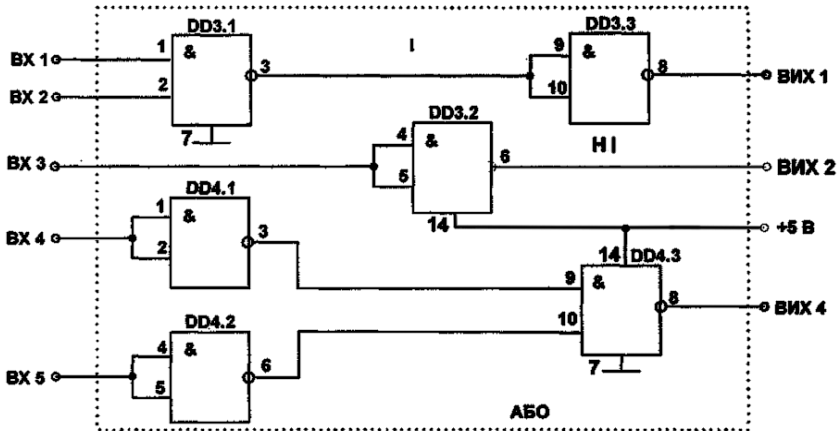
Звіт з лабораторної роботи повинен містити таблиці зі знятими експериментальними даними дослідження для кожного логічного елемента, графіки передавальних функцій, сумісні тимчасові діаграми роботи елементів, комбінаційні схеми, що реалізують задані перемикальні функції.

9.9 Запитання

1. Які логічні операції можна здійснювати над логічними змінними?
2. Основні тотожності (закони) булевої алгебри.
3. Яка швидкодія і споживана потужність логічних елементів, виконаних на ТТЛ, КМОП і ЕСЛ?
4. Які рівні логічного нуля й одиниці для логічних елементів, виконаних на ТТД, КМОП і ЕСЛ?
5. Пояснити роботу базового елемента ТТЛ.
6. Пояснити роботу задавального генератора, виконаного на основі елементів І-НІ.
7. Пояснити відмінність передавальних характеристик одного логічного елемента І-НІ і АБО-НІ.
8. Реалізувати на елементах І-НІ логічну функцію: $F = x_1 * x_2 + x_1 * x_2 * x_3$.



a)



б)

Рисунок 9.4 – Комбінаційна схема

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИГЕРІВ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНОЇ ЛОГІКИ

Мета роботи – вивчити роботу тригерів типу RS, JK, D, виконаних на ТТЛ серії K155 у статичних і динамічних режимах.

10.1 Програма роботи

Дослідити роботу RS-тригера, виконаного на елементі 2І-НІ ТТЛ, і побудувати для нього таблицю істинності.

Дослідити роботу JK - тригера на основі інтегральної мікросхеми (1С) K155TB1 у статичному режимі і побудувати для нього таблицю істинності.

Дослідити роботу JK - тригера в динамічному режимі і побудувати сумісні діаграми входних і вихідних сигналів.

Дослідити роботу D-тригера виконаного на 1С K155TM2 у статичному режимі і побудувати для нього таблицю істинності.

Дослідити роботу D-тригера в динамічному режимі і побудувати для нього сумісні часові діаграми входних і вихідних сигналів.

10.2 Стислі відомості про тригери досліджувані в роботі

Тригер - це пристрій із двома стійкими станами, у яких він може знаходитися достатньо довго - до впливу на нього зовнішнього сигналу.

Одному зі станів тригера можна присвоїти значення "0", а іншому - "1" і використовувати в якості осередку пам'яті для однорозрядного двійкового числа.

Сучасні тригери мають декілька типів входів: S- установка в "1"; R — установка в "0", T - рахунковий вхід; V - дозвіл запису інформації; D - вхід затримки; J і K - переключення відповідно з "0" у "1" і з "1" у "0" (від входів S і R відрізняються припустимістю подачі "1" одночасно на обидва-входи); C - вхід синхронізації. Звичайно типи входів тригера віддзеркалюються в його назві. Найбільш поширені RS, DV, D і JK - тригери.

На рисунку 10.1 зображена принципова схема RS-тригера, що містить засувку (транзистори VT1 і VT2), а також два роздільні статичні входи керування R і S (транзистори VT3 і VT4). На входи R і S можна подати напругу низького "0" або високого "1" рівнів, при цьому є чотири комбінації цих керуючих сигналів.

Якщо на входах R і S напруга низького рівня, то транзистори VT3 і VT4 струмів, що відкривають, не одержать, будуть розімкнуті і тому не зможуть вплинути на стан транзисторів засувки VT1 і VT2. Напруга на виходах тригера Q і $\bar{Q}$ залишиться без зміни.

Якщо подати на вхід S високу напругу, а на R - низьку, тоді транзистор VT4 буде насичений, а на колекторі транзисторів VT4 і VT2 виявиться низька напруга (вихід $\bar{Q}$). Транзистор VT1 перейде в стан відсікання і на виході Q з'явиться напруга високого рівня.

Якщо на вхід S подати низьку напругу, а на вхід R - високу, тоді за аналогією на виході Q з'явиться низька напруга, а на виході $\bar{Q}$ - висока.

Якщо на обидва входи S і R подати високу напругу, тоді на обох виходах Q і $\bar{Q}$ повинна з'явитися напруга низького рівня. Якщо тепер із входів S і R одночасно зняти високий сигнал, то тригер переключиться неоднозначно в один зі стійких станів. Тому два логічних рівня "1", "1" на входи R і S подавати не можна.

У лабораторній роботі досліджується також JK-тригер на 1С К155ТВ1. Від RS-тригера, JK-тригер відрізняється двома зворотними зв'язками, що усувають невизначеність у таблиці станів RS-тригера. Призначення входів J і K таке ж як і входів R і S (скидання й установка). Букви J і K були обрані в свій час авторами, як сусідні в алфавіті. Схема JK-тригера ТВ1 і його функціональне позначення показані на рисунку 11.2. Кожний із входів J і K оснащений трьох-входовим логічним елементом I, тому в мікросхемі три входи J (J1 - J3) і три входи K (K1 - K3). У тригера є тактовий вхід $\bar{C}$ і комплементарні виходи Q і $\bar{Q}$.

Тригер ТВ1 має сім режимів роботи (таблиця 10.2). Коли на входах S і R присутня напруга високого рівня, у тригер можна або завантажувати інформацію від входів J і K, або затримувати, тобто зберігати її. Стан двоступінчастого тригера перемикається фронтом і

зрізом позитивного тактового імпульсу: інформація з входів J і K завантажується у внутрішній тригер (тригер майстер), виконаний на елементах DD1.3 і DD1.4, коли напруга тактового входу переходить на високий рівень і переноситься в тригер-помічник (DD1.7, DD1.8) по негативному перепаду тактового імпульсу з високого рівня на низький.

Сигнали на входи J, K не повинні змінюватися, якщо на вході $\overline{C}$ присутня напруга високого рівня. Входи $\overline{S}$, $\overline{R}$ - асинхронні з активним низьким рівнем. Коли на ці входи подані протилежні рівні "1" і "0" входи C, J і K діяти не будуть.

Якщо на входах $\overline{S}$ і $\overline{R}$ одночасно подані напруги низького рівня, то стани виходів Q і $\overline{Q}$ невизначені.

Функціональне позначення і структурна схема одного каналу D-тригера на основі IC K155TM2 зображені на рисунку 11.3.

D-тригер має один інформаційний вхід D (від англійського слова delay - затримка) і виконує функцію затримки сигналу на один такт. У D-тригері, що тактується, сигнал від входу D передається на вихід по позитивному перепаду на тактовому вході C (від "0" до "1"). Для того щоб тригер перемикнувся правильно рівень на вході D варто зафіксувати заздалегідь, перед появою тактового перепаду, завантажити в тригер логічну "1" або "0" можна, якщо відповідно на входи $\overline{S}$ і $\overline{R}$ подати напруги високого рівня.

На лабораторному стенді для дослідження роботи елементів є генератор одиночних імпульсів, принципова схема якого показана на рисунку 11.4.

Формувач одиночних імпульсів виконаний за схемою RS-тригера, один вхід якого з'єднаний із нормально замкнутими контактами кнопки SB 5, а інший із нормально розімкнутими.

При не натиснутій кнопці SB5 на виході елемента DD23.4 присутній рівень логічного «0», а на виході елемента DD23.3-рівень логічної «1». При натисненні кнопки SB5 на вхід елемента DD23.4 подається рівень логічного «0», тригер перекидається і на виході елемента DD23.4 з'являється рівень логічної «1». Тригер буде знаходитися в такому стані до відпускання кнопки SB5.

Пристрій узгодження призначено для збільшення навантажувальної здатності формувача одиночного імпульсу, для цього в ньому використовується IC K155ЛА7 із відкритим колекторним

виходом і підвищеною навантажувальною здатністю.

10.3 Порядок виконання роботи

Перед включенням стенду необхідно привести органи керування стенда у вихідне положення: потенціометр $U_{\text{вх}}$ у крайньому лівому положенні; обидва тумблери РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ у нижньому положенні; перемикачі ЛОГІКА, ТРИГЕРИ, ЛІЧИЛЬНИК у положенні «О». Після встановлення органів керування у вихідне положення, вмикається тумблер «МЕРЕЖА».

Дослідження роботи RS-тригера. Встановити накладну плату №3 на лицьову панель стенда і закріпити її гвинтами. При цьому загориться лампочка 3 на передній панелі. Перевести перемикач ТРИГЕРИ в положення 3.

За допомогою єднальних дротів із штепселями з'єднати гніздо ВХІД 2 із гніздом під лівим тумблером РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ, а гніздо ВХІД 4 із гніздом під правим тумблером РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ. Гніздо ВХІД 2 з'єднати з гніздом вольтметра $U_{\text{вих}}$.

Задаючи тумблерами РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ різноманітні комбінації логічних рівнів, спостерігайте стан виходу Q RS-тригера, за допомогою вольтметра встановленого в стенді. За результатами спостережень заповнити таблицю істинності RS-тригера (табл.10.1) і побудувати часову діаграму роботи тригера.

Таблиця 10.1 - Істинності RS-тригера

Стан входів RS-тригера		Стан виходів RS-тригера	
R	S	Q	$\overline{Q}$
0	0	0	1
0	1	0	1
1	0	1	0
1	1	1	0

Дослідження роботи JK - тригера в статичному режимі. Встановити накладну плату №4 на лицьову панель стенда і закріпити її гвинтами. При цьому загориться лампочка 4 на передній панелі. Перевести перемикач ТРИГЕРИ в положення 4.

З'єднайте за допомогою дротів входи J і K тригера - гнізда ВХІД 2 і ВХІД 4 із гніздом UBХ регульованого джерела постійної напруги. По вольтметру UBХ установити напругу 2.4-3.0 В (логічна «1»).

З'єднайте гніздо ВХІД 1 (S-вхід тригера) із гніздом під лівим тумблером РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ, а гніздо ВХІД 5 (R-вхід тригера) із гніздом під правим тумблером РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ. З'єднайте ВИХІД 1 із гніздом вольтметра UBХ.

Змінюючи тумблерами РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ комбінації сигналів на R і S-вході тригера, спостерігати стан виходів тригера і заповнити три перші рядки таблиці істинності JK-тригера в табл. 10.2.

Таблиця 10.2 – таблиця істинності JK тригера

Режим роботи	Вхід					Вихід	
	$\overline{S}$	$\overline{R}$	$\overline{C}$	J	K	Q	$\overline{Q}$
асинхронна установка	0	1	*	*	*	0	1
асинхронне скидання	1	0	*	*	*	1	0
невизначеність	0	0	*	*	*	1	1
переключення	1	1	--	1	1	1	0
завантаження 0 (скидання)	1	1	--	0	1	1	0
завантаження 1 (установка)	1	1	--	1	0	0	1
збереження (без змін)	1	1	--	0	0	0	1

Гніздо UBХ від'єднати від входів J і K і з'єднати з входом R і S (ВХІД 5 і ВХІД 1 відповідно). Гнізда під тумблерами РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ з'єднати з входами J і K (ВХІД 2 і ВХІД 4). Вхід C тригера (гніздо ВХІД 3) з'єднати з гніздом " -- " ІМПУЛЬС ОДИНОЧНИЙ. Змінюючи тумблер РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ комбінації сигналів на входах J і K і натискаючи для кожної набраної комбінації кнопку ІМПУЛЬС ОДИНОЧНИЙ, спостерігайте за вольтметром стан прямого виходу

тригера і заповніть 4 рядки, що залишилися в таблиці 11.2.

10.4 Дослідження роботи JK-тригера в динамічному режимі

Виконати з'єднання аналогічні попереднім пунктам за винятком вхід С тригера (гніздо ВХІД 3) підключити до виходу генератора імпульсів (частотазначається викладачем). Тумблерами РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ подайте рівень логічної «1» на виходи R і S тригера.

Вхід осцилографа спочатку підключити до гнізда ВХІД 3 (вхід С тригера) і замалювати часову діаграму, а потім підключити на вихід тригера до гнізда ВИХІД 1 і також замалювати часову діаграму в тому ж масштабі.

Простежте що зміниться в часовій діаграмі, якщо за допомогою одного з тумблерів РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ подати сигнал логічного «О» по черзі на вхід R, а потім на вхід S тригера.

Дослідження D-тригера в статичному режимі.

З'єднати гніздо ВХІД 1 (S-вхід тригера) із гніздом під лівим тумблером РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ, а гніздо ВХІД 5 (R-вхід тригера) із гніздом під правим тумблером. З'єднати гніздо ВИХІД 3 із гніздом Увих вольметра. Змінюючи тумблерами РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ комбінації сигналів на R і S входах D-тригера, спостерігайте за вольметром стан виходів тригера. Результати спостереження занести в перші три рядка табл.11.3.

Таблиця 10.2 – таблиця істинності D тригера

Режим роботи	Вхід				Вихід	
	$\overline{S}$	$\overline{R}$	C	D	Q	$\overline{Q}$
Асинхронна установка	0	1	*	*	1	0
Асинхронне скидання	1	0	*	*	0	1
Невизначеність	0	0	*	*	1	1
Завантаження 1 (установка)	1	1	--	1	1	0
Завантаження 0 (скидання)	1	1	--	0	0	1

Встановити за вольтметром $U_{вх}$ напругу 2.4В - 3.0В, за допомогою єднальних дротів подати цю напругу з гнізда $U_{вх}$ на входи R і S тригера (гнізда ВХІД 1 ВИХІД 5). З'єднати гніздо ВХІД 3 (вхід С тригера) із гніздом “ -- ” ІМПУЛЬС ОДИНОЧНИЙ і натискаючи й відпускаючи кнопку ІМПУЛЬС ОДИНОЧНИЙ спостерігайте по вольтметру за станом виходів тригера. Результати спостережень занести в останні два рядка табл. 11.3.

10.5 Дослідження роботи D-тригера в динамічному режимі

Виконайте з'єднання на стенді аналогічні попередньому пункту за винятком :

вхід С тригера (гніздо ВХІД 3) підключити до виходу генератора (частотазначається викладачем). За допомогою тумблерів РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ подати рівні логічної «1» на входи R і S тригера.

Вхід осцилографа спочатку підключити до гнізда ВХІД 3 (вхід D тригера) і замалювати часову діаграму, а потім підключити на вихід тригера до гнізда ВИХІД 3 і також замалювати часову діаграму в тому ж масштабі.

10.6 Зміст лабораторної роботи і підготовка до захисту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити таблиці істинності для кожного тригера, сумісні часові діаграми вхідних, і вихідних сигналів тригерів, висновки і зауваження по виконаній роботі.

10.7 Запитання

1. Напишіть таблицю істинності для елемента 2І-НІ, на яких зібраний RS-тригер.
2. Пояснити роботу RS-тригера виконаного на ТТЛ по принциповій схемі.
3. Намалюйте схему RS-тригера на елементах 2АБО-НІ і зазначте відмінність у функціонуванні цього RS-тригера від досліджуваного.
4. Чи може JK-тригер К155ТВ1 працювати як RS-тригер?
5. Чи може JK-тригер К155ТВ1 працювати як D-тригер?

6. Намалюйте часову діаграму роботи JK-тригера при з'єднанні виводів J, K, C разом і подачі на них послідовності імпульсів.

7. Намалюйте часову діаграму роботи D-тригера при з'єднанні виводів Q, D разом і подачі на вхід C послідовності імпульсів.

8. У чому полягає «забороненість» комбінації сигналів на входах R, S у RS і D-тригерів?

9. Пояснити роботу генератора одиночних імпульсів, встановленого в стенді.

10. Пояснити роботу джерела логічного рівня, встановленого в стенді.

11. Як за допомогою JK-тригера розділити частоту проходження прямокутних імпульсів на два?

12. Як за допомогою D-тригера записати і зберігати багато розрядний двійковий код?

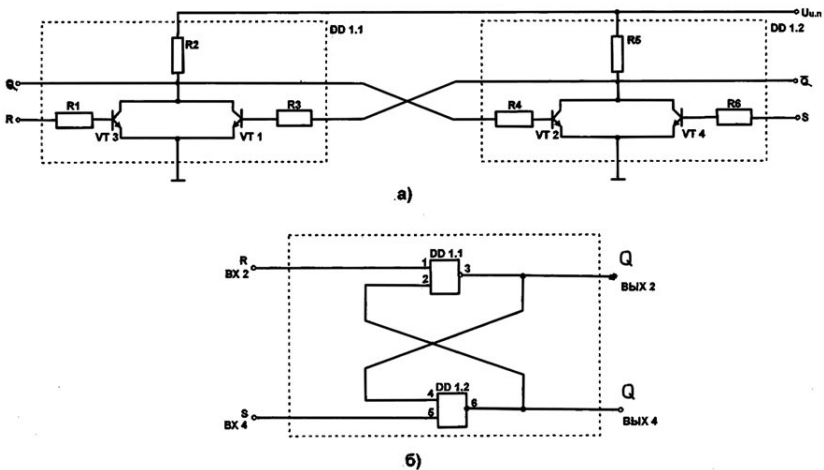


Рисунок 10.1 – Принципова схема RS – тригера

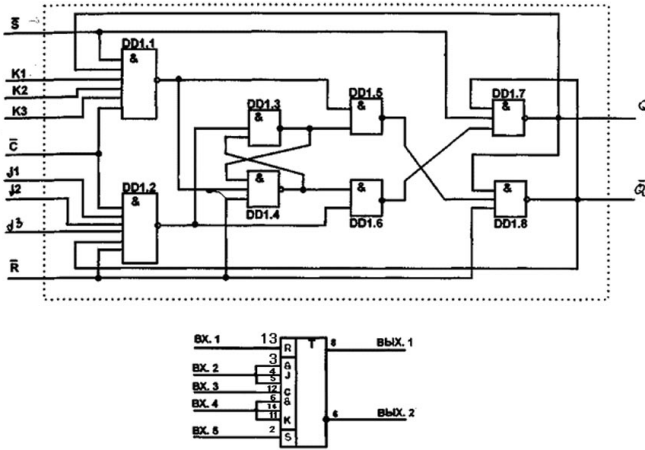


Рисунок 10.2 – Принципова схема JK – тригера

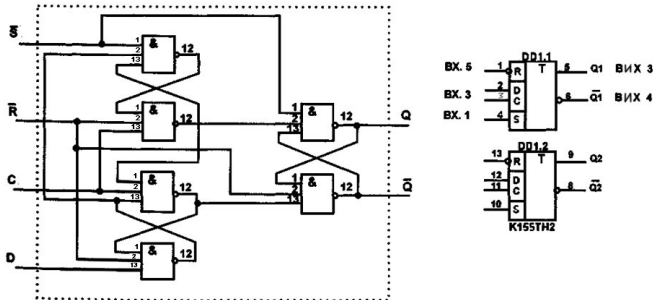


Рисунок 10.3 – Структурна схема одного каналу D – тригера на основі K155TM2

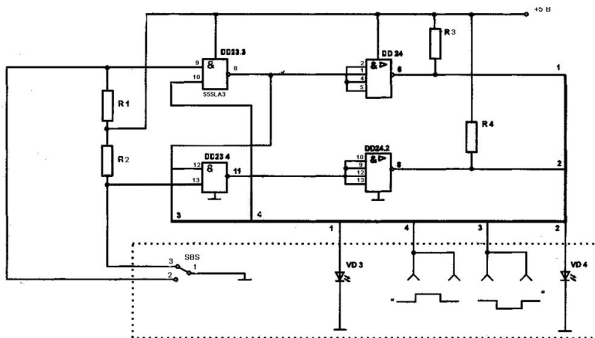


Рисунок 10.4 – Принципова схема генератора одиночних імпульсів

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №11

ДОСЛІДЖЕННЯ ДВІЙКОВИХ І ДВІЙКОВО-ДЕСЯТКОВИХ ЧОТИРЬОХ РОЗРЯДНИХ ЛІЧИЛЬНИКІВ НА ОСНОВІ ІНТЕГРАЛЬНОЇ ТРАНЗИСТОРНО-ТРАНЗИСТОРНОЇ ЛОГІКИ

Мета роботи – Вивчити роботу двійкового чотирьохрозрядного лічильника, виконаного на мікросхемі K155TM2 і роботу двійково-десяткових чотирьохрозрядних лічильників, виконаних на мікросхемах K155TB1 і K155IE2.

11.1 Програма роботи

Дослідити роботу двійково-десяткового лічильника, виконаного на мікросхемі K155TB1. Побудувати сумісні часові діаграми вхідних і вихідних сигналів і таблицю послідовності рахування.

Дослідити роботу двійкового чотирьохрозрядного лічильника, виконаного на мікросхемі K155TM2. Побудувати сумісні тимчасові діаграми вхідних і вихідних сигналів і таблицю послідовності рахування.

Дослідити роботу двійково-десяткового чотирьохрозрядного лічильника, виконаного на мікросхемі K155IE2. Побудувати сумісні діаграми вхідних і вихідних сигналів і таблицю послідовності рахування.

11.2 Стислі відомості про лічильники досліджувані у роботі

Якщо послідовно з'єднати декілька тригерних схем - дільників частоти на два, одержимо багаторозрядний двійковий дільник. Більш загальна назва для дільників частоти - лічильники. Лічильник - це вузол, що виконує операцію підрахунку сигналів (імпульсів), що надходять на його вхід.

Спочатку лічильники були асинхронними. У асинхронному режимі попередній тригер формує для наступного тактові імпульси. У синхронному лічильнику всі тригери одержують тактовий імпульс одночасно, тому що тактові входи їх з'єднуються паралельно, тому тригери перемикаються практично одночасно. У асинхронному

лічильнику кожний тригер вносить у процес розрахунку визначену затримку, тому молодші розряди результуючого коду з'являються на вихідні тригери не одночасно, тобто не одночасно з відповідним тактовим імпульсом.

Для одержання з двійкового лічильника дільника на 10 або двійково-десятькового лічильника використовують чотири послідовно ввімкнених тригери і зворотній зв'язок, що зупиняє рахунок при $9 = 1001$. У лічильниках із змінним коефіцієнтом розподілу, встановлений коефіцієнт розподілу залежить від коду, набраного на входах керування.

Основними характеристиками лічильника є: ємність лічильника, розподільна спроможність і час реєстрації.

Ємність лічильника визначається максимальним числом одиничних сигналів, що може бути зафіксоване на лічильнику.

Розподільна спроможність - це мінімально припустимий період проходження вхідних сигналів, при якому ще забезпечується надійна робота лічильника. Чим більша частота надходження рахункових сигналів, тим більше швидкодія лічильника.

Час реєстрації - інтервал часу між моментами надходження вхідного сигналу і закінчення самого найдовшого перехідного процесу в схемі лічильника.

У лабораторній роботі розглядається декілька схемних реалізацій лічильника. Двійково-десятьковий лічильник, виконаний на чотирьох мікросхемах КЦ55ТВ1, зображений на рисунку 12.2.

Перед початком рахування на входи R подається сигнал низького рівня, що встановлює усі виходи лічильника в «О». При подаванні послідовності імпульсів на вхід із тригера DD1 на виходах лічильника Q1 ... Q4 встановлюються сигнали, що відповідають в двійково-десятьковому коді кількості імпульсів, що надійшли. По задньому фронту імпульсу С на виході 8 DD1 з'явиться "1". По фронту другого імпульсу С на виході 8 DD1 з'явиться "0" і переключить вихід DD2 у «1» і т.д.

При подачі десятого імпульсу тригер DD2 не переключається в «1» за рахунок подачі сигналу низького рівня на входи J із виходу 6 тригера DD4 (Q4), тригер DD4 також переключається в «О» (на один із входів J подані низький рівень і сигнал на вході С переключається з високого на низький рівень). У результаті на виходах лічильника встановляються нулі. Мікросхема К155ТВ1 споживає струм живлення

10 мА і може працювати з тактовою чистотою 15 мГц.

Принципова схема чотирьохрозрядного двійкового лічильника, виконаного на мікросхемі K155TM2, приведена на рисунку 11.1. Мікросхема K155TM2 містить два незалежних D-тригера. Сигнал від входу D подається на вихід Q по позитивному імпульсу на тактовому вході С (від "0" до "1").

Рахунковий сигнал надходить на тактовий вхід С-тригера першого розряду. Рахункові входи наступних тригерів з'єднані з виходами попередніх тригерів. У результаті кожен наступний тригер перемикається в 2 рази рідше попереднього і на виходах лічильника утворюється двійковий код числа імпульсів, що надійшли.

Для того, щоб тригер перемикнувся правильно, рівень на вході D варто зафіксувати заздалегідь, перед надходженням тактового перепаду. Захисний інтервал повинен перевищувати час затримки поширення сигналу в тригері.

Таблиця 11.1-Вибір режиму роботи лічильника K155IE2

Вхід і скидання установки				ВИХІД			
R1	R2	S1	S2	Q1	Q2	Q3	Q4
В	В		*	Н	Н	Н	Н
В	В	*	Н	Н	---	Н	Н
*	*	В	В	В	Н	Н	В
Н	*	Н	*	рахування	рахування	рахування	рахування
*	Н	*	Н	---	---	---	----
Н	*	*	Н	---	---	----	---
*	Н	В	*	---	---	---	---

11.3 Порядок виконання роботи

Перед вмиканням стенда встановіть органи керування стенда у вихідне положення: потенціометр $U_{вх}$ у крайньому лівому положенні; обидва тумблери РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ у нижньому положенні; тумблер РАХУВАННЯ - УСТ. 0 у нижньому положенні; перемикачі

ЛОГІКА, ТРИГЕРИ, ЛІЧИЛЬНИК у положенні «О».

Дослідження двійково-десятькового чотирьохрозрядного лічильника виконаного, на мікросхемі K155ТВ1.

Встановіть накладну плату 5 на особовій панелі і закріпіть її. При цьому загориться лампочка 5 індикації. Перемикач ЛІЧИЛЬНИК встановіть в положення 5.

Подайте за допомогою з'єднувального проводу сигнал у вигляді послідовності прямокутних імпульсів з одного з гнізд ГЕНЕРАТОР ІМПУЛЬСІВ (наприклад 1кГц) на гніздо ВХІД 3.

Подайте за допомогою з'єднувального проводу сигнал з гнізда (під лівим тумблером) РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ на гніздо ВХІД 5 (входи R тригерів).

Тумблером РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ задайте різноманітні значення сигналу на вході R. Контроль вхідних і вихідних сигналів робіть електронним осцилографом, підключаючи його до відповідних гнізд - ВХІД 3 і ВИХІД 1...4.

Дослідити роботу лічильника, подавши на вхід С (гніздо ВХІД 3) сигнал із гнізда ІМПУЛЬС ОДИНОЧНИЙ. Рівень сигналу на виході лічильника контролюйте за допомогою вольтметра, подаючи сигнал із гнізда ВИХІД 1 на гніздо Увих.

Контроль сигналу на виході лічильника виконуйте за допомогою індикатора ЛІЧИЛЬНИК ІМПУЛЬСІВ. Для цього тумблер РАХУВАННЯ-УСТ О встановіть в положення РАХУВАННЯ, а на гніздо ЛІЧИЛЬНИК ІМПУЛЬСІВ подайте за допомогою єднального дроту сигнал із гнізда ВХІД 3 і побудуйте графіки тимчасових-залежності вхідних і вихідних сигналів для послідовності з 20 імпульсів, подаваних на вхід. Після зняття тимчасових діаграм на виході Q1 (ВИХІД 1) виконайте скидання досліджуваного лічильника (лівий тумблер РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ) і скидання лічильника імпульсів, установленого на стенді (тумблер РАХУВАННЯ - УСТ. О). Під'єднайте до гнізда Увих. сигнал із гнізда ВИХІД 2 і повторіть виміри. Аналогічно для ВИХОДІВ 3 і 4.

Дослідження двійкового чотирьохрозрядного лічильника, виконаного на мікросхемі K155ТМ2.

Встановіть накладну плату 6 на лицьову панель, зміцнивши її двома гвинтами. При цьому загориться лампочка 6 індикації. Перемикач ЛІЧИЛЬНИК встановіть в положення 6.

11.4 Дослідження двійково-десятькового чотирьохрозрядного лічильника, виконаного на мікросхемі K155IE2

Встановіть накладну плату 7 на лицьову панель і закріпіть її гвинтами. Перемикач ЛІЧИЛЬНИК встановіть в положення 7.

Подайте за допомогою єднального дроту з гнізда (під лівим або правим тумблером) РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ на вхід РО лічильника - гніздо ВХІД5.

Тумблером РІВЕНЬ ЛОГІЧНИЙ задавайте різноманітні значення сигналу на вході РО. Контроль входних і вихідних сигналів виконуйте електронним осцилографом, підключаючи його до відповідних гнізд-вхід 3 і ВИХІД 1. ..4.

Відгвинтіть гвинти і зніміть накладну плату 7. Тумблер РАХУВАННЯ - УСТ. 0 встановіть в положення УСТ. 0. Виключите тумблер МЕРЕЖА.

По отриманим тимчасовим діаграмам для кожного лічильника заповнити таблицю послідовності рахування.

11.5 Зміст лабораторної роботи і підготовка до захисту

Звіт з лабораторної роботи повинен містити: схеми досліджуваних лічильників, графіки часових залежностей досліджуваних лічильників, таблиці послідовності розрахунку, висновки і зауваження по зробленій роботі.

11.6 Контрольні запитання

1. Пояснити роботу тригерів використовуваних у лічильниках.
2. У чому відмінність ТГЛ і КМОП технології виготовлення мікросхем?
- 3 Як можна виконати двійково-шеснадцятирічний лічильник?
4. Дати пояснення отриманим часовим діаграмам.
- 5.ояснити роботу лічильника з цифровим індикатором, встановленим на стенді.
6. Пояснити роботу генератора імпульсів, встановленого на стенді.

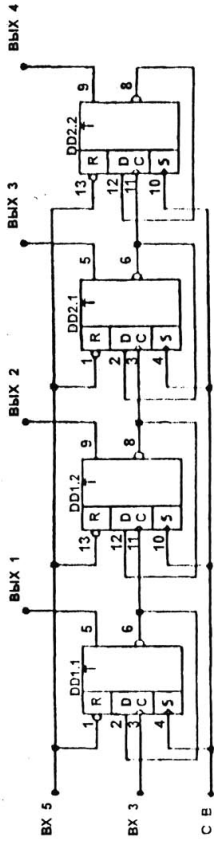


Рисунок 11.1 - Принципова схема RS тригера К155 ТМ 2

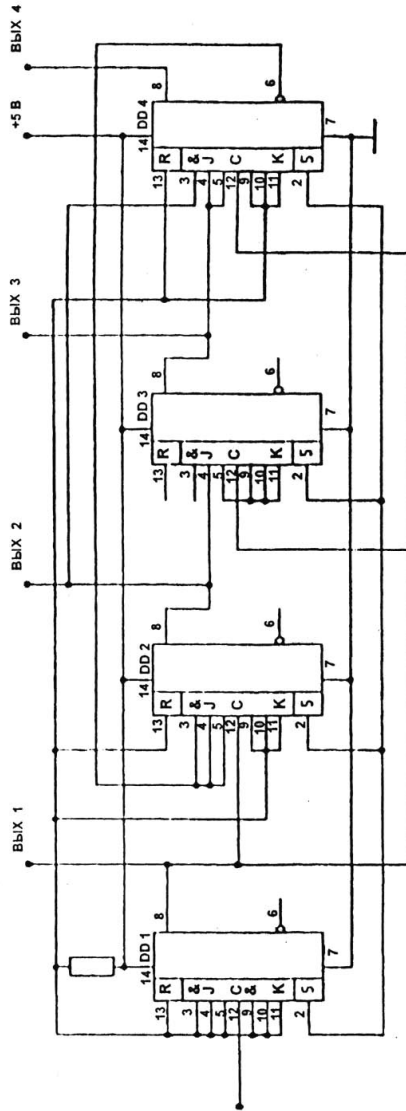


Рисунок 11.2 - Принципова схема JK тригера К155 ТВ1

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №12

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СУМАТОРА, КОМПАРАТОРА, ТРИГЕРА ШМІТТА

Мета роботи – Вивчити принцип дії інвертуючого суматора на базі операційного підсилювача з підсиленням сумуючих сигналів. Вивчити принципи дії компаратора на базі операційного підсилювача і побудувати його перехідні характеристики. Вивчити принципи дії тригера Шмітта, реалізованого на базі операційного підсилювача і побудувати його перехідні характеристики.

12.1 Опис лабораторної установки і вимірювальних приладів

Лабораторна установка виконана у вигляді металевої шафи промислового виробництва типу ЕС23, який має в собі пристрої, які збираються в окремі електричні схеми в вигляді суматора, компаратора, або тригера Шмітта. В центрі лицевої панелі лабораторної установки розташоване порядкове місце для розміщення накладних панелей з зображенням досліджуваного пристрою.

Джерела ІСТ1 і ІСТ2 розташовані у лівій частині лицевої панелі і призначені для отримання змінної (нажати кнопку «~») або постійної (нажати кнопку «=») напруги. Обертаючи ручки відповідних потенціометрів, можна встановити потрібну величину вхідної напруги. За допомогою вольтметра « $U_{вх}$ » (в лівому верхньому кутку) можна, підключаючись до різних входів , контролювати величину вхідної напруги. Відповідна індикаторна лампа загораючись вказує на полярність вимірюваної напруги. Вольтметр « $U_{вих}$ » (розташований у правому верхньому кутку) показує величину вихідної напруги, відповідна індикаторна лампа вказує на полярність вимірюваної напруги.

Функціональна зона 1,2,3,4 розташована в нижній і правій частинах лицевої панелі є керуючою при встановленні відповідної панелі з досліджуваною схемою.

12.2 Дослідження інвертуючого суматора

Для дослідження роботи суматора встановити і закріпити на лицевій панелі накладну панель № 3 з його зображенням та встановити $u_{дж1} = + \dots u_{дж2} = +$. Потім за допомогою перемикача S1 (функціональна зона 3) встановити $R_{33} = R_3$ (R_{33} – опір зворотного зв'язку). При даному значенні R_{33} за допомогою приладу $U_{вих}$ фіксувати значення вихідної напруги. За допомогою перемикача S1 встановити $R_{33} = R_4$, зняти показники приладу $U_{вих}$. Для проведення вимірювань, використовуючи формули (1), (2), визначити величини R_{33} та R_4 . ($R_1=R_2=10$ кОм). Результати досліджень оформити у вигляді таблиці 12.1.

Таблиця 13.1

№	$U_{дж1}, В$	$U_{дж2}, В$	Положення перемикача	$U_{вих}, В$	$R_{ос}, Ом$
1	1	2	R_3		
2	0.5	1.5	R_4		

12.3 Дослідження компаратора

Для дослідження компаратора встановити та закріпити на лицевій панелі накладну планку № 1.1 з зображенням компаратора на базі ОП. Натиснути кнопку з індексом «К» перемикача вибору виду досліджуваної схеми у функціональній зоні 1.

Натиснувши кнопки « $\Leftarrow$ » перемикачів «ICT1» та «ICT2», подати постійні регулюючі напруги на відповідні входи ОП. Обертаючи ручки відповідних потенціометрів, встановити потрібну величину потенціометрів, встановити потрібну величину вхідної напруги. Причому, спочатку встановлюється за допомогою «ICT2» величина опорної напруги ($U_{он}$). , контролюється за допомогою підключення приладу $U_{вх}$. Потім прилад $U_{вх}$ підключається до «ICT1» і проводиться змінення з кроком 0.5В вхідної напруги ($U_{вх}$), (таблиця

13.2). Прилад $U_{вх}$ при цьому фіксує значення вхідної напруги на кожному кроці.

Результати вимірювання оформлюються в виді таблиці 12.2.

Таблиця 12.2

№	$U_{оп} = 1.5 \text{ В}$		$U_{оп} = 2.0 \text{ В}$		$U_{оп} = 2.5 \text{ В}$	
	$U_{вх}, \text{В}$	$U_{вих}, \text{В}$	$U_{вх}, \text{В}$	$U_{вих}, \text{В}$	$U_{вх}, \text{В}$	$U_{вих}, \text{В}$
1	0,5		1,0		1,5	
2	1,0		1,5		2,0	
3	1,5		2,0		2,5	
4	2		2,5		3,0	
5	2,5		3,0		3,5	

На основі таблиці 12.2 будуються графіки перехідних характеристик компаратора.

12.4 Дослідження тригера Шмітта

Встановити і закріпити на лицевій панелі стенду накладну панель № 4 з зображенням тригера Шмітта. Встановити ($U_{ол}$ та $U_{вх}$, а також зняти залежності $U_{вих} = f(U_{вх})$) відповідно таблиці 12.3. натиснувши « $\Leftarrow$ ».

Дослідження проводяться при 2-х значеннях R_{33} : спочатку нажимається кнопка R_3 перемикача S1 в функціональній зоні 4, а потім R_4 . Результати вимірювань оформити у вигляді графіків перехідних характеристик тригера Шмітта:

$R_{33}=R_3$				$R_{33}=R_4$			
$U_{оп} = 1.5 \text{ В}$		$U_{оп} = 2.0 \text{ В}$		$U_{оп} = 1.5 \text{ В}$		$U_{оп} = 2.0 \text{ В}$	
$U_{вх}, \text{В}$	$U_{вих}, \text{В}$	$U_{вх}, \text{В}$	$U_{вих}, \text{В}$	$U_{вх}, \text{В}$	$U_{вих}, \text{В}$	$U_{вх}, \text{В}$	$U_{вих}, \text{В}$
0,5		1,0		0,5		1,0	
1,0		1,5		1,0		1,5	
1,5		2,0		1,5		2,0	
2,0		2,5		2,0		2,5	
1,5		2,0		1,5		2,0	

1,0		1,5		1,0		1,5	
0,5		1,0		0,5		1,0	
0,2		0,5		0,2		0,5	

12.5 Методичні вказівки

Ознайомитись зі стендом, органами його керування та заходів безпеки.

12.6 Дослідження роботи суматора

У даній роботі досліджується двохвхідний інвертуючий суматор з підсиленням сумуючих сигналів (рисунок 12.2). На входи 1 і 2 подаються сумуючі постійні напруги від джерел 1 і 2, для цього на панелі керування джерелами необхідно натиснути кнопки «=».

При дослідженні роботи суматора необхідно знати, що для вхідних струмів, які споживають від джерел, з урахуванням того, що точка сумування має нульовий потенціал, справедливі вирази:

$$I_{BX1} = U_{дж1} / R_1 ; \quad I_{BX2} = U_{дж2} / R_2$$

Струм кола оберненого зв'язку дорівнює сумі вхідних струмів, а саме:

$$I_{OC} = I_{BX1} + I_{BX2}$$

Вхідна напруга суматора:

$$U_{BX} = - I_{33} R_{33} = - R_{33}(U_{дж1}/R_1 + U_{дж2}/R_2)$$

Із цього виразу видно, що підсилення по кожному входу можна регулювати, змінюючи опори вхідного кола або опір оберненого зв'язку (R_{33}).

12.7 Дослідження роботи компаратора

Компаратор - це порівняльний пристрій (рисунок 12.2). Його вхідні аналогові сигнали $U_{вх}$ - аналізуючий сигнал і $U_{он}$ - опорний сигнал порівняння, а вихідний $U_{вих}$ - дискретний або логічний сигнал,

який має один біт інформації:

$$U_{\text{вих}} = \begin{cases} 1 & \text{при } U_{\text{ex}} - U_{\text{оп}} > 0 \\ 0(-1) & \text{при } U_{\text{ex}} - U_{\text{оп}} < 0 \end{cases}$$

Вхідний сигнал компаратора майже завжди діє на вході логічних ланцюгів і тому узгоджується по рівню і потужності з їх входами. Таким чином, компаратор - це перш за все невід'ємний елемент для переходу від аналогових до цифрових або логічних сигналів.

12.8 Дослідження роботи тригера Шмітта

Тригер Шмітта (рисунк12.3) являє собою пристрій, в якому перехід від одного стійкого стану в другий досягається тільки при визначених рівнях вхідної напруги $U_{\text{вх1}}$ та $U_{\text{вх2}}$ що називаються пороговими рівнями.

12.9 Оформлення звіту

Звіт виконується по ГОСТ згідно ЕСКД і повинен містити: схеми, таблиці з даними вимірювань і розрахунковими даними, короткий опис характерних особливостей, накреслені, де потрібно, характеристики по даним таблиць, короткий аналіз і висновок.

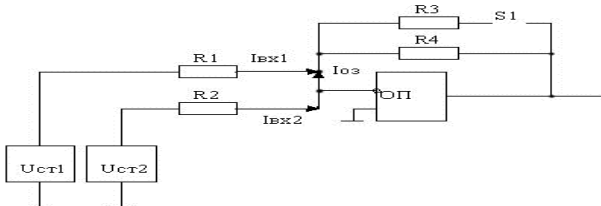
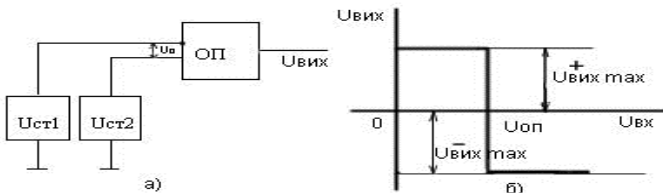
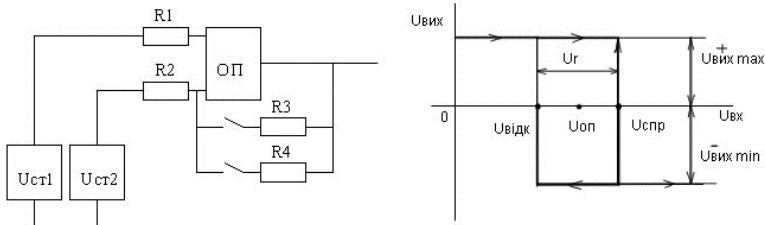


Рисунок 12.1 - Двох вхідний інвертуючий суматор з підсиленням сумуючих сигналів



а) компаратор
б) передавальна характеристика
Рисунок 12.2 - Компаратор



а) Схема

б) Ідеалізована передавальна характеристика
Рисунок 12.3 – Тригер Шмітта

12.10 Контрольні запитання

1. Охарактеризувати тип досліджуваного в роботі суматора.
2. Якими параметрами схеми суматора визначається коефіцієнт підсилення сумуючих сигналів.
3. Як перейти від досліджуваного суматора до інвертуючого підсилювача.
4. Які зворотні зв'язки використані при роботі суматора, на базі яких елементів вони реалізовані.
5. Викласти принцип дії досліджуваного компаратора.
6. Як впливає на форму передавальної характеристики компаратора величина U_n .
7. Сфера призначення компаратора.
8. Викласти призначення елементів дослідженої схеми тригера Шмітта.
9. Якими елементами схем визначається ширина петлі гістерезиса передавальної функції тригера Шмітта.
10. сфера призначення тригера Шмітта.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №13

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ІНВЕРТУЮЧОГО І НЕІНВЕРТУЮЧОГО ПІДСИЛЮВАЧА НА БАЗІ ОПЕРАЦІЙНОГО ПІДСИЛЮВАЧА

Мета роботи - Вивчити принцип дії інвертуючого і неінвертуючого підсилювача.

13.1 Короткі відомості

13.1.1 Інвертуючий підсилювач

Інвертуючий підсилювач (рисунок 13.1), який змінює знак вихідного сигналу щодо вхідного, створюється введенням по інвертуючому входу операційного підсилювача за допомогою резистора R_{oc} паралельного від'ємного зворотного зв'язку по напрузі.

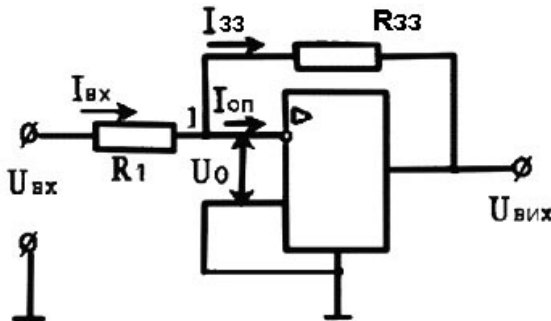


Рисунок 13.1-Схема інвертуючого підсилювача

Неінвертуючий вхід зв'язується з загальною точкою входу і виходу схеми (заземлюється). Вхідний сигнал подається через резистор $R1$ на інвертуючий вхід ОП.

Показники схеми можна визначити, скориставшись рівнянням струмів для вузла 1. Якщо прийняти $R_{вх} = \infty$ і вхідний струм ОП $I_{оп}=0$, тоді:

$$I_{вх} = I_{33}$$

$$\frac{U_{\dot{a}\dot{o}} - U_0}{R1} = \frac{U_{\dot{a}\dot{o}\dot{o}} - U_0}{R\zeta\zeta} \quad (13.1)$$

При $K_u \rightarrow \infty$ напруга на вході ОП $U_0 = U_{\text{вих}}/K_u \rightarrow 0$, у зв'язку з чим вираз (13.1) приймає вигляд:

$$U_{\text{вих}}/R1 = -U_{\text{вих}}/R_{\text{ос}} \quad (13.2)$$

Отже, коефіцієнт підсилення по напрузі інвертуючого підсилювача з паралельним зворотнім зв'язком $K_{ui} = U_{\text{вих}}/U_{\text{вх}}$ визначається параметрами тільки пасивної частини схеми:

$$K_{ui} = -R_{\text{зз}}/R1 \quad (13.3)$$

Вибір $R_{\text{зз}} = R1$, коли $K_{ui} = -1$, додає схемі рисунку 13.1 властивість інвертуючого повторювана напруги (інвертора сигналу). Оскільки $U_0 \rightarrow 0$, вхідний опір схеми $R_{\text{вх}} = R1$. Вихідний опір підсилювача при $K_u \rightarrow \infty$ близький до нуля.

13.1.2 Неінвертуючий підсилювач

Неінвертуючий підсилювач (рисунок 13.2) містить послідовний від'ємний зворотній зв'язок по напрузі, поданий по інвертуючому вході; вхідний сигнал подається на неінвертуючий вхід ОП.

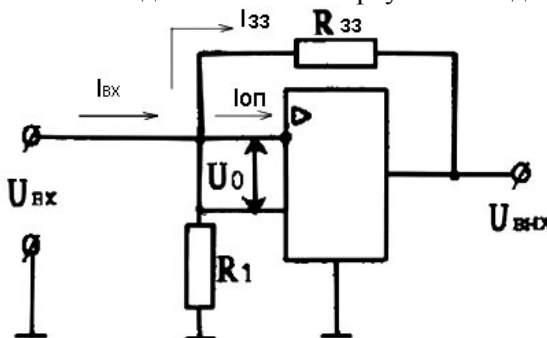


Рисунок 13.2-Схема неінвертуючого підсилювача

У силу рівності нулю напруги між входами ОП ($U_0 = 0$) вхідна напруга схеми зв'язана з вихідною напругою співвідношенням:

$$U_{\hat{A}\hat{E}\hat{O}} = \frac{R_{\hat{A}\hat{E}\hat{O}} (1 + R_{\hat{C}\hat{C}} / R_1)}{\hat{E}_{u\hat{r}}} \quad (14.4)$$

$$U_{\hat{A}\hat{E}\hat{O}} = U_{\hat{A}\hat{O}} \frac{R_1}{R_1 + R_{\hat{C}\hat{C}}} \quad (14.5)$$

де коефіцієнт підсилення неінвертуючого підсилювача

$$K_{\text{УН}} = 1 + R_{33}/R_i \quad (14.6)$$

При $R_{33} = 0$ і $R_1 = \infty$ переходимо до схеми повторювача (рисунок 13.3) з $K_u = 1$.

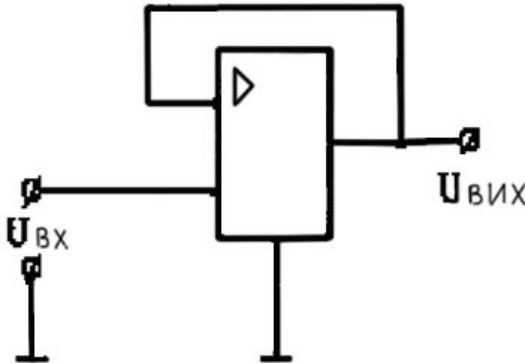


Рисунок 13.3 – Схема повторювача

Вхідний опір неінвертуючого підсилювача $R_{\text{вх}}$, рівний вхідному опору ОП по неінвертуючому вході, великий; вихідний опір по 13.4 (при $K_{\text{уоп}} = \infty$ він наближається до нуля).

Неінвертуючий і інвертуючий підсилювачі широко використовують як високо стабільні підсилювачі різного призначення.

13.2 Завдання

13.2.1 Дослідження інвертуючого підсилювача

Для дослідження роботи інвертуючого підсилювача встановити і закріпити на лицьовій панелі стенда ЗС23 накладну панель з зображенням інвертуючого підсилювача (панель 1.3). Натиснути кнопку з індексом "ИУ" перемикача вибору виду досліджуваної схеми у функціональній зоні I.

Натиснувши кнопку " ~ " перемикача "Вх1" джерела сигналу,

подати постійну регульовану напругу на відповідний вхід підсилювача. Для установки джерела сигналу натиснути кнопку «Ист1».

Обертаючи ручку відповідного потенціометра (у лівому верхньому куту) змінювати вхідну напругу $U_{вх}$ на підсилювачі і фіксувати вихідну напругу $U_{вих}$ вольтметром, розташованим у правому верхньому куту стенда. Відповідні індикаторні лампи світіння вказують полярність напруги, яка вимірюється.

Перемикачем ВІ в зоні І змінювати коефіцієнт передачі підсилювача. Результати оформлюються у виді таблиці:

Таблиця 13.1

№ п/п	К = 1		К = 10	
	$U_{вх}, В$	$U_{вих}, В$	$U_{вх}, В$	$U_{вих}, В$
1	-3		-1	
2	-2		-0.7	
3	-1		-0.4	
4	0		0	
5	1		+0.4	
6	2		+0.7	
7	3		+1	

За даними таблиці побудувати графіки залежності $U_{вх} = f(U_{вих})$ при різних коефіцієнтах передачі

На вхід операційного підсилювача, при натисканні кнопки "~" перемикача джерела сигналу, подати змінну напругу. На гніздах, розташованих у функціональній зоні І, проконтролювати вхідну і вихідну напругу за допомогою осцилографа.

Змінюючи коефіцієнти передачі побудувати часові характеристики $U_{вх}(t)$ і $U_{вих}(t)$.

13.2.2 Дослідження неінвертуючого підсилювача

Для дослідження неінвертуючого підсилювача необхідно встановити і закріпити на лицьовій панелі стенда ЗС23 накладну панель з зображенням неінвертуючого підсилювача (панель 1.2).

Натиснути кнопку з індексом* *НУ" перемикача вибору виду досліджуваної схеми у функціональній зоні І.

Натиснувши кнопку " — " перемикача "Вх2" джерела сигналу, подати постійну регульовану напругу на відповідний вхід підсилювача. Для встановки джерела сигналу натиснути кнопку "Ист2".

Обертаючи ручку відповідного потенціометра (у лівому верхньому куту)» змінювати вхідну напругу $U_{вх}$ на підсилювачі і фіксувати вихідну напругу $U_{вих}$ вольтметром, розташованим у правому верхньому куту стенда. Відповідні індикаторні лампи світіння вказують полярність напруги, яка вимірюється.

Перемикачем ВІ в зоні І змінювати коефіцієнт передачі підсилювача.

Результати оформлюються у виді таблиці:

Таблиця 13.2

п/п	К = 1		К = 10	
	вх, В	U _{вих} , В	U _{вх} , В	U _{вих} , В
1	-3		-1	
2	-2		-0.7	
3	-1		-0.4	
4	0		0	
5	1		+0.4	
6	2		+0.7	
7	3		+1	

Заданими таблиці побудувати графіки залежності $U_{вх} = f(U_{вих})$ при різних коефіцієнтах передачі

На вхід операційного підсилювача, при натисканні кнопки "~" перемикача джерела сигналу, подати змінну напругу. На гніздах, розташованих у функціональній зоні I, проконтролювати вхідну і вихідну напругу за допомогою осцилографа.

Змінюючи коефіцієнти передачі побудувати часові характеристики $U_{вх}(t)$ і $U_{вих}(t)$.

13.3 Контрольні запитання

1 Вивести формулу коефіцієнта підсилення інвертуючого підсилювача.

2 Вивести формулу коефіцієнта підсилення неінвертуючого підсилювача.

3 Який вхідний опір інвертуючого підсилювача?

4 Який вхідний опір неінвертуючого підсилювача?

5 Який вихідний опір інвертуючого підсилювача?

6 Який вихідний опір неінвертуючого підсилювача?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №14

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ІНТЕГРАТОРА І МОЖЛИВОСТІ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

Мета роботи – Вивчити пристрій і принцип роботи інтегратора, способи його застосування.

14.1 Інтегратор, що інвертує

На основі операційних підсилювачів можна будувати майже ідеальні інтегратори. На рисунку 14.1 показана така схема інтегратора, що інвертує. У зв'язку з тим, що вхід, що інвертує, має потенційне заземлення, вихідна напруга визначається в таким способом:

$$-C \cdot \frac{dU_{вих}}{dt} = \frac{U_{вх}}{R}$$

$$U_{вих} = -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^t U_{вх} dt + U_{вих 0}$$
(14.1)

де $U_{вих 0}$ - вихідна напруга при $t = 0$.

Відлік часу ведуть із моменту надходження вхідного сигналу, як правило при $t = 0$ $U_{вх} = 0$ і $U_{вих} = 0$. У зв'язку з зазначеним вираз (15.1) набуває вигляду:

$$U_{вих} = -\frac{1}{\tau} \cdot \int_0^t U_{вх} dt$$
(14.2)

де $\tau = RC$ - постійна інтегрування.

При $\tau = RC = 1 \text{ с}^{-1}$ (наприклад, $R = 1 \text{ МОм}$ і $C = 1 \text{ мкФ}$) інтегрування здійснюється в реальному масштабі часу. При інших співвідношеннях R і C масштаб інтегрування може бути іншим. Так, при $R = 1 \text{ МОм}$ і

$C = 0,1 \text{ мкФ}$ $\tau = 0,1 \text{ с}^{-1}$ і масштаб інтегрування в часу складає 10.

Масштаб інтегрування вибирають з урахуванням параметрів

вхідних сигналів, щоб до кінця проведення цієї операції вихідна напруга підсилювача не досягла меж $U_{\text{вих max}}^+$ або $U_{\text{вих max}}^-$ супротивному випадку інтегрування буде виконано невірно. Зазначене ілюструє рисунок 14.2, де вхідний сигнал поданий у вигляді одиничного стрибка напруги, а вихідна напруга інтегратора при неправильному виборі постійної інтегрування показана пунктиром.

Безумовно, вхідним сигналом може бути і струм, у цьому випадку резистор R не потрібний. У поданій схемі є один недолік, зв'язаний із тим, що вихідна напруга має тенденцію до дрейфу, обумовлена зрушеннями ОП і струмом зсуву.

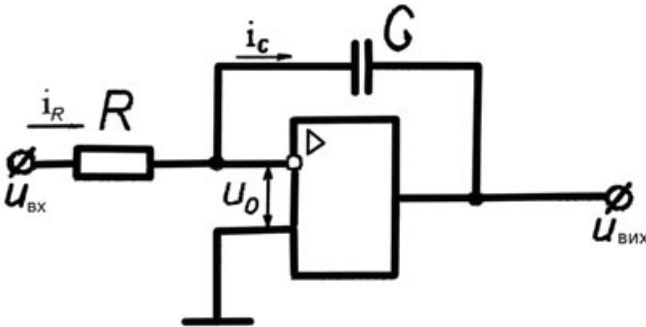


Рисунок 14.1- Інтегруючий інвертор

Це небажане явище можна послабити, якщо використовувати ОП на польових транзисторах, відрегулювати вхідну напругу зрушення ОП і вибрати великі розміри для R і C . Крім того, на практиці часто застосовують періодичне скидання у нуль інтегратора за допомогою підімкненого до конденсатора перемикача (звичайно на польовому транзисторі), тому відіграє роль тільки короточасний дрейф.

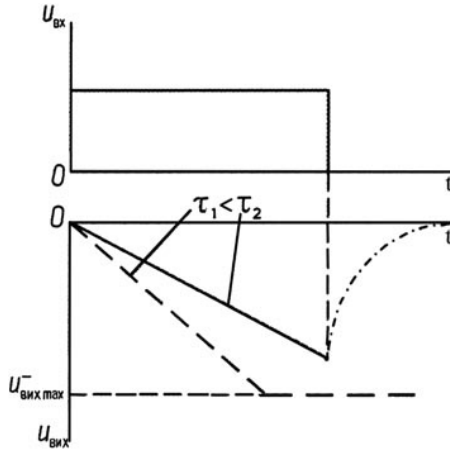


Рисунок 14.2 - тимчасові діаграми, що ілюструють характер зміни вихідної напруги при наявності одиничного стрибка напруги на вході

14.2 Неінвертуючий інтегратор

Для інтегрування без зміни знака до розглянутого вище інтегратору можна додати підсилювач, що інвертує. Схема другого варіанта інтегратора, що не інвертує, показана на рис. 14.3. Схема складається з простого RC - фільтра нижніх частот, що використовує її інтегруюче коло, і ввімкнено паралельно йому перетворювач з внутрішнім негативним опором рівним - R. Для визначення вихідної напруги скористаємося правилом вузлів для Р - входу операційного підсилювача:

$$\frac{U_{вих} - V_p}{R} + \frac{U_{вх} - V_p}{R} - C \left(\frac{dV_p}{dt} \right) \quad (14.3)$$

Якщо $V_p = V_N = \frac{1}{2} U$ тоді в результаті одержимо:

$$U_{вих} = \frac{2}{RC} \cdot \int_0^t U_{вх}(t) dt \quad (14.4)$$

Варто взяти до уваги, що джерело вхідної напруги повинно мати дуже низький внутрішній опір, щоб не порушувати режиму роботи перетворювача з негативним опором.

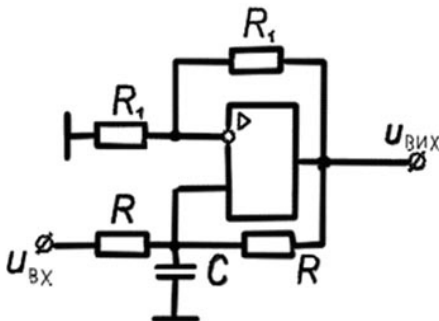


Рисунок 14.3 - Неінвертуючий інтегратор

$$U_{вих} = \frac{2}{RC} \cdot \int_0^t U_{вх}(t) dt + U_{вих0}$$

При компенсації втрат за допомогою такого перетворювача використовуються точності великих величин. Тому ця схема не забезпечує таку ж точність, як інтегратор на рисунку 14.1.

Інтегратор широко використовують при побудові аналогових обчислювальних і моделюючих пристроїв. На його основі виконують генератори напруги, що лінійно змінюється.

14.3 Генератор трикутних імпульсів на основі інтегратора

При входному імпульсі напруги позитивної полярності на виході такого генератора на базі схеми рисунок 14.1 (рисунок 14.3) створюється лінійно зростаюча напруга негативної (позитивної) полярності або позитивної при керуванні імпульсом напруги негативної (позитивної) полярності. Процес подальшого зменшення вихідної напруги до нуля штрихпунктир на рисунку 15.2) обумовлюється розрядом конденсатора з сталої часу $\tau = C(R + \text{виходу})$. Для зменшення часу розряду до нуля розряд конденсатора часто здійснюють через транзисторний ключ, що вмикається паралельно йому.

Таким чином для одержання трикутного імпульсу необхідно перед генератором поставити генератор прямокутного імпульсу (рисунок 14.4).

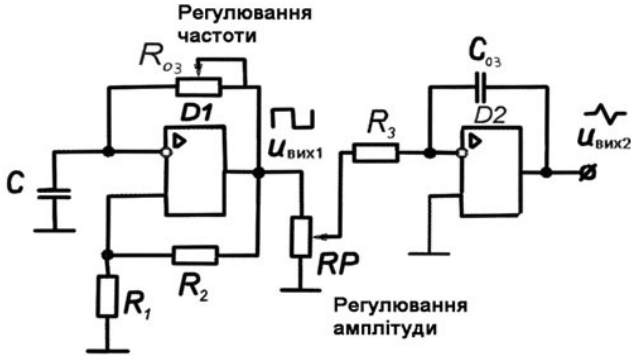


Рисунок 14.4 - Одержання трикутного імпульсу

Напруга на виході інтегратора:

$$U_{вих2} = \frac{2}{R_3 C_{oc}} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} U_m(t) dt + U_{co}$$

$$\text{де } U_m = U_{m1} \cdot K_{RP}$$

K_{RP} - коефіцієнт передавання потенціометра RP ($0 < K_{RP} > 1$).

U_{m1} - напруга позитивного (негативного) насичення ОУ $D1$.

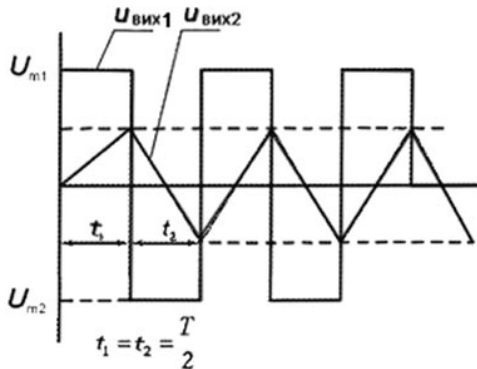


Рисунок 14.5 - Характер зміни напруги в генераторі трикутних імпульсів

14.4 Завдання

Дослідження інтегратора.

У шухляді з написом «ЭС23» знайти накладну панель №5.2 із зображенням інтегратора, за допомогою гвинтів закріпити її на лицьовій панелі стенда.

Підключити шнур живлення до мережі змінного струму, тумблери «Сеть» включити стенд, при цьому займеться сигнальна лампочка.

Установити час інтегрування рівний 20 секунд, для цього у функціональній зоні 5 (справа вгорі, під вольтметром) натиснути спонку «20 СЕК.» перемикача S1.

Натиснути кнопку «C1» перемикача S2, розташованого у тому ж місці для встановлення першої сталої інтегрування.

Ресструючи одночасно показання секундоміра і вольтметра «Увих», заповнити відповідні стовпці у таблиці 14.1 (10-15 величин виміру), за цими даними побудувати характеристику інтегрування:

$$U_{вихC1} = f(t_1)$$

Можна спостерігати зміну напруги на виході інтегратора, для цього необхідно підключити осцилограф до гнізда 2, розташованого у функціональній зоні 5 і поставити "вольт/дел"=2.

Таблиця 14.1- Таблиця характеристики інтегрування.

Час інтегрування 20 с t(1)			Час інтегрування 40 с t(2)		
Час,с	коэф. інтегр. C1	коэф. інтегр. C2	Час	коэф. інтегр. C1	коэф. інтегр. C2

За допомогою перемикача S2 установити другий коефіцієнт інтегрування, натиснувши «C2».

Ресструючи одночасно показання секундоміра і вольтметра

"U_{вих}", заповнити відповідні стовпці в таблиці 14.1, по цим даним побудувати характеристику інтегрування в області побудови $U_{вихC1} = f(t_1)$

$$U_{вихC2} = f(t_1)$$

Установити час інтегрування рівний 40 секунд, для цього у функціональній зоні 5 натиснути кнопку «40 СЕК.» перемикача S1.

Натиснути кнопку «C1» перемикача S2, розташованого у тому ж місці, для установки першої сталої інтегрування.

Реєструючи одночасно показання секундоміра і вольтметра «U_{вих}» (виміри проводити, поки вистачає шкала вольтметра), заповнити відповідні стовпці в таблиці 1, по цим даним побудувати характеристику інтегрування:

$$U_{вихC1} = f(t_2)$$

За допомогою осцилографа на гнізді 2, розташованого у функціональній зоні 5, можна спостерігати зміну напруги на виході інтегратора (поставити "вольт/дел"=2).

За допомогою перемикача S2 установити другу сталу інтегрування, натиснувши «C2».

$$U_{вихC1} = f(t_1)$$

Реєструючи одночасно показання секундоміра і вольтметра «U_{вих}», заповнити відповідні стовпці в таблиці 1, за цими даними побудувати характеристику інтегрування в області побудови $U_{вихC1} = f(t_2)$:

$$U_{вихC2} = f(t_2)$$

Генератор трикутних імпульсів на основі інтегратора

У функціональній зоні 5 натиснути кнопку з зображенням трикутних імпульсів перемикача S1.

За допомогою осцилографа на гніздах, розташованих у цій зоні, спостерігати і замалювати зміну вхідної (гніздо 1) і вихідної (гніздо 2) напруги.

Проаналізувати усі графіки і рисунки, зробити висновки.

14.5 Контрольні питання

1. Як впливає стала часу інтегрування на точність роботи генератора.
2. Які ще фактори впливають на точність інтегрування.
3. Пояснить принцип роботи генератора трикутних імпульсів.
4. Чому при зміні R_{02} змінюється частота імпульсів, що генеруються.
5. Чому при зміні RP змінюється амплітуда імпульсів, що генеруються.
6. Як впливає один на одного регулювання R_{02} і RP .
7. На вхід інтегратора подана лінійно зростаюча напруга. Яка буде форма вихідної напруги інтегратора.
8. На вхід інтегратора подана синусоїдальна напруга. Яка буде форма вихідної напруги інтегратора.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №15

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИНЦИПУ РОБОТИ ІНТЕГРАТОРА І МОЖЛИВОСТІ ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

Мета роботи – Вивчити пристрій і принцип роботи інтегратора, способи його застосування.

15.1 Інтегратор, що інвертує

На основі операційних підсилювачів можна будувати майже ідеальні інтегратори. На рисунку 14.1 показана така схема інтегратора, що інвертує. У зв'язку з тим, що вхід, що інвертує, має потенційне заземлення, вихідна напруга визначається в таким способом:

$$-C \cdot \frac{dU_{вих}}{dt} = \frac{U_{вх}}{R}$$

$$U_{вих} = -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^t U_{вх} dt + U_{вих 0} \quad (15.1)$$

де $U_{вих 0}$ - вихідна напруга при $t = 0$.

Відлік часу ведуть із моменту надходження вхідного сигналу, як правило при $t = 0$ $U_{вх} = 0$ і $U_{вих} = 0$. У зв'язку з зазначеним вираз (15.1) набуває вигляду:

$$U_{вих} = -\frac{1}{\tau} \cdot \int_0^t U_{вх} dt \quad (15.2)$$

де $\tau = RC$ - постійна інтегрування.

При $\tau = RC = 1 \text{ с}^{-1}$ (наприклад, $R = 1 \text{ МОм}$ і $C = 1 \text{ мкФ}$) інтегрування здійснюється в реальному масштабі часу. При інших співвідношеннях R і C масштаб інтегрування може бути іншим. Так, при $R = 1 \text{ МОм}$ і

$C = 0,1 \text{ мкФ}$ $\tau = 0,1 \text{ с}^{-1}$ і масштаб інтегрування в часу складає 10.

Масштаб інтегрування вибирають з урахуванням параметрів

вхідних сигналів, щоб до кінця проведення цієї операції вихідна напруга підсилювача не досягла меж $U_{\text{вих max}}^+$ або $U_{\text{вих max}}^-$ супротивному випадку інтегрування буде виконано невірно. Зазначене ілюструє рисунок 15.2, де вхідний сигнал поданий у вигляді одиничного стрибка напруги, а вихідна напруга інтегратора при неправильному виборі постійної інтегрування показана пунктиром.

Безумовно, вхідним сигналом може бути і струм, у цьому випадку резистор R не потрібний. У поданій схемі є один недолік, зв'язаний із тим, що вихідна напруга має тенденцію до дрейфу, обумовлена зрушеннями ОП і струмом зсуву.

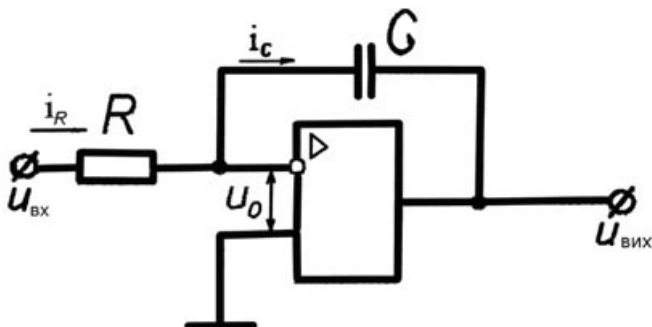


Рисунок 15.1- Інтегруючий інвертор

Це небажане явище можна послабити, якщо використовувати ОП на польових транзисторах, відрегулювати вхідну напругу зрушення ОП і вибрати великі розміри для R і C . Крім того, на практиці часто застосовують періодичне скидання у нуль інтегратора за допомогою підімкненого до конденсатора перемикача (звичайно на польовому транзисторі), тому відіграє роль тільки короткочасний дрейф.

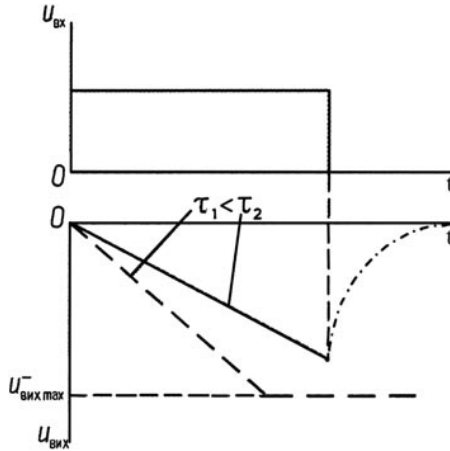


Рисунок 15.2 - Тимчасові діаграми, що ілюструють характер зміни вихідної напруги при наявності одиничного стрибка напруги на вході

15.2 Неінвертуючий інтегратор

Для інтегрування без зміни знака до розглянутого вище інтегратору можна додати підсилювач, що інвертує. Схема другого варіанта інтегратора, що не інвертує, показана на рис. 15.3. Схема складається з простого RC - фільтра нижніх частот, що використовує її інтегруюче коло, і ввімкнено паралельно йому перетворювач з внутрішнім негативним опором рівним - R. Для визначення вихідної напруги скористаємося правилом вузлів для Р - входу операційного підсилювача:

$$\frac{U_{вих} - V_p}{R} + \frac{U_{вх} - V_p}{R} - C \left(\frac{dV_p}{dt} \right) \quad (15.3)$$

Якщо $V_p = V_N = \frac{1}{2} U$ тоді в результаті одержимо:

$$U_{вих} = \frac{2}{RC} \cdot \int_0^t U_{вх}(t) dt \quad (15.4)$$

Варто взяти до уваги, що джерело вхідної напруги повинно мати дуже низький внутрішній опір, щоб не порушувати режиму роботи перетворювача з негативним опором.

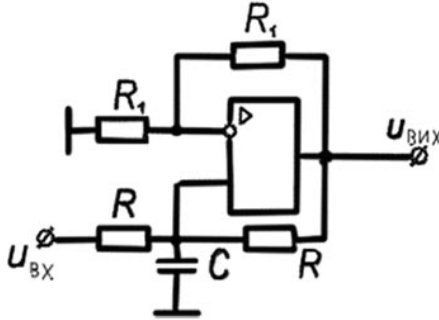


Рисунок 15.3 - Неінвертуючий інтегратор

$$U_{вих} = \frac{2}{RC} \cdot \int_0^t U_{вх}(t) dt + U_{вих0}$$

При компенсації втрат за допомогою такого перетворювача використовуються точності великих величин. Тому ця схема не забезпечує такої ж точності, як інтегратор на рисунку 15.1.

Інтегратор широко використовують при побудові аналогових обчислювальних і моделюючих пристроїв. На його основі виконують генератори напруги, що лінійно змінюється.

15.3 Генератор трикутних імпульсів на основі інтегратора

При входному імпульсі напруги позитивної полярності на виході такого генератора на базі схеми рисунок 15.1 (рисунок 15.3) створюється лінійно зростаюча напруга негативної (позитивної) полярності або позитивної при керуванні імпульсом напруги негативної (позитивної) полярності. Процес подальшого зменшення вихідної напруги до нуля штрихпунктир на рисунку 15.2) обумовлюється розрядом конденсатора з сталої часу $\tau = C(R + \text{виходу})$. Для зменшення часу розряду до нуля розряд конденсатора часто здійснюють через транзисторний ключ, що вмикається паралельно йому.

Таким чином для одержання трикутного імпульсу необхідно перед генератором поставити генератор прямокутного імпульсу (рисунку 15.4).

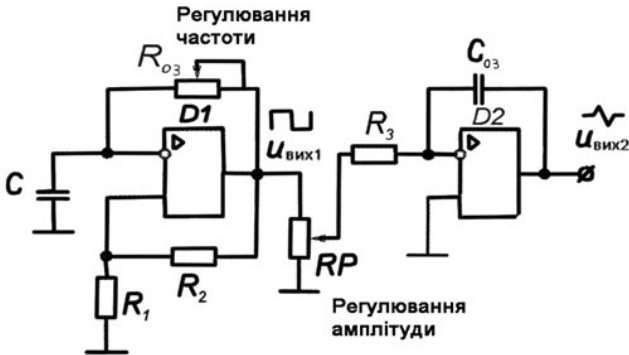


Рисунок 15.4 - Одержання трикутного імпульсу

Напруга на виході інтегратора:

$$U_{вих2} = \frac{2}{R_3 C_{oc}} \cdot \int_0^{\frac{T}{2}} U_m(t) dt + U_{co}$$

$$\text{де } U_m = U_{m1} \cdot K_{RP}$$

K_{RP} - коефіцієнт передавання потенціометра RP ($0 < K_{RP} > 1$).

U_{m1} - напруга позитивного (негативного) насичення ОУ $D1$.

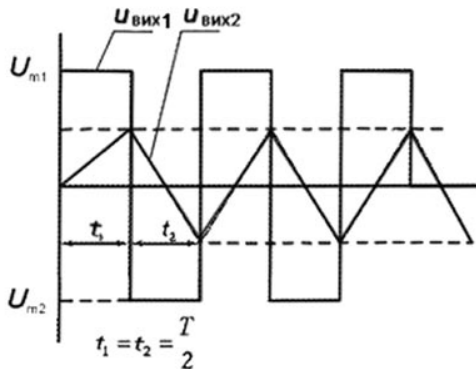


Рисунок 15.5 - Характер зміни напруги в генераторі трикутних імпульсів

15.4 Завдання

Дослідження інтегратора.

У шухляді з написом «ЭС23» знайти накладну панель №5.2 із зображенням інтегратора, за допомогою гвинтів закріпити її на лицьовій панелі стенда.

Підключити шнур живлення до мережі змінного струму, тумблерою «Сеть» включити стенд, при цьому займеться сигнальна лампочка.

Установити час інтегрування рівний 20 секунд, для цього у функціональній зоні 5 (справа вгорі, під вольтметром) натиснути снопку «20 СЕК.» перемикача S1.

Натиснути кнопку «C1» перемикача S2, розташованого у тому ж місці для встановлення першої сталої інтегрування.

Реєструючи одночасно показання секундоміра і вольтметра «Увих», заповнити відповідні стовпці у таблиці 15.1 (10-15 величин виміру), за цими даними побудувати характеристику інтегрування:

$$U_{вихC1} = f(t_1)$$

Можна спостерігати зміну напруги на виході інтегратора, для цього необхідно підключити осцилограф до гнізда 2, розташованого у функціональній зоні 5 і поставити "вольт/дел"=2.

Таблиця 15.1- Таблиця характеристики інтегрування.

Час інтегрування 20 с t(1)			Час інтегрування 40 с (t2)		
Час,с	коэф. інтегр. C1	коэф. інтегр. C2	Час	коэф. інтегр. C1	коэф. інтегр. C2

За допомогою перемикача S2 установити другий коефіцієнт інтегрування, натиснувши «C2».

Реєструючи одночасно показання секундоміра і вольтметра "Увих", заповнити відповідні стовпці в таблиці 15.1, по цим даним

побудувати характеристику інтегрування в області побудови $U_{\text{вихC1}} = f(t_1)$

$$U_{\text{вихC2}} = f(t_1)$$

Установити час інтегрування рівний 40 секунд, для цього у функціональній зоні 5 натиснути кнопку «40 СЕК.» перемикача S1.

Натиснути кнопку «C1» перемикача S2, розташованого у тому ж місці, для установки першої сталої інтегрування.

Реєструючи одночасно показання секундоміра і вольтметра «Uвих» (виміри проводити, поки вистачає шкала вольтметра), заповнити відповідні стовпці в таблиці 1, по цим даним побудувати характеристику інтегрування:

$$U_{\text{вихC1}} = f(t_2)$$

За допомогою осцилографа на гнізді 2, розташованого у функціональній зоні 5, можна спостерігати зміну напруги на виході інтегратора (поставити "вольт/дел"=2).

За допомогою перемикача S2 установити другу сталу інтегрування, натиснувши «C2».

$$U_{\text{вихC1}} = f(t_1)$$

Реєструючи одночасно показання секундоміра і вольтметра «Uвих», заповнити відповідні стовпці в таблиці 1, за цими даними побудувати характеристику інтегрування в області побудови $U_{\text{вихC1}} = f(t_2)$:

$$U_{\text{вихC2}} = f(t_2)$$

Генератор трикутних імпульсів на основі інтегратора

У функціональній зоні 5 натиснути кнопку з зображенням трикутних імпульсів перемикача S1.

За допомогою осцилографа на гніздах, розташованих у цій зоні, спостерігати і замалювати зміну вхідної (гніздо 1) і вихідної (гніздо 2) напруги.

Проаналізувати усі графіки і рисунки, зробити висновки.

15.5 Контрольні питання

1. Як впливає стала часу інтегрування на точність роботи генератора.
2. Які ще фактори впливають на точність інтегрування.
3. Пояснить принцип роботи генератора трикутних імпульсів.
4. Чому при зміні R_{02} змінюється частота імпульсів, що генеруються.
5. Чому при зміні RP змінюється амплітуда імпульсів, що генеруються.
6. Як впливає один на одного регулювання R_{02} і RP .
7. На вхід інтегратора подана лінійно зростаюча напруга. Яка буде форма вихідної напруги інтегратора.
8. На вхід інтегратора подана синусоїдальна напруга. Яка буде форма вихідної напруги інтегратора.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

Основна

1. Колонтаєвський Ю.П., Сосков А.Г. Промислова електроніка: теорія і практикум – К.: Каравела 2017 р.
2. Руденко В.С., Ромашков В.Я., Трифанюк В.В. Промислова Електроніка. – Київ: Либідь, 1993 г.
3. Забродин Ю.С. Промышленная электроника. – М.:Высш..шк.,1982
4. Будіщев М.С. Електротехніка, електроніка та мікропроцесорна техніка. – Львів: Афіша,2001 г.
6. Прянишников В.А. Электроника. Курс лекций. – Санкт-Петербург: “Корона-принт”, 2000г.

Допоміжна

- 1.Сборник задач по электротехнике и основам электроники. /Под ред. В.Г.Герасимова. –М.: высш. шк.,1987 г.
2. Гусев В.Г., Гусев Ю.М. Электротехника. – М.: Высш.. шк., 1991
- 3.Морозов А.Г.Электротехника и электроника, И импульсная техника -М.:Высш. шк.,1987 г.
4. Гершунский Б.С., Справочник по расчету электронных схем. Киев Высш. шк. ,1983 г.
5. Данилов И.А., Иванов П.М. Общая электротехника с основами электроники. – М.: Высш. .шк., 2000 г.
- 6.Рекус Г.Г. , Белоусов А.И.Сборник задач по электротехнике и Основам электроники. – М.: Высш.шк.,1991 г.