

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки

(повне найменування факультету)

Кафедра \_\_\_\_\_ електронних апаратів \_\_\_\_\_

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня \_\_\_\_\_ магістр \_\_\_\_\_

(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальність 171 «Електроніка» \_\_\_\_\_

(шифр і назва напрямку підготовки)

на тему

**«ПРИСТРІЙ ДЛЯ КЕРУВАННЯ СИЛОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ»**

Виконав: студент групи ЕЛ-

22дм \_\_\_\_\_

Р.С. Домніч

Керівник \_\_\_\_\_

Ж.Г. Самойлова

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_

Ю.Е. Паеранд

Рецензент \_\_\_\_\_

І.С. Тюндер

**СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ****імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ**

( повне найменування вищого навчального закладу )

Інститут, факультет, відділення інформаційних технологій та електронікиКафедра, циклова комісія Електронних апаратівОсвітньо-кваліфікаційний рівень магістрСпеціальність 171 «Електроніка»**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри ЕА

Ю.Е.Паеранд

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 року

***ЗАВДАННЯ***  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**  
**Домнічу Руслану Станіславовичу**1. Тема проекту: **Пристрій для керування силовим навантаженням**2. Керівник проекту: Самойлова Жанна Георгіївна, доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від 21.11.2023 р. № 52/14.043. Строк подання студентом проекту 21 листопада 2023 р.

4. Вихідні дані до проекту:

4.1. Виріб ЕА- пристрій для керування силовим навантаженням

4.2. Схема електрична принципова.

4.3. Температура навколишнього повітря від +15 до +50°C; відносна вологість повітря 75% при температурі 30 °С, атмосферний тиск від 84 до 107 кПа.

4.4. Напруга живлення – 30±0,25 В, струм – не більше 5,0 А.; тип виробництва – дрібносерійне багатонаменклатурне

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):

5.1. Вступ.

5.2. Конструкторсько-технологічний аналіз технічного завдання.

5.3. Створення конструкції пристрою.

5.4. Моделювання електричних параметрів мікросхеми

5.5. Загальні висновки по роботі

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Строк виконання етапів	Примітка
1	Вивчення літератури з теми проекту	15.10.23	
2	Формування напрямів і задач дослідження	18.10.23	
3	Визначення методів і принципів проведення дослідження	21.10.23	
4	Дослідження та модулювання об'єктів або процесів	1.11.23	
5	Аналіз та узагальнення отриманих результатів	8.11.23	
6	Формування розділів роботи	11.11.23	
7	Оформлення пояснювальної записки та презентації	21.11.23	

Студент \_\_\_\_\_

Домніч Р.С.

Керівник проекту \_\_\_\_\_

Самойлова Ж.Г.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:

78 сторінок , 42 рисунків, 27 таблиць, 27 джерел, мова - українська.

ТАЙМЕР, СЕНСОР, ЧАСТОТА, ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, РЕЗИСТОР, КОНДЕНСАТОР, ДІОД, ТРАНЗИСТОР, МІКРОСХЕМА, ДРУКОВАННИЙ ПРОВІДНИК, МОНТАЖНИЙ ОТВІР, КОНТАКТНА ПЛОЩАДКА, КОНСТРУКЦІЯ, ТРАСУВАННЯ

Об'єкт розробки – дослідження процесу розробки та моделювання пристрою для керування силовим навантаженням, топологічне проектування параметрів сенсорного таймеру

Мета роботи - дослідити процес розробки пристрою для керування силовим навантаженням, спроектувати топологію плати пристрою для керування силовим навантаженням на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання та промодельовати електричні параметри сенсорного таймеру.

Метод дослідження - теоретичний із застосуванням комп'ютерної техніки.

У дипломній роботі досліджені процеси розробки пристрою для керування силовим навантаженням, промодельовані електричні параметри та спроектована топологія плати пристрою для керування силовим навантаженням на основі схеми електричної принципової. Проведені конструктивні розрахунки, розрахунки по постійному та змінному струму. Проаналізовані та узагальнені отримані результати. При моделюванні електричних параметрів використовувалась програма **ELECTRONICS WORKBENCH 5\_12**.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1.АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	9
1.1.Аналіз призначення виробу.....	9
1.2. Огляд методів побудови аналогів проєктованого пристрою.....	9
1.3. Вибір і обґрунтування схеми електричної структурної. Опис принципу роботи.....	11
1.4. Вибір і обґрунтування схеми електричної принципової. Опис принципу роботи.....	12
1.5. Електричний розрахунок вузла.....	14
1.6. Вибір і обґрунтування елементної бази.....	15
2.РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ.....	33
2.1. Вибір конструкції друкованої плати.....	33
2.2. Конструктивно - технологічний розрахунок друкованої плати.....	36
3. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОСХЕМИ ПРИСТРОЮ КЕРУВАННЯ СИЛОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ.....	45
3.1.Логічні елементи.....	45
3.2. Найпростіші логічні елементи.....	46
3.3. Цифрові інтегральні мікросхеми.....	49
3.4. Основні характеристики та параметри ЛЕ.....	50
3.4.1. Динамічні параметри ЛЕ.....	53
3.4.2. Статичні параметри ЛЕ.....	55
3.5.Сімейства ІС.....	57
3.5.1. Сімейство ТТЛ-схем.....	57

3.5.2. ЛЕ на КМОП-транзисторах.....	60
3.6. Основні логічні елементи у програмі Electronics Workbench (EWB).....	62
3.7. Моделювання схем, що реалізують основні логічні функції.....	64
3.8.Моделювання мікросхеми CD4011 за допомогою програми Electronic Workbench.....	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	74
Додаток А.....	75
Додаток В .....	77

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

ЕРЕ - електрорадіоелемент;

ТЗ - технічне завдання;

ТУ - технічні умови;

НЕ - начіпний елемент;

ДП - друкована плата;

КПМ - компонент поверхневого монтажу;

ІМС- інтегральна мікросхема;

РЕА - радіоелектронна апаратура;

УГП - умовне графічне позначення;

ДДП-двостороння друкована плата.

## ВСТУП

В даний час у радіоелектроніці широке застосування знайшов клас пристроїв, що дозволяє здійснювати безкнопкове (сенсорне) керування навантаженням - лампами освітлення, різними машинами та механізмами.

До таких пристроїв можна віднести сенсорні вимикачі, схемно реалізовані на мікроконтролерах або дискретних елементах.

Як правило, такі пристрої у своїй конструкції містять сенсорні пристрої - металеві або металізовані пластини, при дотику до яких відбувається перемикання рівнів логічних напруг на входах порогових приймальних пристроїв, що дозволяє управляти потужним силовим навантаженням вихідного ланцюга.

Найбільш поширеними на сьогоднішній день є цифрові таймери, за своїм принципом дії аналогічні електронним годинникам. Завдяки використанню мікроконтролерів можна створити прилад з великою кількістю функцій та налаштувань. Певними недоліками електронних таймерів можна вважати залежність від наявності живлення (що легко дозволяється використанням акумулятора), а також складність налаштування та висока ціна.

Можливості електронного таймера є надзвичайно широкими. Таймери знаходять своє застосування як у повсякденному побуті, і у складних умовах промисловості. Економія електроенергії дуже важлива в умовах виробництва, і навіть у звичайних холодильниках, які ми бачимо у супермаркетах. Щоб заощаджувати електрику, використовується програмований таймер - він включає обладнання в чітко визначений час. Той самий принцип може використовуватися і щодо освітлювальних приладів чи рекламних щитів. Таким чином процес автоматизується, а зайві витрати – знижуються.

Метою даної дипломної роботи є розробка одного з економічних варіантів сенсорного таймеру із застосуванням вітчизняної елементної бази.



## 1. АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

### 1.1. Аналіз призначення виробу

Проектований сенсорний таймер дозволяє проводити дистанційне керування різним силовим та освітлювальним навантаженням.

Пристрій призначений для керування, в основному, побутовим навантаженням, але після доопрацювання вихідного вузла може бути застосований і для керування промисловим силовим навантаженням, наприклад, електродвигунами.

Відповідно до завдання, таймер призначений для роботи в нормальних умовах:

- вологість, %	50...75
- тиск, мм. рт. ст.	720...780
- температура, °C	20 ±5

забезпечуючи при цьому такі технічні характеристики:

напруга живлення, В	15
максимальний струм споживання, А	0,05

Таймер повинен бути сенсорний повинен бути зібраний на вітчизняній елементній базі і мати невеликі габарити, масу та енергоспоживання.

### 1.2. Огляд методів побудови аналогів проектного пристрою

Як аналог розроблюваного пристрою розглянута схема пристрою, опис якого наводиться в [2]

Схема аналога наведена на рисунку 1.1

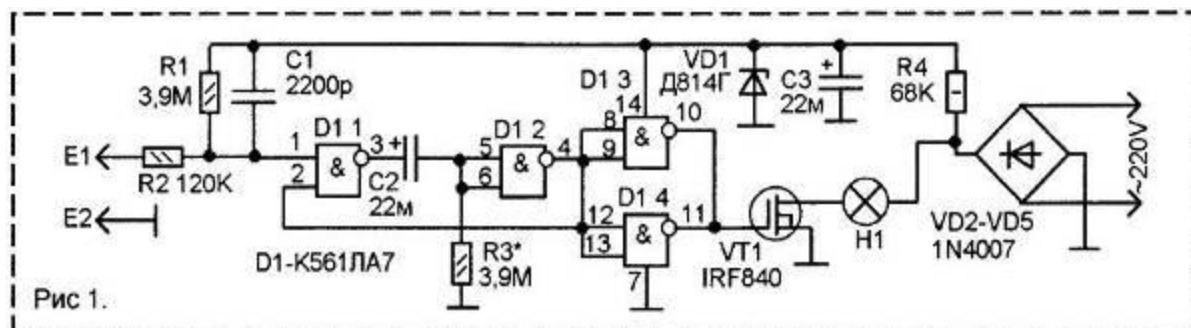


Рисунок 1.1 Схема сенсорного таймера

При дотику пальцем до пари сенсорних пластин вмикається світильник. А вимикається він через 1,5-2 хвилини після цього. Пара сенсорних пластин це E1 і E2 разом з резистором R1 і резистором R2 утворюють дільник напруги, що надходить на вивід 1 елемента D1.1

У вільному стані струм через R1 створює напругу високого логічного рівня на виводі 1 D1.1. При цьому на з'єднаних разом виходах D1 3 і D1.4 - логічний нуль. Польовий транзистор VT1 закритий і напруга на лампу H1 не надходить. При дотику пальцем до сенсорних пластин E1 і E2 до роботи дільника R1-R2-E1-E2 включається опір шкіри. У більшості людей воно суттєво нижче 3,9 МОм, тому напруга на виводі 1 D1.1 падає до логічного нуля. Можливий інший випадок, коли через руку на вхід D1.1 надходять наведення змінного струму. У цьому випадку на виводі 1 D1.1 будуть імпульси з частотою електромережі. Обидва випадки рівнозначні, так як і в тому випадку і в іншому виникає перепад напруги на виводі 1 D1.1 однобібратор на елементах D1.1-D1.2, що формує одиночний імпульс фіксованої тривалості. Тривалість цього імпульсу залежить від ланцюга C2R3. Імпульс негативний, тому він інвертується елементами D1.3 та D1.4. Ці елементи включені паралельно з метою збільшення потужності вихідного струму. Це необхідне подолання зарядного струму ємності затвора польового транзистора

VT1. Протягом тривалості імпульсу транзистор VT1 відкритий і на лампу Н1 надходить живлення від діодного мосту VD2-VD5.

Як тільки імпульс закінчується (C2 остаточно заряджається через R3) напруга на виходах D1.3-D1.4 падає і транзистор VT1 закривається.

Конденсатор C1 служить для автоматичного утримання схеми у вимкненому стані при подачі живлення.

Польовий транзистор IRF840 може працювати тільки на позитивній напрузі (при негативній напрузі він практично відкрит, тому що струм проходить через його внутрішній діод між стоком витоком. Тому щоб забезпечити включення та вимкнення лампи живлення на неї надходить не змінний, а постійний пульсуючий струм з виходу мостового випрямляча на діодах VD2-VD5.

До недоліків схеми слід віднести застосування в пристрої імпортої елементної бази, що подорожчає конструкцію і досить велика складність схеми.

### **1.3. Вибір і обґрунтування схеми електричної структурної. Опис принципу роботи**

Таймер складається з наступних функціонально зв'язаних блоків: елемента сенсорного, компаратора, вузла зарядно-розрядного, інтегруючого ланцюга, елемента зворотного зв'язку, буферного каскаду і ключа релейно-транзисторного.

Схема електрична структурна таймера, що розробляється, наведена на рисунку 1.2.

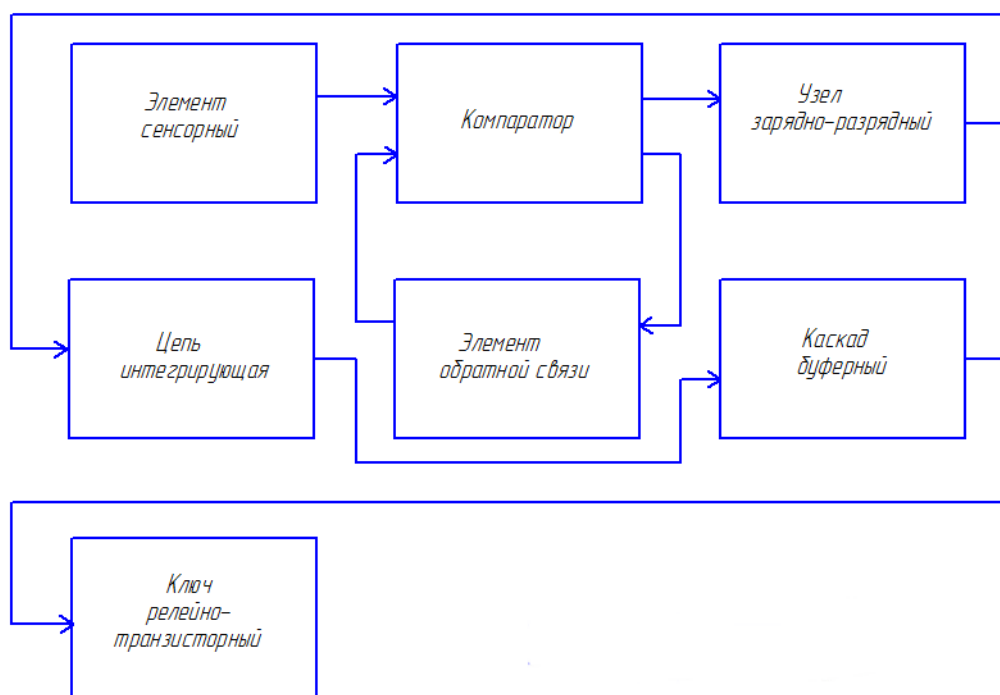


Рисунок 1.2. – Схема електрична структурна таймера.

При дотику до сенсорного елемента відбувається спрацювання компаратора, через який підключений зарядно-розрядний вузол. З цим вузлом безпосередньо пов'язан інтегруючий ланцюг, що керує роботою буферного каскаду. Буферний каскад керує роботою релейно-транзисторного ключа. Елемент зворотного зв'язку, підключений до компаратора, стабілізує його.

#### **1.4. Вибір і обґрунтування схеми електричної принципової. Опис принципу роботи**

На підставі схеми електричної структурної було складено схему електричну КП 5.050802013112301ЕЗ, наведену на рисунку 1.3.

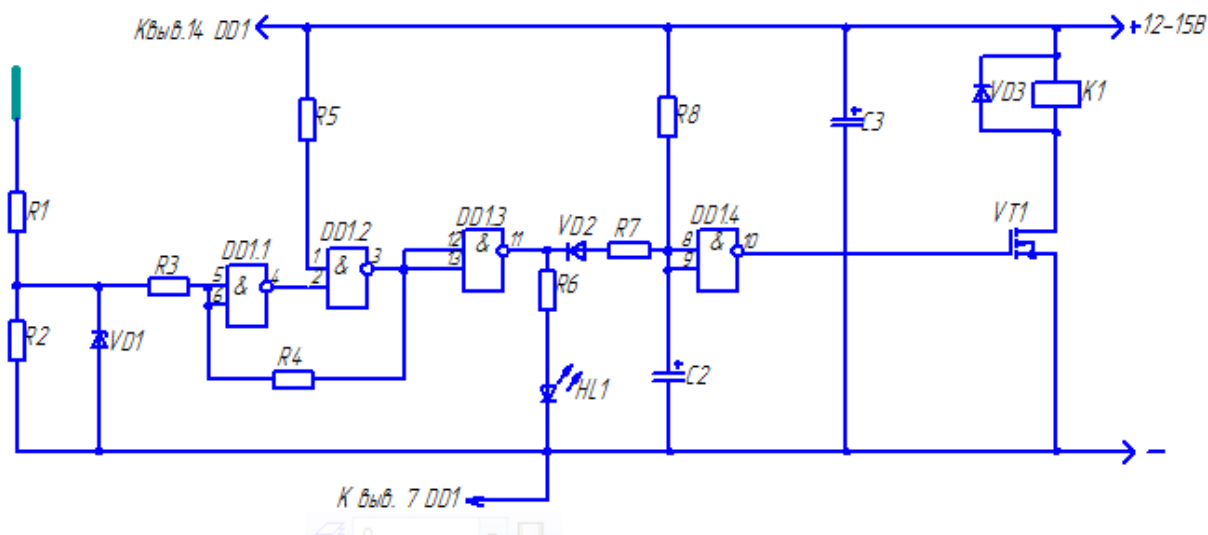


Рисунок 1.3 – Схема електрична принципова

На елементах DD1.1, DD1.2 зібрано компаратор напруги, на DD1.2, DD1.3 – одновібратор, елемент DD1.4 – буферний. Стабілітрон VD1 захищає входи елемента DD1.1, а резистор R9 обмежує вихідний струм елемента DD1.4. За допомогою резистора R4 реалізовано позитивний зворотний зв'язок у компараторі. Після подачі напруги живлення конденсатор C2 заряджається через резистор R7; і коли на виході елемента DD1.4 встановиться низький рівень, таймер перейде у стан готовності. На входах елемента DD1.1 низький рівень, тому на виході компаратора (вивод 3 DD1) також низький, а на виході одновібратора (вивод 11 DD1) високий, тому конденсатор C2 залишиться зарядженим, а C1 розрядженим. При цьому світлодіод HL1 світиться, сигналізуючи про готовність таймера.

При дотику до сенсорного елемента E1 змінна напруга надійде на вхід компаратора, він перемикається, що призведе до запуску одновібратора. На виході елемента DD1.3 встановиться низький рівень, світлодіод HL1 згасне. Через резистор R5 почнеться зарядка конденсатора C1, тривалість якої близько 0,04 с, а через резистор R8 і діод VD2 - швидка розрядка конденсатора C2 тривалістю менше вказаного часу. Тому на виході елемента DD1.4 встановиться високий рівень, який увімкне виконавчий пристрій.

Якщо сенсорного елемента не торкатися, компаратор, а потім і одновібратор повернуться у вихідний стан, світлодіод HL1 включиться і почнеться зарядка конденсатора C2 через резистор R7 до напруги перемикання елемента DD1.4, тривалість якої і визначає час витримки. Для зазначених схемою номіналів цих елементів тривалість витримки близько 25 с. Після цього на виході елемента DD1.4 встановиться низький рівень і виконавчий пристрій буде вимкнено. Цей таймер можна застосувати для включення освітлювальних приладів, наприклад, світлодіодних світильників або ламп розжарювання, що живляться від напруги 12В. Для цього буде потрібно польовий перемикач транзистор.

### 1.5. Електричний розрахунок вузла

Відповідно до технічного завдання, необхідно зробити розрахунок вузла одновібратора на елементах DD1.3, DD1.4 за тривалістю формованої ним тривалості витримки часу на перемикання схеми у вихідний стан. Схема вузла наведена на рисунку 1.4.

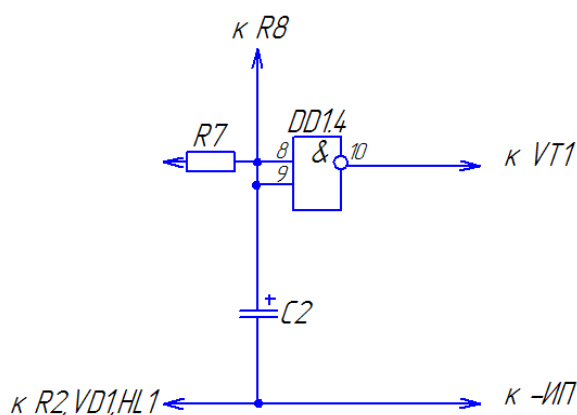


Рисунок 1.4. Схема вузла R7,C2

Основними елементами схеми, які забезпечують формування цієї витримки тривалістю до 25 секунд є елементи інтегруючого ланцюга R7C2.

Оскільки ланцюг є інтегруючим, то для розрахунку схеми задаємо постійну часу ланцюга  $\tau$  25с.

Виходячи з обраного значення, задамо значення опору резистора R7 5,6МОм. Тоді значення ємності конденсатора C2, Ф визначиться за формулою (1.1)

$$\tau = R \cdot C \quad (1.1)$$

$$C = \frac{\tau}{R} = \frac{25}{5600000} = 0,00000446$$

Приймається до встановлення електролітичний конденсатор за ГОСТ 4,7мкФ. Приймається до встановлення постійний резистор за ГОСТ 5,6 МОм.

## 1.6. Вибір і обґрунтування елементної бази

### Резистори

Резистори вибираються з вітчизняних металооксидних плівкових, що володіють прийнятними характеристиками для конструкції, що розробляється. Основні типи порівнюваних резисторів наведено в [3].

Порівняльні характеристики резисторів зводимо до таблиці 1.1

Таблиця 1.1. Основні параметри резисторів постійного опору

Тип	Межі номінальних опорів, Ом	Розсіювана потужність, Вт	Допустиме відхилення опору від номіналу, %	Максимальна напруга, В	Діапазон робочих температур, °С	
					від	до
C2-22	$2,4 \cdot 10^3 \dots 2,2 \cdot 10^5$	0,25	5;10;20	250	-40	+70
C2-23	$2,4 \cdot 10^3 \dots 3 \cdot 10^6$	0,25	1;2;5;10	250	-60	+155
C2-24	$2,7 \cdot 10^3 \dots 15 \cdot 10^6$	0,25	1;2;5;10	250	-60	+155

Для конструкції, що розробляється, вибираємо тип C2-23 як найбільш підходящий за параметрами.

### Резистори C2 - 23

Постійні металоплівкові (MFR) неізольовані

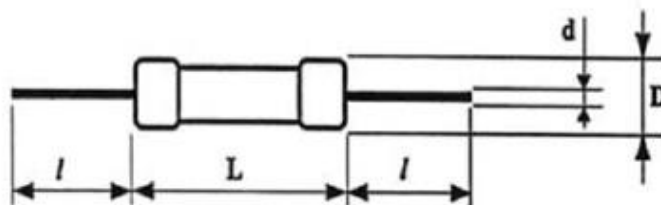


Рисунок 1.5. Резистори C2 - 23

Таблиця 1.2. Розміри резистора C2 - 23

Тип резистора	Розміри, мм				Маса, г, не більше
	L	D	d	l	
C2 - 23-0,125	6,0	2,2	$0,5 \pm 0,06$	$20 \pm 0,3$	0,15
C2 - 23-0,25	7,0	3,0	$0,6 \pm 0,06$	$20 \pm 0,3$	0,25



C2 – 23-0,5	10,8	4,2	0,8±0,06	20±0,3	1,0
-------------	------	-----	----------	--------	-----

Таблиця 1.3. Основні технічні характеристики

Вид резисторів	Номінальна потужність розсіювання $P_{\text{ном}}$ , Вт	Межі номінального опору $R_{\text{ном}}$ , Ом	Гранична номінальна напруга постійного струму, або змінного струму $V_{\text{эф}}$ , при атмосферному тиску Па	
			4400 і вище	Нижче 4400
C2 – 23-0,125	0,125	Від 1 до $3,01 \cdot 10^6$	200	150
C2 – 23-0,25	0,25	Від 1 до $5,11 \cdot 10^6$	250	200
C2 – 23-0,5	0,5	Від 1 до $5,11 \cdot 10^6$	350	300

Зміна опору резисторів протягом напрацювання в межах часу, що дорівнює терміну збереження, має бути не більше:  $\pm 1\%$  для резисторів C2-23-0,125; C2-23-0,25 з номінальним опір понад 10 Ом до 1 МОм з відхиленням ( $\pm 0.5$ ;  $\pm 1.0$ )%;  $\pm 2,0\%$  або  $\pm 0,1$  Ом залежно від того, яке із значень більше для інших резисторів.

### Конденсатори

Конденсатори постійної ємності вибираємо з-поміж типів:

КМ-6, КТ та К10-17. Порівняльні параметри конденсаторів наведено у таблиці 1.4

Таблиця 1.4. Основні параметри конденсаторів

Тип	Межі ємності, пФ	Допустиме відхилення, %	Номінальна напруга, В	ТКС	Інтервал температур, °С
K10-17	15...68·10 <sup>3</sup>	5...20	750	H70	-60...+85
КМ-6	120...22·10 <sup>5</sup>	5...20	250	H30	-60...+85
КТ	1...47·10 <sup>2</sup>	2...20	500	H70	-60...+85

Вибираються конденсатори K10-17.

### Конденсатор K10-17

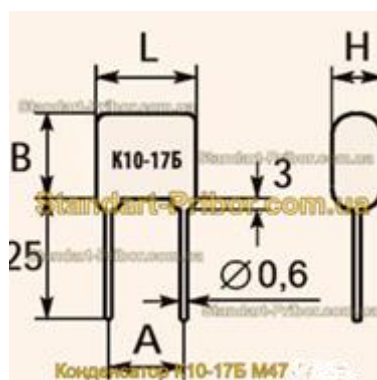


Рисунок 1.6. Конденсатор K10-17

Конденсатори K10-17Б монолітні керамічні постійної ємності універсального призначення. Ізольовані, заляльковані, з односпрямованими виводами. Призначені для роботи в ланцюгах постійного та змінного струму та в імпульсних режимах. Виконання всекліматичне (В) допускають роботу в умовах підвищеної вологості без додаткового захисту. Виготовляється у водородостійкому (С) та неводородостійкому виконанні.

Основні технічні параметри конденсаторів K10-17Б:

- Діапазон номінальних ємностей ..... 2,2 пФ... 68 мФ;
- Номінальна напруга ..... 50; 100 В;
- Група з температурної стабільності ..... МП0; М47; М1500; Н20; Н50; Н90;

- Допустимі відхилення ємності .....  $\pm 5$ ;  $\pm 10$ ;  $\pm 20$ ;  $+50/-20$ ;  $+80/-20\%$ ;
- Тангенс кута втрат, не більше ..... 0,035;
- Опір ізоляції, не менше ..... 4000 МОм;
- Відносна вологість повітря за температури  $+35\text{ }^{\circ}\text{C}$  ..... 98%;
- Діапазон температур .....  $-60 \dots +125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Мінімальне напруження ..... 15000 годин;
- Термін збереження ..... 25 років.

Основні параметри деяких типів електролітичних конденсаторів наведено у таблиці 1.5.

Таблиця 1.5. Основні параметри електролітичних конденсаторів

Тип	Межі номінальної ємності, мкФ	Допустиме відхилення ємності від номінальної, %	Номінальна робоча напруга, В
K50-7	20...500	от + 80 ... - 20	50...160
K50-16	2...5000	от + 80 ... - 20	6,3...100
K50-35	1...4700	от + 50 ... - 20	6,3...160

Вибирається тип електролітичного конденсатора K50-35, які за відповідних технічних параметрів мають менші габарити та вартість.

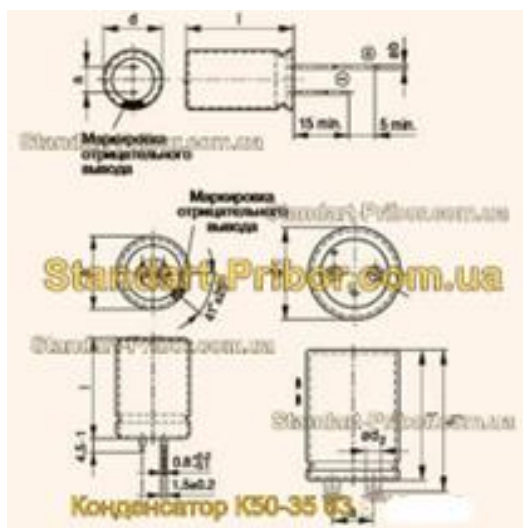


Рисунок 1.7. Конденсатор К50-35

Електричні конденсатори алюмінієві радіальні ізольовані полярні.

Виробляються у двох варіантах виконання:

- з односпрямованими дротяними висновками;
- з односпрямованими жорсткими пелюстковими висновками.

Призначені для роботи в ланцюгах постійного струму, що пульсує, і в імпульсному режимі.

Випускаються у кліматичному виконанні «УХЛ» для застосування у продукції загального призначення.

Основні технічні параметри конденсаторів К50-35:

- Номінальна ємність ..... 0,1 ... 82000 мкФ;
- Номінальна напруга ..... 6,3; 10; 16; 25; 35; 50; 63; 80; 100; 160; 200; 220; 250; 350; 400; 420; 450;
- Допустимі відхилення ємності .....  $\pm 20\%$ ;
- Тангенс кута втрат, не більше ..... 8 ... 65%;
- Струм витоку:

— для конденсаторів серії КМ на напругу 6,3-100 VDC, трохи більше .....  
0,01 CV або 3 мкА (що більше) при додатку номінальної напруги протягом 3  
хвилин;

— для конденсаторів серії КМ на напругу 160-450 VDC, трохи більше .....  
0,03 CV мкА;

- Для конденсаторів серії НР, не більше ..... 0,02 CV мкА;

- Інтервал робочих температур ..... -40 ... +105 ° С;

- Мінімальне напрацювання, не менше ..... 1000 годин.

## Діоди

Вибір діодів, що застосовуються в пристрої, проводиться серед імпульсних за максимально допустимим імпульсним струмом, прямої імпульсної напруги, максимально допустимої зворотної напруги і зворотного струму через діод.

Основні параметри деяких типів імпульсних діодів наведено у таблиці 1.6.

Таблиця 1.6. Основні параметри імпульсних діодів

Тип діода	Максимально допустимий імпульсний прямий струм, мА, при $\tau_n=10\text{мкс}$	Максимально допустимий постійний або середній прямий струм, мА	Максимально допустима імпульсна або постійна зворотна напруга, В	Максимальний зворотний струм мкА, при $U_{zv\ max}$
Д220А	500	50	3,75	50
Д310	800	250	2,5	20
Д311	500	40	1,25	30
КД503А	200	20	2,5	30

Вибираються діоди Д220А, як такі, що володіють оптимальним значенням максимально допустимого імпульсного прямого струму, максимально допустимого постійного або середнього прямого струму і достатнім значенням максимально допустимої імпульсної напруги.

### Діод Д220А

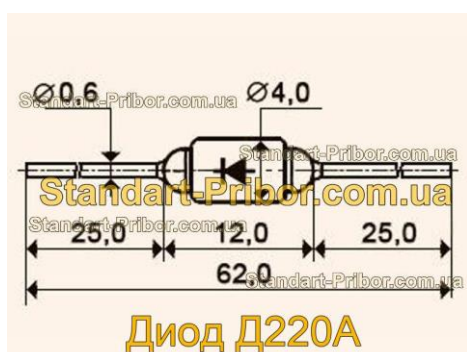


Рисунок 1.7. Діод Д220А

Діоди Д220А кремнієві, сплавні, імпульсні. Призначені для застосування в імпульсних пристроях загального та спеціального призначення. Випускаються в металостеклянному корпусі з різноспрямованими гнучкими виводами. Маркуються цифро-літерним кодом, схема з'єднання електродів з висновками наводиться на корпусі.

Маса діода трохи більше 0,53 р.

Кліматичне виконання: «УХЛ».

Основні технічні характеристики діода Д220А:

- $U_{зв\ max}$  - Максимальна постійна зворотна напруга: 70 В;
- $I_{пр\ max}$  - Максимальний прямий струм: 50 мА;
- $I_{пр\ i\ max}$  - Максимальний імпульсний прямий струм: 0,5 А;
- $C_d$  - Загальна ємність: 15 пФ при  $U_{зв}$  5 В;
- $U_{пр}$  — Постійна пряма напруга: не більше 1,5 В при  $I_{пр}$  50 мА;

- $I_{зв}$  — Постійний зворотний струм: не більше 1 мкА при  $U_{зв}$  70 В

## Транзистори

Вибір польових транзисторів вихідного релейного каскаду проводимо серед транзисторів малої потужності із ізольованим затвором. Вибір польових транзисторів проводиться по початковому струму стоку, максимальному напрузі затвор-витік, затвор-стік, стік-виток, потужності і температурі, що розсіюється. Параметри деяких типів вітчизняних польових транзисторів наведено у таблиці 1.7.

Таблиця 1.7. Параметри польових транзисторів

Тип	Тип каналу	Напруга $U_{зв}$ , В	Напруга $U_{св}$ , В	Струм стоку, $I_c$ А
КП501А	МДП	20	240	0,18
КП501Б	МДП	20	200	0,18
КП503А	МДП	20	240	0,15
КП504А	МДП	10	240	0,25

Порівнюючи параметри польових МДП транзистори різних типів, приймаються до встановлення транзистори типу КП501А як володіють параметрами, необхідними для пристрою "Вимикач дистанційний"

## Транзистор КП501А

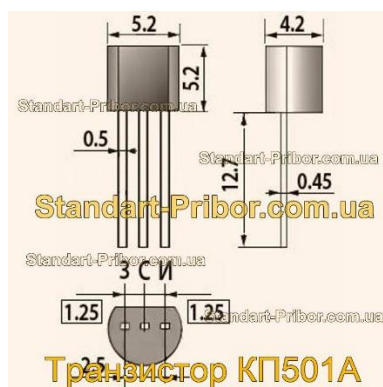


Рисунок 1.8. Транзистор КП501А

Короткі технічні характеристики:

Найменування приладу: KP501A

Маркування: КП501А

Тип транзистора: MOSFET

Полярність: N

Максимальна потужність, що розсіюється ( $P_d$ ): 0.5 W

Гранично допустима напруга сток-витік  $|U_{ds}|$ : 240 V

Гранично допустима напруга затвор-витік  $|U_{gs}|$ : 20 V

Максимально допустимий постійний струм стоку  $|I_d|$ : 0.18 A

Максимальна температура каналу ( $T_j$ ): 100 °C

Опір сток-витік відкритого транзистора ( $R_{ds}$ ): 10 Ohm

Тип корпусу: КТ26



## Стабілітрони

При виборі стабілітронів враховують: напруга стабілізації, гранично допустимий стабілізаційний струм, максимально допустимий прямий струм, диференціальний опір стабілітрону. Основні параметри деяких типів стабілітронів наведені у таблиці 1.8.

Таблиця 1.8. Основні параметри стабілітронів

Тип	Напруга стабілізації, В	Гранично допустимий струм стабілізації, мА		Максимально допустимий прямий струм, мА
		мінімальний	максимальний	
Д814А	7-8,5	3	40	50
Д814Б	8-9,5	3	36	50
Д814В	9-10,5	3	32	50
Д814Г	10-12	3	29	50

Вибирається стабілітрон Д814Б, який забезпечує необхідну напругу стабілізації та має достатній максимально допустимий прямий струм.

### Стабілітрон Д814Б

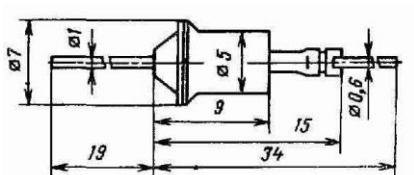


Рисунок 1.9. Стабілітрон Д814Б

Стабілітрони Д814Б є елементом середньої потужності, сплавним, з кремнію. Основне призначення цих компонентів - стабілізація напруги в діапазоні від 7 до

14 Вольт, при діапазоні стабілізації струму від 3 до 40 мА. Цей стабілізатор конструктивно представлений у металоскляному корпусі з гнучкими виводами. Найменування типу стабілізатора та його цоколівка нанесені на корпусі. Корпус стабілітрона є анодом.

Таблиця 1.9. Електричні характеристики стабілізатора Д814

Тип приладу	Граничні значення параметрів при $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$			Значення параметрів при $T=25\text{ }^{\circ}\text{C}$						Тк.мах.
	Уст.ном. В	по Іст.ном мА	Макс. мВт	Уст.		Рв.	Аст.	Іст.		
				мін. В	мах. В	Ом	10-2 %/С	Мін. мА	Мах. мА	
Д814Б	9,0	5,0	340	8,0	9,5	10	8,0	3,0	36	125

## Світлодіоди

Вибір світлодіодів здійснюється по постійній прямій напрузі, максимально допустимому постійному прямому струму, максимально допустимій постійній зворотної напрузі, кольору світіння. Основні параметри зведено до таблиці 1.10.

Таблиця 1.10. Параметри деяких типів світлодіодів

Тип діода	Постійна пряма напруга, В, при $I_{пр\text{ }max}$	Максимально допустимий постійний прямий струм, мА	Максимально допустима постійна зворотна напруга, В	Колір світіння
1	2	3	4	5
АЛ102А	2,8	10	2	червоний
АЛ101Б	5,5	20	1	жовтий
АЛ307В	2,8	22	2	зелений
АЛ307Б	2,0	20	2	червоний

## Світлодіод АЛ307А

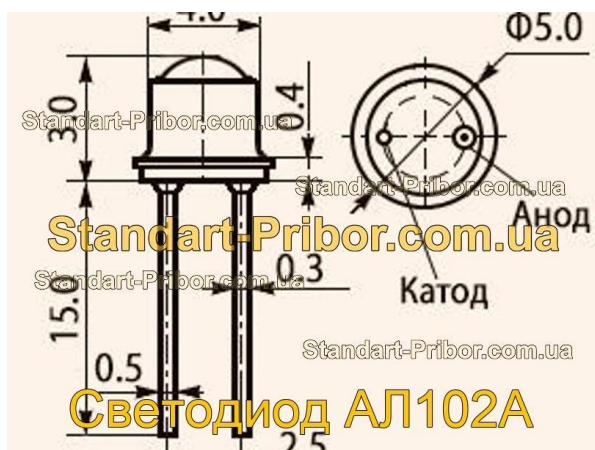


Рисунок 1.10. Світлодіод АЛ307А

## Короткий технічний опис на світлодіод АЛ102А

Діоди АЛ102А світловипромінюючі, фосфідогалієві, епітаксійні, червоного кольору світіння. Призначені для візуальної індикації апаратури загального призначення. Випускаються у металоскляному корпусі.

Маркуються кольоровими точками:

- АЛ102А - червоний;
- АЛ102Б - двома червоними;
- АЛ102Г - трьома червоними.

Маса діода трохи більше 0,25 р.

Вид кліматичного виконання: «УХЛ».

Технічні умови: УЖ0.336.053ТУ.

Основні технічні параметри світлодіода АЛ102А:

- Колір випромінювання: червоний;
- Сила світла: щонайменше 0,04 кд/м<sup>2</sup>;

- Постійна пряма напруга: не більше 2,8 В;
- Максимум спектрального розподілу: 0,69 мкм;
- Максимально допустимий постійний прямий струм: 20 мА;
- Максимальний імпульсний струм за заданої тривалості імпульсу: 60 мА при 2 мс;
- Максимально допустима зворотна постійна напруга: 2 В;
- Максимально допустима імпульсна зворотна постійна напруга: 2 В

## Реле

Реле для конструкції, що розробляється, вибираємо з малогабаритних слаботочних імпортованих серії TRV за номінальною напругою, струмом і опором обмотки. Основні параметри наведено у таблиці 1.11.

Таблиця 1.11. Основні параметри реле

Тип реле	Номінальна напруга, В	Номінальний струм, мА	Номінальний опір, Ом
TRV-09VDC	9	22,2	406
TRV-12VDC	12	16	720
TRV-18VDC	18	11,1	1620
TRV-24VDC	24	8,3	2880

Так як живлення конструкції передбачається здійснювати від джерела постійного струму напругою 12-15В, вибирається реле TRV-12VDC як найбільш відповідне за своєю напругою.

## Реле TRV-12VDC

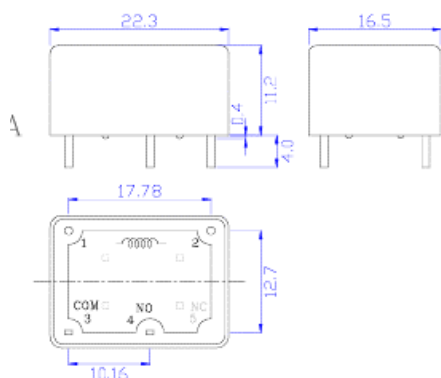


Рисунок 1.11. Реле TRV-12VDC

### Характеристики:

Контактна група	1С;
Керуюча напруга ( $U_{кер}$ )	12 В
Тип котушки	DC
Струм контакту АС ( $I_{АС}$ ), А	16
Комутована напруга ( $U_{комАС}$ ),	125
Струм контакту DC ( $I_{DC}$ ), А	16
Комутована напруга ( $U_{комDC}$ ),	30
Тип виводів	ТНТ
Тип монтажу	PCB
Довжина (L), мм	22.3
Ширина (W), мм	16.5
Висота (H), мм	11.2
Тип контактної групи (США)	SPDT

Макс. допустима напруга котушки, або (%)	1.3
Напруга відпускання, або (%)	0,05
Напруга спрацьовування, або (%)	0.8
Опір котушки (R), Ом	720
Потужність (P), мВт	200
Час спрацьовування ( $t_{on}$ ), мс	10
Час відпускання ( $t_{off}$ ), мс	5

## Мікросхеми

Вибір цифрових інтегральних схем проводиться, порівнюючи основні параметри мікросхем серій КМОП: К176, К561 К564. Порівняльні основні параметри наведено у таблиці 1.12.

Таблиця 1.12. Основні електричні параметри мікросхем

Серія	Напруга живлення, В	Струм споживання, мкА	Час затримки, нс	Інтервал робочих температур, °С
К176	9	0,1-10	200	-10...+70
К561	3-15	0,3-10	90	-10...+70
К564	3-15	0,2-11	60	-45...+85

Приймаємо до встановлення в конструкцію таймера сенсорного мікросхеми К564ЛА7, що містить 4 елементи 2І-НЕ. Даний тип мікросхем має ряд переваг у порівнянні з іншими типами комплементарної структури метал-оксид-напівпровідник (КМОН) логіки - меншим струмом споживання, широким

діапазоном напруги живлення і меншим часом затримки поширення сигналу. Умовно графічне позначення (УГП) мікросхеми К564ЛА7 наведено на рисунку 1.12.

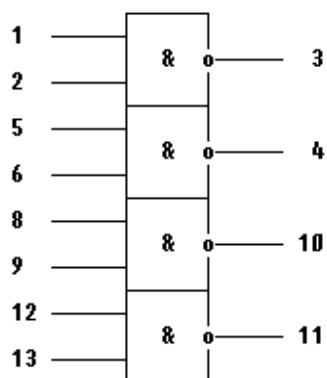


Рисунок 1.12. - УГП мікросхеми К564ЛА7

Призначення виводів ІМС К564ЛА7 наведено у таблиці 1.13.

Таблиця 1.13 – Призначення виводів ІМС К564ЛА7

№ виводів	призначення	№ виводів	призначення
1	Вхід	8	Вхід
2	Вхід	9	Вхід
3	вихід	10	вихід
4	вихід	11	вихід
5	Вхід	12	Вхід
6	Вхід	13	Вхід
7	загальний	14	U <sub>сс</sub>

## Мікросхема К564ЛА7

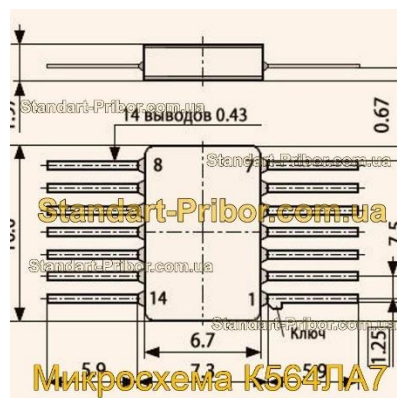


Рисунок 1.13. Мікросхема К564ЛА7

Цифрова мікросхема серії КМОП. Мікросхеми К564ЛА7 являють собою чотири логічні елементи 2І-НЕ. Призначена для роботи у вузлах та блоках радіоелектронної апаратури загального призначення. Випускається в металоскляному корпусі із жорсткими виводами для монтажу на друковану плату. Маркування мікросхеми та схема з'єднання електродів з виводами вказується на корпусі. Містять 64 інтегральні елементи.

Корпус типу 401.14-5, маса трохи більше 1 р.

Робоча температура: -60 ... +125 ° С.

Струм споживання: не більше 0,006 мА.

Напруга живлення: 4,2-13,5 Ст.

Технічні умови: БК0.348.336ТУ.

Зарубіжний аналог: CD4011А.

Гарантійний термін зберігання 15 років із дня виготовлення.

Гарантійне напрацювання:

- 50000 год - в режимах та умовах, що допускаються ТУ;

- 60000 год - в полегшеному режимі.



## 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

### 2.1. Вибір конструкції друкованої плати

При виборі типу конструкції друкованої плати враховують:

- 1) тип елементної бази;
- 2) варіант компунувальної структури осередку;
- 3) можливість виконання всіх комутаційних з'єднань, що залежить від функціональної та конструкторської складності вузла;
- 4) техніко-економічні показники (вартість, технологічність, рівень уніфікації та стандартизації та ін.);

5) можливість автоматизації процесів виготовлення, контролю та діагностики, встановлення електрорадіоелементів з обліків устаткування, що застосовується.

При виборі матеріалу підстави друкованої плати необхідно звернути увагу на передбачувані механічні дії (вібрації, удари, лінійне прискорення тощо); клас точності друкованої плати (відстань між провідниками); реалізовані електричні функції; об'єкт, на який встановлюється електронний апарат; швидкодія; умови експлуатації, вартість. Для електронного апарату стаціонарної групи 3-го класу точності, 1-го класу жорсткості найбільш підходящою є одношарова друкована плата з основою з армованого теплостійкого склотекстоліту (СТПА-5-2).

Таблиця 2.1. Основні характеристики матеріалів основи друкованої плати

Критерії оцінки	ГФ-1 ГФ-2	СФ-1 СФ-2	СТНФ- 1,2 СТФ- 1,2	ФДМ- 1,2	ФАФ- 4Д	СТПА- 5 СТАП	Поліамід
Поверхневий опір, Ом	108	5*1010	1012	1014		5*1011	1014
Питомий об'ємний опір, Ом*м	5*107	1,4*1013	2*1012	9*1011	1017	1011	1014
Діелектрична постійна при 1 МГц	7,0	5,5	5,4	4,7	2,2	5,4	3,5
Тангенс кута діелектричних втрат при 1 МГц	0,07	0,035	0,03... 0,0035	0,024	0,0002	0,025	0,01...0,02
Опір ізоляції, Мом	103	104	106	104			
Електрична міцність, МВ/м	15... 30	15... 35		15... 35	25... 250		30...200
Межа міцності при згинанні, Н/мм <sup>2</sup>							
У поздовжньому напрямку	115	280		180			
Стійкість до дії ванни для паяння, °C/с	260/5	260/20	260/30	260/20		260/30	260/60
Вологопоглинання, %, мг, менше	2,9 60	0,3 6,4	0,20... 0,25	1,5		15	2,9
Межа робочих температур, °C	-60 +85	-60 +85	-60 +105	-60 +100	+113		-196+400
Займистість відповідно до UL94			V-0				
Міцність зчеплення фольги з діелектриком на смузці 3 мм, Н	2,7	3,0	4,5	3...3,6		3,6	2,6...3,9

При виборі габаритних розмірів друкованої плати необхідно визначити сумарні настановні площі елементів електронної техніки функціонального вузла; визначити максимально допустиму довжину друкарського провідника; визначити площу друкованої плати з урахуванням рекомендованого коефіцієнта заповнення друкованої плати цієї групи електронних апаратів; розглянути кілька варіантів співвідношення сторін друкованої плати та вибрати довжину та ширину друкованої плати; визначити товщину друкованої плати; визначити довжину електричних зв'язків.

При виборі типорозміру друкованої плати слід звернути увагу на таке:

1) Число встановлюваних на друкованій платі корпусів елементів електронної техніки - кількість задіяних виводів інтегральних мікросхем, настановну площу елементів електронної техніки.

2) Швидкодія апаратури (необхідно забезпечити мінімальну затримку сигналу). Це вимагає застосування коротших ліній зв'язку та внесення обмеження на максимальну довжину провідника.

Таблиця 2.2. Клас точності друкованих плат.

Умовне позначення	Номінальне значення основних параметрів для класу точності				
	1	2	3	4	5
t, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S, мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b, мм	0,30	0, 20	0,10	0,05	0,025
$\gamma$ *	0,40	0,40	0,33	0,25	0, 20

де t – ширина провідника; s – відстань між провідниками; b – мінімально допустима ширина контактного майданчика.

Виходячи з вимоги - надійності виберемо склотекстоліт як найбільш міцний матеріал. Склотекстоліт буває одношаровим та двошаровим. Розроблювану схему важко розвести в одному шарі.

Тому застосовується двостороння друкована плата. Крім того, при розведенні в одному шарі збільшаться розміри ДП, доведеться використовувати перемички, а все це знижує міцність та надійність ДП. Отже, схему розводитимемо у двох шарах і, виходячи з цього, вибираємо двосторонній фольгований склотекстоліт СТПА-5-2, товщиною 2 мм і з товщиною фольги 35 мкм. Товщина обраної марки склотекстоліту задовольняє навантаженням характерним для модуля, що розробляється, в заданих умовах експлуатації.

## 2.2. Конструктивно - технологічний розрахунок друкованої плати

Вибравши матеріал друкованої плати, визначаємо ширину друкованого провідника за формулою:

$$t \geq \frac{I}{j \cdot h} \quad (2.1.)$$

де  $I$  - струм, А, що протікає по провіднику;  $h$  – товщина фольги, мм;  $j$  - густина струму, А/мм<sup>2</sup>.

Мінімальна відстань між друкованими провідниками визначається з міркувань забезпечення електричної міцності.

Таблиця 2.3. Мінімальна відстань між друкованими провідниками.

Відстань між елементами рисунка, що проводить	Значення робочої напруги, В	
	ГФ	СФ
От 0,1 до 0,2 мм	-	25
Св.0,2 " 0,3 "	30	50
" 0,3 " 0,4 "	100	150
" 0,4 " 0,7 "	150	300
" 0,7 " 1,2 "	300	400
" 1,2 " 2,0 "	400	600

Знаючи  $t$  і  $S$ , конструктивних міркувань вибирається клас точності друкованої плати.

Опір друкованого провідника розраховується за такою формулою:

$$R = \frac{\rho \cdot l}{t \cdot h} \quad (2.2.)$$

де  $\rho$  - питомий опір міді, Ом·мм<sup>2</sup>/м;  $l$  – довжина провідника, м.м.

Для вибору розмірів друкованої плати потрібно визначити її площу. Площу можна визначити за формулою:

$$F = \frac{F_{\text{ЕРЕ}} + F_{\text{ТО}} + F_{\text{ВІ}}}{K_3} \quad (2.3.)$$

де  $F_{\text{ЕРЕ}}$  - площа, яку займає електрорадіоелемент (ЕРЕ);  $F_{\text{ТО}}$  - площа, що займається технологічними та/або кріпильними отворами;  $F_{\text{ВІ}}$  - площа, яку не повинні займати електрорадіоелементи з конструктивних міркувань;  $K_3$  - коефіцієнт заповнення друкованої плати, зазвичай береться не більше 0,3-0,8.

Площа, яку займає ЕРЕ, визначається за настановними розмірами електрорадіоелементів.

Площа, що займається технологічними та/або отворами кріплення визначається за формулою:

$$F_{TO} = \frac{\pi \cdot d_{TO}}{4} \cdot n \quad (2.4.)$$

де  $d_{TO}$  - діаметр технологічних та/або кріпильних отворів;  $n$  – кількість отворів. Порахувавши площу друкованої плати, необхідно вибрати розміри плати згідно з ГОСТ 10317-79.

Визначається реальний коефіцієнт заповнення друкованої плати за такою формулою:

$$K_3 = \frac{F_{ERE} + F_{TO} + F_{VI}}{A \cdot B} \quad (2.5.)$$

де –  $A$  і  $B$  обрані розміри друкованої плати.

Зона розміщення електрорадіоелементів (ЕРЕ) є основною і визначається за формулою:

$$S = \frac{1}{K_S} \sum_{i=1}^N S_{наст}^i \quad (2.6.)$$

де  $K_S$  - коефіцієнт заповнення ДП ЕРЕ, що визначається залежно від класу РЕА та об'єкта установки в межах 0,4...0,85 залежно від призначення, умов експлуатації та методу складання проектованого пристрою;  $S_{наст}^i$  - настановна площа компонентів. Максимальну довжину провідника можна визначити як суму двох різних сторін ДП:

$$L_{max} = a + b, \quad (2.7.)$$

де  $a$  та  $b$  - довжини сторін ДП.

Отримане значення  $L_{\max}$  порівнюють з довжиною хвилі  $\lambda$  найбільш високочастотної складової спектру сигналів, що передаються в межах плати.

Площа елементів, що встановлюються на дану друковану плату, розраховується за формулою:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{DA}} + S_{\text{VD}} + S_{\text{C}} + S_{\text{R}} + S_{\text{oe}}' \quad (2.8.)$$

де  $S_{\text{DA}}$  – площа необхідна для встановлення мікросхем;  $S_{\text{VD}}$  – площі необхідні для встановлення активних елементів (діодів, транзисторів, стабілітронів тощо);  $S_{\text{C}}, S_{\text{R}}$  - площі необхідні установки пасивних елементів (конденсатори, резистори);  $S_{\text{oe}}'$  - площа необхідна для встановлення інших елементів, що входять до друкованої плати.

Загальна площа займана компонентами на друкованій платі становить 1 919,64 мм<sup>2</sup>.

Державний стандарт обмежує довжину сторони друкованих плат розміром 470 мм. Зазвичай розмір друкованої плати вбирається у 240x360 мм. При розробці перевага надається малогабаритним платам, оскільки зі збільшенням габаритів знижується механічна міцність та зростає складність виготовлення. Розміри сторін друкованих плат мають бути кратними 2,5 при довжині до 100 мм, 5,0 при довжині до 350 мм і 10 при довжині, що перевищує 350 мм.

Крок сітки: 1,25 мм.

Розміри кожної сторони ДП:  $a = 85$  мм;  $b = 42,5$  мм.

Висновок: Таким чином розміри ДП становить ГОСТ Р 53429-2009  $a = 85$  мм;  $b = 42,5$  мм.

При розрахунку площі друкованої плати для побутової РЕА за ГОСТ Р 53429 – 2009 прийнято враховувати коефіцієнт заповнення площі ДП,  $k_3 = 0,6$ .

Площа друкованої плати з урахуванням коефіцієнт заповнення площі  $k_3 = 0,6$  складе:

$$S_{\text{пл}} = 85 * 42,5 = 3\,612,5 \text{ мм}^2$$

Знаючи площу ДП, максимально допустиму довжину провідника, задаючи співвідношення сторін ДП, вибирають її лінійні розміри, керуючись ГОСТ 10317-79.

Таблиця 2.4. Лінійні розміри друкованої плати

Ширина,	Довжи	Шири	Довжина,	Ширин	Довжин	Ширин	Довж
мм	на,	на,	мм	а,	а,	а,	ина,
мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм	мм
20	30		90	100	120	140	150
	40	60	100		130		200
30	40		140	110	150		150
			160		170	150	170
40	60	75	75		120		180
45	75		90		140		200
	80		170	120	150	160	170
	60	80	130		160		200



	80		140		170		180
50							
	100		90		180	170	200
	150	90	120		288		280
60	60		150	130	200	200	360
	80		170				

Ширина друкованого провідника залежить від електричних, конструктивних та технологічних вимог. Для провідників, що формують сигнальні кола, головним є вимоги щодо тепловиділення. Необхідно, щоб перегрів провідника щодо навколишнього середовища за рахунок джоулевого тепла, що виділяється в ньому, не перевищив допустимого рівня.

При розрахунках ширини друкованого провідника перетин провідника приймається прямокутним, факт спотворення перерізу з допомогою підтравлювання до уваги береться.

Найменше номінальне значення ширини друкованого провідника  $t$ , мм розраховують за формулою:

$$t = t_{\min D} + |\Delta t_{\text{нв}}| \quad (2.9.)$$

де  $t_{\min D}$  – мінімально допустима ширина провідника;  $t_{\text{нв}}$  – нижнє граничне відхилення ширини друкованого провідника.

Величину  $t_{\min D}$  визначають за такою формулою:

$$t_{\min D} = \frac{I_{\max}}{j_{\text{доп}} \cdot h} \quad (2.10.)$$

де  $I_{\max}$  - чинне значення максимального струму, що у провідниках (визначають з аналізу електричної принципової схеми);  $j_{\text{доп}}$  - допустима щільність струму;  $h$  – товщина друкованого провідника.

Значення допустимої щільності струму вибирається:

для мідної фольги -  $(100...250) \cdot 106 \text{ А/м}^2$  ( $100...250 \text{ А/мм}^2$ );

для гальванічної міді -  $(60...100) \cdot 106 \text{ А/м}^2$  ( $60...100 \text{ А/мм}^2$ ).

Мінімально допустиму ширину провідника з урахуванням допустимого падіння напруги на ньому  $U_{\text{доп}}$ , якщо конструкція провідника складається з одного шару міді, визначають так:

$$t_{\text{minD}} = \frac{\rho I_{\max} l}{U_{\text{доп}} \cdot h} \quad (2.11.)$$

де  $\rho$  - питомий опір шару міді;  $l$  – максимально допустима довжина провідника.

Таблиця 2.5. Граничні відхилення діаметрів монтажних та перехідних отворів.

Діаметр отвору, мм	Наявність металізації	Граничні відхилення діаметра $\Delta d_{\text{но}}$				$\Delta d_{\text{во}}$ , мм
		за класами точності				
		1	2	3	4	5
До 1,0	Без металізації	$\pm 0,1$	$\pm 0,10$	$\pm 0,05$	$\pm 0,05$	$\pm 0,002$
		0				5
	З металізацією		+0,05			

ВКЛЮЧНО		+0,0 5				
	без оплавлення	-	-0,15	0; -	0; -	0;-
	З металізацією	+0,0 5	+0,05			
	з оплавленням	- 0,18	-0,12	0; - 0,13	0; - 0,13	0; - 0,13
Понад 1,0	Без металізації	±0,1 5	±0,15	±0,10	±0,10	±0,10
	З металізацією	+0,1 0	+0,10	+0,05	+0,05	+0,05
	без оплавлення	-0, 20	-0, 20	-0,15	-0,15	-0,15
	З металізацією	+0,1 0	+0,10	+0,05	+0,05	+0,03
	з оплавленням	- 0,23	-0,23	-0,18	-0,18	-0,18

Таблиця 2.6. Питомий об'ємний опір різних металів.

Метал	Питомий об'ємний опір, $\times 10^{-8}$ , Ом·м
Мідна фольга	1,72
Гальванічна мідь	1,90
Хімічна мідь	2,80
Олово	12,00
Срібло	1,59
Золото	2,22
Нікель	7,80
Паладій	10,80

Номінальний діаметр  $d$  монтажних металізованих та неметалізованих отворів встановлюють з наступного співвідношення:

$$d - |\Delta d_{\text{нв}}| \geq d_e + r \quad (2.12.)$$

де  $d_{\text{но}}$  – нижнє граничне відхилення діаметра отвору;  $d_e$ -максимальне значення діаметра виводу електронного компонента, що встановлюється на друковану плату;  $r$  - різниця (гарантований зазор) між мінімальним значенням діаметра отвору і максимальним діаметром виводу електронного компонента, що встановлюється.

Розрахункове значення  $d$  слід округлити у бік збільшення до цілих десятих часток міліметра з низки бажаних діаметрів отворів: 0,7; 0,9; 1,1; 1,3; 1,5мм. Товщину друкованої плати визначають із співвідношення:

$$H = d / \gamma \quad (2.13.)$$

де  $H$  – товщина друкованої плати;  $d$  – номінальне значення діаметра наскрізного отвору до товщини друкованої плати;  $\gamma$  - відношення діаметра металізованого отвору до товщини друкованої плати.

Відношення  $\gamma$  залежить від класу точності.

Для 1 та 2го - 0.4. Для 3 го – 0.33. Для 4 го – 0.25. Для 3 го – 0.20.

Трасування друкованої плати дивиться в додатку А, а складальне креслення друкованої плати дивиться в додатку В.

### 3. МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МІКРОСХЕМИ ПРИБРОЮ КЕРУВАННЯ СИЛОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ

#### 3.1. Логічні елементи

В даній дипломній роботі розглядатиметься лише позитивна логіка, за якої логічній одиниці відповідає висока напруга (або Н), а логічному нулю – низька напруга (або L).

Логічними елементами (ЛЕ) називаються функціональні пристрої, з допомогою яких реалізуються елементарні логічні функції.

ЛЕ працюють із двійковим кодуванням інформації, яке характеризується двома рівнями напруги двійковою змінною. Високий рівень напруги позначають цифрою 1 чи літерою Н. Низький рівень напруги позначають цифрою 0 чи літерою L.

Залежно від рівня напруги, при якому сприймається або виробляється інформація, розрізняють прямі та інверсні входи та виходи логічних елементів.

Прямим вважається такий вхід (вихід), у якому двійкова змінна має значення 1, коли рівень напруги цьому вході (виході) відповідає стану, прийнятому за 1.

Якщо двійкова змінна на вході (виході) має значення 1 при рівні напруги на ньому, що відповідає стану, прийнятому за 0, такий вхід (вихід) називається інверсним.

Кожен ЛЕ перетворює послідовність вхідних сигналів на послідовність вихідних сигналів або сигнал. Спосіб перетворення найчастіше описується:

- логічним виразом;
- у вигляді таблиці (таблиці істинності), що відображає значення вихідного сигналу (сигналів), що відповідає конкретному набору значень вхідних сигналів;

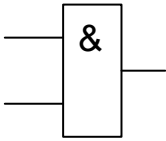
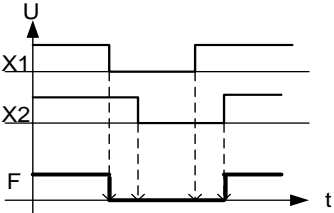
- у вигляді часових діаграм, тобто графіків залежності у часі значень вихідного сигналу (сигналів) від значень вхідних сигналів.

### 3.2. Найпростіші логічні елементи

**Логічний елемент І** реалізує операцію логічного множення (кон'юнкції):  
 $F = X1 * X2$  або  $F = X1 X2$ . На виході ЛЕ І сигнал 1 з'явиться тільки тоді, коли на його входах присутні сигнали 1.

Умовно-графічне позначення (УГП), таблиця істинності та діаграма роботи ЛЕ І представлені у таблиці 3.1.

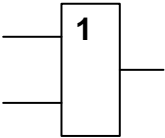
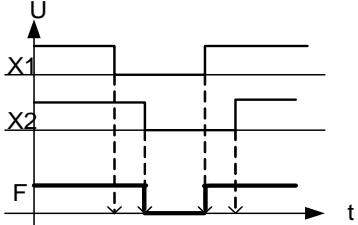
Таблиця 3.1 - УГП, таблиця істинності та діаграма роботи ЛЕ І

Логічне вираження	УГП	Таблиця істинності	Діаграма															
$F = X1 * X2$ Або $F = X1 \wedge X2$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>X1</th> <th>X2</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	X1	X2	F	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	
X1	X2	F																
0	0	0																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	1																

**Логічний елемент АБО** реалізує операцію логічного складання (диз'юнкції):  
 $F = X1 + X2$  або  $F = X1 \vee X2$ . На ЛЕ АБО сигнал 1 з'явиться тільки тоді, коли хоча б одному з його входів є сигнал 1.

УГП, таблиця істинності, діаграма роботи ЛЕ АБО представлені у таблиці 3.2.

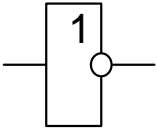
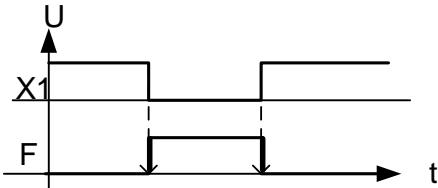
Таблиця 3.2 - УГП, таблиця істинності та діаграма роботи ЛЕ АБО

Логічне вираження	УГП	Таблиця істинності	Діаграма															
$F = X1 + X2$ або $F = X1 \vee X2$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>X1</th> <th>X2</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	X1	X2	F	0	0	0	0	1	1	1	0	1	1	1	1	
X1	X2	F																
0	0	0																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	1																

**Логічний елемент НЕ** реалізує функцію логічного заперечення (інверсії).

Стан виходу ЛЕ НЕ завжди протилежний стану входу. УГП, таблиця істинності та діаграма роботи ЛЕ НЕ представлені в таблиці 3.3.

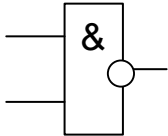
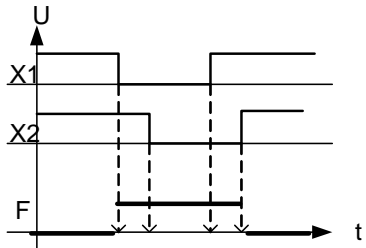
Таблиця 3.3 - УГП, таблиця істинності та діаграма роботи ЛЕ НЕ

Логічне вираження	УГП	Таблиця істинності	Діаграма						
$F = X1$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>X1</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	X1	F	0	1	1	0	
X1	F								
0	1								
1	0								

ЛЕ І, АБО, НЕ призначені до виконання трьох основних операцій цифрової логіки над дискретними сигналами. З допомогою цих ЛЕ можна реалізувати логічні операції будь-якої складності. Інакше ці елементи називають основними.

**Логічний елемент І-НЕ** є комбінацією ЛЕ І та ЛЕ НЕ. На виході ЛЕ І-НЕ сигнал рівня 0 буде тільки в тому випадку, коли на обох його входах є сигнал рівня 1. УГП, таблиця істинності та діаграма роботи ЛЕ І-НЕ представлені в таблиці 3.4.

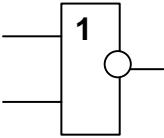
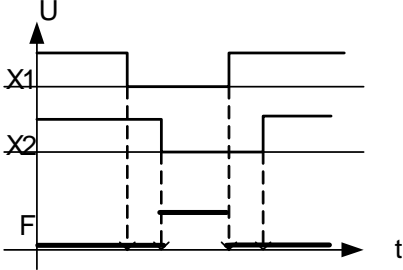
Таблиця 3.4 - УГП, таблиця істинності та діаграма роботи ЛЕ І-НЕ

Логічне вираження	УГП	Таблиця істинності	Діаграма															
$F = \overline{X1 * X2}$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>X1</th> <th>X2</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	X1	X2	F	0	0	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	
X1	X2	F																
0	0	1																
0	1	1																
1	0	1																
1	1	0																

**Логічний елемент АБО-НЕ** є комбінацією ЛЕ АБО та ЛЕ НЕ. На виході ЛЕ АБО сигнал рівня 1 буде тільки в тому випадку, коли на обох його входах присутній сигнал рівня 0. УГО, таблиця істинності та діаграма роботи ЛЕ І не представлені в таблиці 3.5.



Таблиця 3.5 - УГО, таблиця істинності та діаграма роботи ЛЕ АБО-НЕ

Логічне вираження	УГП	Таблиця істинності	Діаграма															
$F = \overline{X1 + X2}$		<table border="1"> <thead> <tr> <th>X1</th> <th>X2</th> <th>F</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>0</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	X1	X2	F	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1	0	
X1	X2	F																
0	0	1																
0	1	0																
1	0	0																
1	1	0																

### 3.3. Цифрові інтегральні мікросхеми

**Інтегральна мікросхема (ІМС)** – це мікроелектронний виріб, виготовлений методами інтегральної технології (частіше напівпровідникової), укладений у самостійний корпус і виконує певну функцію перетворення дискретних (цифрових) сигналів. Залежно від технології виготовлення інтегральні мікросхеми поділяються на серії (родини), що відрізняються фізичними параметрами базових елементів та їх функціональним призначенням.

ІМС обов'язково має такі виводи («ніжки»), рисунок 3.1:

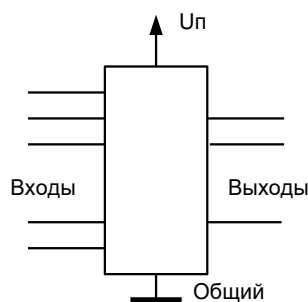


Рисунок 3.1 - Зовнішній вигляд ІМС

- Виводи живлення: загальний («земля») та напруга живлення. Ці виводи на схемах зазвичай не показуються;
- виводи для входних сигналів («входи»), на які надходять зовнішні цифрові сигнали;
- виводи для вихідних сигналів («виходи»), на які видаються цифрові сигнали із самої мікросхеми.

Кожен вивод має свій номер, наприклад "Uж" - 14, "Загальний" - 7 і т.д.

Кожна мікросхема перетворює тим чи іншим способом послідовність входних сигналів на послідовність вихідних сигналів або сигнал.

### 3.4. Основні характеристики та параметри ЛЕ

Конструктивно-технологічна реалізація цифрових ІМС (біполярні ІВ, ІВ на основі МОП-транзисторів, ІВ на основі комбінованої біполярно-комплементарної технології або інакше КМОП-технології) багато в чому визначає їх основні характеристики:

- амплітудну передатну характеристику:  $U_{\text{вих}} = F(U_{\text{вх}})$ ;
- вхідну характеристику:  $I_{\text{вх}} = F(U_{\text{вх}})$ ;

- вихідну характеристику:  $U_{\text{вих}} = F(I_{\text{вих}})$ .

Основні характеристики, у свою чергу, визначають технічні параметри ЛЕ.

$U_{\text{вих}} = F(U_{\text{вх}})$  визначає формуючі властивості ЛЕ, його завадостійкість, амплітуду та рівні стандартного сигналу.

$I_{\text{вх}} = F(U_{\text{вх}})$  – залежність вхідного струму ЛЕ від вхідної напруги визначає здатність навантаження ЛЕ і режим роботи ліній зв'язку.

$U_{\text{вих}} = F(I_{\text{вих}})$  – залежність вихідної напруги ЛЕ від вихідного струму навантаження. Ця характеристика в сукупності з вхідною дозволяє визначити здатність навантаження ЛЕ, режим його роботи і спосіб узгодження перехідних процесів в лініях зв'язку.

Розглянемо типову амплітудну передавальну характеристику (рисунок 3.2) інвертуючого ЛЕ (рисунок 3.3).

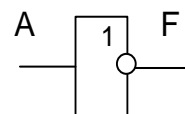
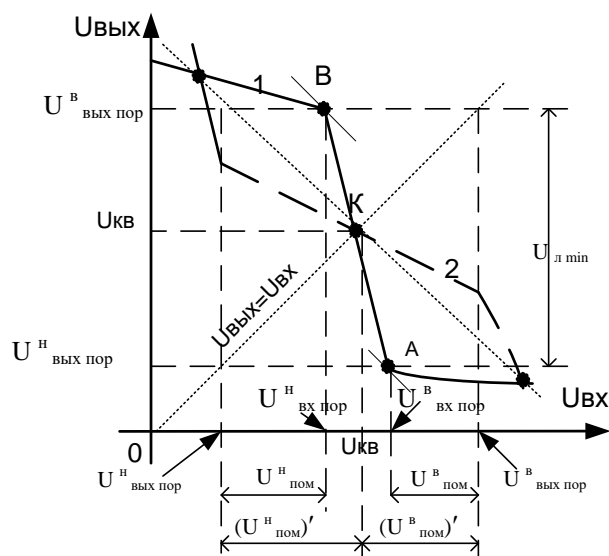


Рисунок 3.2 – Амплітудна передавальна характеристика

Рисунок 3.3 – Інвертуючий елемент

У статичному стані вихідний сигнал (F) ЛЕ може перебувати на верхньому  $U_B$  або нижньому  $U_H$  рівні напруги.

Верхній ( $U_B$ ) та нижній ( $U_H$ ) рівні логічних сигналів знаходяться як точки перетину амплітудної передавальної характеристики (крива 1) з її дзеркальним відображенням (крива 2) щодо прямого одиничного посилення  $U_{\text{вих}} = U_{\text{вх}}$ .

Різниця  $U_{\text{ввих}} - U_{\text{нвих}}$  є логічним перепадом  $U_L$  вихідних рівнів ЛЕ.

Зони статичної завадостійкості ЛЕ по нижньому ( $U_{\text{нпом}}$ ) і верхньому ( $U_{\text{впом}}$ ) рівням напруги в комбінаційних логічних ланцюгах визначаються виразами:  $(U_{\text{нпом}}) = U_{\text{кв}} - U_{\text{нвих пор}}$ ;  $(U_{\text{впом}})' = U_{\text{ввих пор}} - U_{\text{кв}}$ , де  $(U_{\text{нпом}})'$  і  $(U_{\text{впом}})'$  характеризують максимально допустимі рівні статичної перешкоди на вході ЛЕ у комбінаційних логічних ланцюгах;  $U_{\text{нвих пор}}$  - вихідна логічна напруга нижнього рівня;  $U_{\text{ввих пор}}$  - вихідна логічна напруга верхнього рівня.

Однак, через наявність схем з позитивним зворотним зв'язком, у технічній документації на всі інтегральні схеми зони статичної завадостійкості по входу обмежуються вхідними пороговими напругами:  $U_{\text{нвх пор}}$  - за нижнім рівнем;  $U_{\text{ввх пор}}$  - по верхньому рівню.

Ці граничні напруги називаються відповідно граничною напругою зони перемикавання (поріг зони перемикавання) нижнього рівня і граничною напругою зони перемикавання верхнього рівня.

У зоні перемикавання, укладеної між пороговими напругами, робота ЛЕ у статичному режимі забороняється.

Таким чином статична завадостійкість ЛЕ по нижньому рівню вхідного сигналу визначається виразом  $U_{\text{нпом}} = U_{\text{нвх пор}} - U_{\text{нвих пор}}$ , а по верхньому рівню вхідного сигналу - виразом  $U_{\text{впом}} = U_{\text{ввих пор}} - U_{\text{ввх пор}}$ .

Максимальна завадостійкість ЛЕ по нижньому і верхньому рівнях досягається при ідеальній амплітудній передавальній характеристиці, для якої  $U_{\text{нвх пор}} = U_{\text{ввих пор}} = U_{\text{кв}}$ .

За допомогою знятих характеристик визначають наступні основні параметри ЛЕ: здатність навантаження, завадостійкість, швидкодія, величини  $U_0$  і  $U_1$ , споживану потужність і т.п.

Розрізняють статичні та динамічні параметри ЛЕ.

### 3.4.1. Динамічні параметри ЛЕ

**Здатність навантаження.** Для управління ЛЕ потрібні певні напруги та струми. До виходу елемента можна підключити лише певну кількість входів. Розрізняють два навантажувальні коефіцієнти:

- вхідний коефіцієнт навантаження  $F_i$ ;
- коефіцієнт розгалуження після виходу  $N$ .

Вхідний коефіцієнт навантаження  $F_i = 1$ , якщо вхід елемента споживає номінальну потужність.

Під коефіцієнтом розгалуження по виходу розуміють кількість нормальних входів інших елементів, які можуть бути підключені до його виходу. Нормальним для стандартних ЛЕ вважається коефіцієнт розгалуження  $N$  щонайменше 10.

Перешкодостійкість є несприйнятливість ЛЕ до дії накладених на вхідний сигнал відхилень (перешкод), величина яких лежить у заданих межах. Якщо відхилення накладені на нульовий вхідний сигнал, це буде перешкода нуля. Якщо ж відхилення накладені на одиничний сигнал, це буде перешкода одиниці.

Швидкодія ЛЕ при перемиканні визначається електричною схемою, технологією виготовлення та характером навантаження.

Рівні відліку напруги для визначення динамічних параметрів встановлюються щодо вихідних порогових напруг «1» і «0», рисунок 3.4.

Основними динамічними параметрами ЛЕ є затримка поширення сигналу  $t_{здр}$  при перемиканні та тривалість позитивного (наростаючого) і негативного (спадаючого) фронтів  $t_{ф}$  вихідного сигналу.

Затримка поширення сигналу під час переходу вихідної напруги від «1» до «0»  $t_{10здр}$  визначається як інтервал часу між фронтами вхідного та вихідного сигналів ЛЕ, виміряного за заданим рівнем.

Затримка поширення сигналу при переході вихідної напруги від "0" до "1"  $t_{01здр}$  визначається як інтервал часу між фронтами вхідного та вихідного сигналів ЛЕ, виміряного за заданим рівнем.

Затримки поширення ( $t_{10здр}$ ,  $t_{01здр}$ ) вимірюються як правило за рівнем 0,5 ( $U_{ввих пор}$ ,  $U_{нвих пор}$ ).

При розрахунку тимчасової затримки послідовно включених логічних елементів використовується середня затримка поширення сигналу ЛЕ:  $\tau_{здр ср} = (t_{10здр} + t_{01здр})/2$ . Тривалість фронту вихідного сигналу під час переходу напруги з «1» в «0» ( $t_{10ф}$ ) відповідає негативному фронту. Тривалість фронту вихідного сигналу під час переходу напруги з «0» в «1» ( $t_{01ф}$ ) відповідає позитивному фронту.

Тривалість позитивних та негативних фронтів вимірюються за рівнями 0,1 та 0,9, рисунок 3.4.

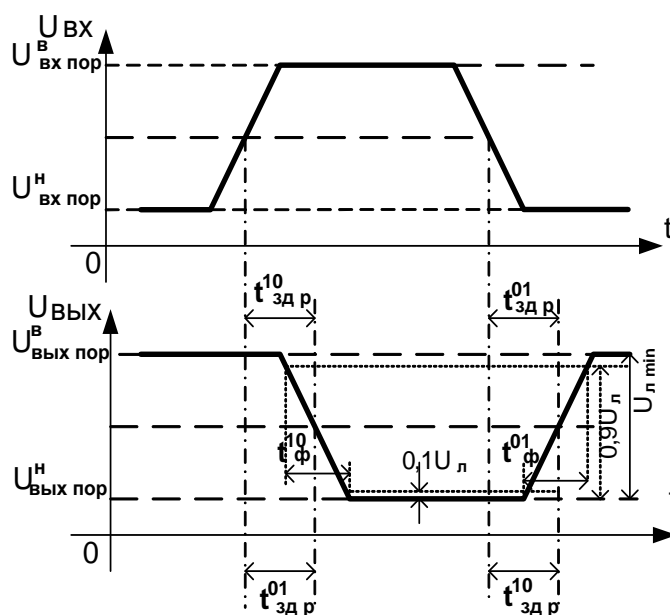


Рисунок 3.4 – Вхідний та вихідний сигнали інвертуючого елемента

### 3.4.2. Статичні параметри ЛЕ

Статичні параметри визначають умови формування та значення напруг високого та низького рівнів на виході ЛЕ, його здатність навантаження, споживану потужність при заданих напругах живлення, навантаженні та температурі навколишнього середовища.

До статичних параметрів ЛЕ відносяться:

- вхідні ( $U_{0вх}$ ,  $U_{1вх}$ ) та вихідні ( $U_{0вих}$ ,  $U_{1вих}$ ) напруги логічного «0» та логічного «1»;
- вхідні ( $U_{0вх\ пор}$ ,  $U_{1вх\ пор}$ ) і вихідні ( $U_{0вих\ пор}$ ,  $U_{1вих\ пор}$ ) порогові напруги логічного «0» та логічного «1»;

- вхідні та вихідні струми логічного «0» та «1» ( $I_{0вх}$ ,  $I_{1вх}$ ,  $I_{0вих}$ ,  $I_{1вих}$ );
- струми споживання у стані логічного «0» та «1» ( $I_{0пот}$ ,  $I_{1пот}$ );
- споживана потужність ( $P_{пот}$ ).

Вхідний струм ЛЕ визначається для несприятливого режиму роботи в межах допустимих температур навколишнього середовища та напруги живлення як для рівня «0» ( $I_{0вх}$ ), так і для рівня «1» ( $I_{1вх}$ ).

Вихідні струми ( $I_{0вих}$ ,  $I_{1вих}$ ) характеризують здатність навантаження ЛЕ. Струми, що втікають мають позитивний знак, що витікають - негативний. Перешкодостійкість визначається щодо цих струмів. Тому збільшення коефіцієнта розгалуження призводить до зниження завадостійкості.

Потужність, що споживається ЛЕ від джерела живлення, визначається як:

$$P_{пот} = \sum_{i=1}^n U_i * I_i$$

, де

- $U_i$  – напруга  $i$ -го джерела живлення;
- $I_i$  – струм у відповідному ланцюзі живлення.

Якщо споживана потужність залежить від вихідної напруги «0» ( $P_{0пот}$ ) або «1» ( $P_{1пот}$ ), то як основний параметр використовують середню споживану потужність  $P_{пот} = (P_{0пот} + P_{1пот})/2$ .

Для ЛЕ, що споживають значну потужність при перемиканні, середня споживана потужність у технічній документації визначається як залежність

$$P_{пот\ ср} = f(F_{імп}),$$

де  $F_{імп}$  - частота проходження імпульсів.



### 3.5.Сімейства ІС

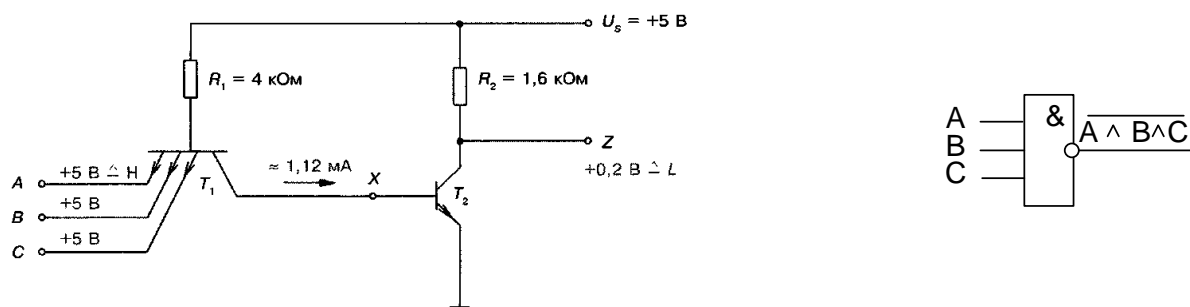
Логічні елементи, виконані з урахуванням однієї конструктивно-технологічної реалізації, утворюють сімейство схем. В даний час широкого поширення набули сімейства мікросхем ТТЛ, ТТЛШ та КМОП-логіки.

ТТЛ скорочено означає транзисторно транзисторна логіка. Елементи цих схем побудовані з урахуванням біполярних транзисторів.

У схемах сімейства КМОП застосовуються комплементарні МОП-транзистори з каналами n- та p-типу.

#### 3.5.1. Сімейство ТТЛ-схем

Логічні елементи схем цього сімейства будуються з урахуванням багатоємітерних біполярних транзисторів, рисунок 3.5.



а) принципова схема б) УГП

Рисунок 3.5 - Простий ТТЛ-елемент 3І-НЕ

Якщо на входах А, В та С діє висока напруга, то транзистор Т1 працює в інверсному режимі (перехід база-колектор зміщений у прямому напрямку). Транзистор Т2 відкритий і на виході Z буде низька напруга приблизно 0,2В.

Якщо на одному з входів транзистора Т1 діє низька напруга, то транзистор Т1 працює нормально в режимі насичення. Напруга на його колекторі падає приблизно 0,2В. Транзистор Т2 закривається. На виході Z буде висока напруга.

Якщо один із входів багатомітерного транзистора Т1 «висить у повітрі», він прирівнюється до входу з високим рівнем напруги, оскільки такий вхід не здатний знизити напругу в точці X схеми на рисунку 3.5 до 0,2В.

ТТЛ-елементи випускаються як інтегральні мікросхеми. Наприклад, мікросхема SN7400 (вітчизняний аналог ЛА3 серії К155) містить чотири елементи 2І-НЕ, рисунок 3.6.

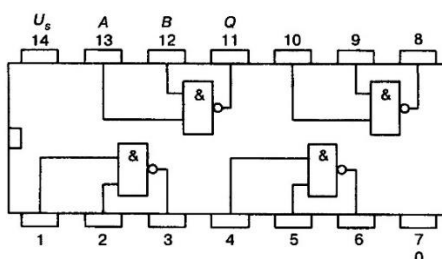


Рисунок 3.6 - Схема підключення інтегральної мікросхеми SN7400

В основному ТТЛ-елементи випускаються в DIP-корпусах, рисунок 3.7.

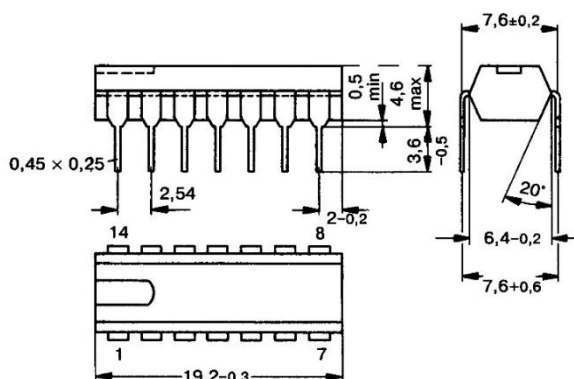


Рисунок 3.7 – Корпус DIP із двостороннім розташуванням виводів

До сімейства ТТЛ-схем входять кілька серій ІМС. Усі вони мають однакову напругу живлення  $\pm 5\text{В}$  та сумісні один з одним. Стандартна серія ТТЛ К155 (7400) була першим промисловим стандартом.

У ТТЛШ-серії K531 (74S00) застосування діодів та транзисторів Шоттки дозволило скоротити часи перемикання схем. Маломощна ТТЛШ-серія K555 (74LS00) має більш низьку споживану потужність, ніж попередня серія.

Таблиця 3.6 - Електричні характеристики ІМС ТТЛШ-серії K555 (74LS00)

Напруга живлення	$U_{\text{пит}} = \pm 5\text{В}$
Вхідна напруга	$U_{0\text{макс}} = 0,8\text{В}, U_{1\text{мин}} = 2,0\text{В}$
Вихідна напруга	$U_{0\text{макс}} = 0,4\text{В}, U_{1\text{мин}} = 2,7\text{В}$
Порогова напруга	$U_{\text{пор}} = 1,3\text{В}$
Вхідний струм (рівень L)	$I_{0\text{макс}} = -0,4\text{мА}$ (Струм витікає)
Вихідний струм (рівень H)	$I_{1\text{макс}} = -0,4\text{мА}$ (Струм витікає)
Вхідний струм (рівень H)	$I_{1\text{макс}} = 0,02\text{мА}$ (Струм витікає)
Вихідний струм (рівень L)	$I_{0\text{макс}} = 8\text{мА}$ (Струм витікає)
Коефіцієнт розгалуження після виходу	20
Затримка розповсюдження сигналу	$t_{\text{зад}} = 9\text{нс}$
Час наростання	$t_{0,1} = 10\text{нс}$
Час спаду	$t_{1,0} = 6\text{нс}$
Потужність на один елемент	$P_{\text{пот}} = 2\text{мВт}$

У сімействі ТТЛ-схем є всі типи елементів, що реалізують основні логічні функції:

- НЕ (елементи ЛН);
- mI (ЧИ);

- mI-HE (елементи ЛА);
- mЛИ (елементи ЛЛ);
- МИЛИ-HE (елементи ЛЕ);
- mI/mИЛИ-HE (елементи ЛР).

### 3.5.2. ЛЕ на КМОП-транзисторах

Скорочення КМОП означає «комплементарні МОП-транзистори».

Також іноді використовується скорочення COSMOS, яке означає «комплементарна симетрична МОП-структура». Симетричність КМОП-схем особливо добре видно у схемі елемента HE, рисунок 3.8.

Якщо на вході А діє рівень Н, то транзистор Т2 відкритий, транзистор Т1 закритий, і на виході елемента Z є рівень L.

Якщо на вході А діє рівень L, то транзистор Т2 закритий, транзистор Т1 відкритий, і на виході елемента Z є рівень Н.

У КМОП-елементі один із транзисторів завжди закритий, і такий елемент практично не споживає струм. Тільки під час перемикання від джерела живлення споживається невеликий струм, оскільки обидва транзистори одночасно, але відкриті ненадовго. Один із транзисторів переходить із відкритого стану у закритий, а інший, навпаки, із закритого стану переходить у відкритий стан.

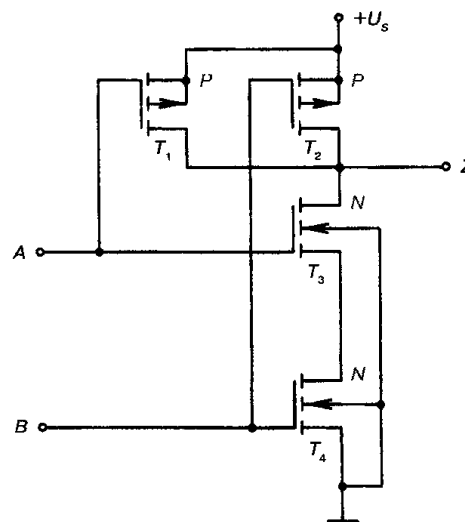
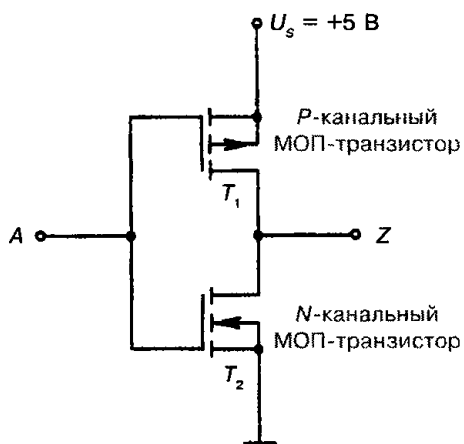


Рисунок 3.8. – Схема КМОП НЕ элемента Рисунок 3.9 - Схема КМОП I-НЕ

элемента

На рисунку 3.9 наведено схему КМОП I-НЕ елемента. Якщо на обох входах діють рівні Н, то транзистори  $T_1$  і  $T_2$  закриті, транзистори  $T_3$  і  $T_4$  відкриті, і на виході елемента  $Z$  є рівень L.

Якщо на один вхід подано рівень Н, а на інший – рівень L, то один з верхніх транзисторів  $T_1$  або  $T_2$  відкривається, а один з нижніх транзисторів  $T_3$  або  $T_4$  закривається. Через відкриті транзистори до виходу прикладатиметься рівень Н.

До сімейства КМОП-схем входить кілька серій ІС. КМОП серія CD4011В є промисловим стандартом. Швидкодіюча КМОП-серія 74НС00 по роз'ємах і функціонально сумісна з аналогічною серією ТТЛ.

Характеристики ІМС КМОП-серії 74НС00 наведені у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 - Електричні характеристики ІМС КМОП-серії 74НС00

Напруга живлення	$U_{\text{пит}} = \pm 4,5\text{В}$
Вхідна напруга	$U_{0\text{макс}} = 0,9\text{В}, U_{1\text{мин}} = 3,2\text{В}$
Вихідна напруга	$U_{0\text{макс}} = 0,1\text{В}, U_{1\text{мин}} = 4,9\text{В}$
Вхідний струм	$<0,0003\text{мА}$
Вихідний струм (рівень L)	$I_{0\text{макс}} = 20\text{мА}$
Коефіцієнт розгалуження після виходу	50
Затримка розповсюдження сигналу	$t_{\text{зад}} = 8\text{нс}$
Час наростання	$t_{0,1} = 6\text{нс}$
Час спаду	$t_{1,0} = 8\text{нс}$

### 3.6. Основні логічні елементи у програмі Electronics Workbench (EWB)

Для моделювання цифрових схем можна використовувати програму EWB.

У бібліотеці програми EWB використовуються ТТЛ-елементи серії SN та КМОП-елементи серії CD4011В.

Для полегшення роботи наведено список зарубіжних та вітчизняних аналогів основних логічних елементів, таблиця 3.8.

Таблиця 3.8 - Зарубіжні та вітчизняні аналоги логічних елементів

Найменування логічного елемента	ТТЛ-елементи зарубіж./вітчизняні.	КМОП- елементи зарубіж./вітчизняні.
4 елементи 2І-НЕ	7400 / К155ЛА3	4011 / 561ЛА7
4 елементи 2АБО-НЕ	7402 / К155ЛЕ1	4001 / 561ЛЕ5
4 елементи 2І-НЕ с ЗК	7403 / К155ЛА9	
6 елементів НЕ	7404 / К155ЛН1	4049 / 561ЛН2
6 елементів НЕ с ЗК	7405 / К155ЛН2	
4 елементи 2І	7408 / К155ЛИ1	
4 елементи 2І с ЗК	7409 / К155ЛИ2	
3 елементи 3І-НЕ	7410 / К155ЛА4	4023 / 561ЛА9
3 елементи 3І	7411 / К555ЛИЗ	
3 елементи 3І-НЕ с ЗК	7412 / К155ЛА10	
2 елементи 4І-НЕ	7420 / К155ЛА1	4012 / 561ЛА8
2 елементи 4І	7421 / К155ЛИ6	
1 елемент 8І-НЕ	7430 / К155ЛА2	
4 елементи 2АБО	7432 / К155ЛЛ1	
3 елементи 3АБО-НЕ		4025 / 1561ЛЕ10
2 елементи 4АБО-НЕ		4002 / 561ЛЕ6

### 3.7. Моделювання схем, що реалізують основні логічні функції

Для моделювання логічних схем використовують логічні елементи, наявні у програмі EWB, рисунок 3.10.

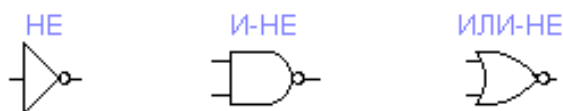


Рисунок 3.10 – Графічні позначення основних логічних елементів

Для моделювання сигналів «логічний 1» та «логічний 0» можна використовувати механічні ключі, рисунок 3.11.

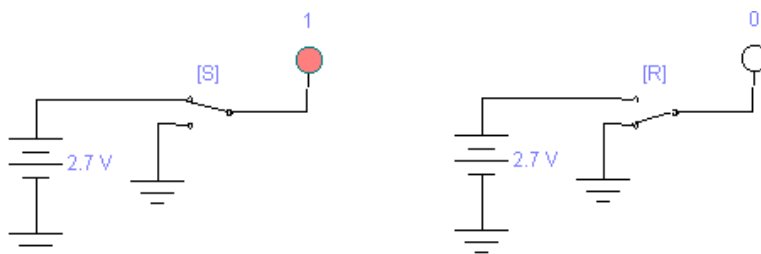


Рисунок 3.11 - Електромеханічні імітатори сигналів "логічна 1"

та «логічний 0»

Для моделювання важливих схем застосовуються цифрові інтегральні мікросхеми, наявні у бібліотеці EWB. Як приклад на рисунку 1.12 показана схема включення ІМС SN7400, яка реалізує операцію 2І-НЕ.



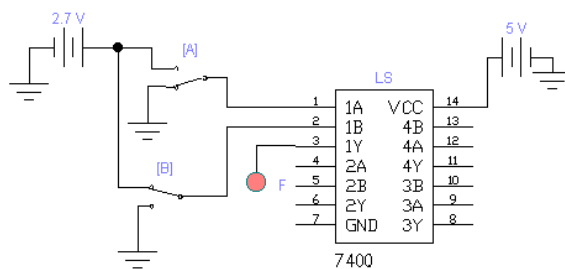


Рисунок 3.12 - Схема включення ІМС SN7400, яка реалізує операцію І-НЕ

Для вивчення статичних характеристик ІМС необхідно зібрати схему, показану на рисунку 3.13.

Змінюючи значення вхідної напруги, можна побудувати передавальну характеристику інвертора і визначити напруги Н і L рівнів.

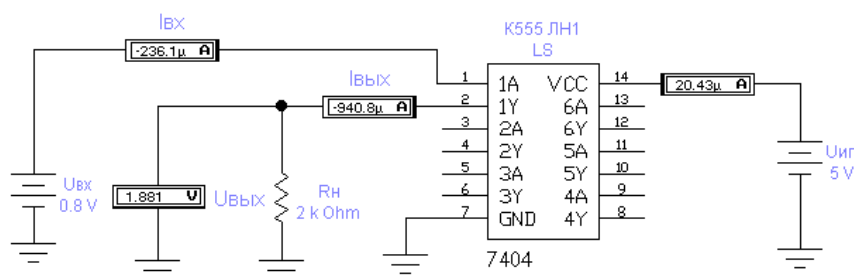


Рисунок 3.13 – Схема визначення статичних параметрів мікросхеми K555ЛН1

Для вивчення динамічних характеристик ІМС необхідно зібрати схему, показану на рисунку 3.14.

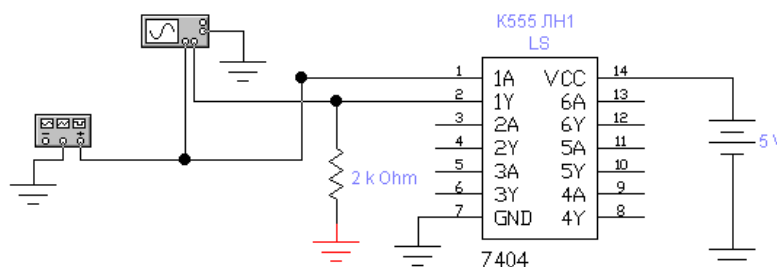


Рисунок 3.14 – Схема визначення динамічних параметрів мікросхеми K555ЛН1

При великій частоті проходження вхідних прямокутних імпульсів, рисунок 3.15, на екрані осцилографа можна спостерігати та виміряти тимчасову затримку між вхідним та вихідним сигналами, рисунок 3.16.

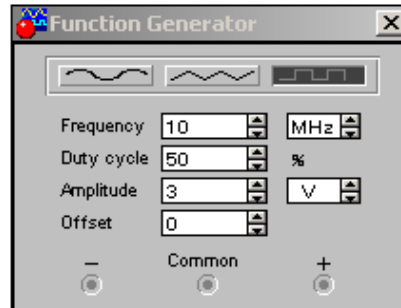


Рисунок 3.15 - Параметри прямокутних імпульсів на вході інвертора

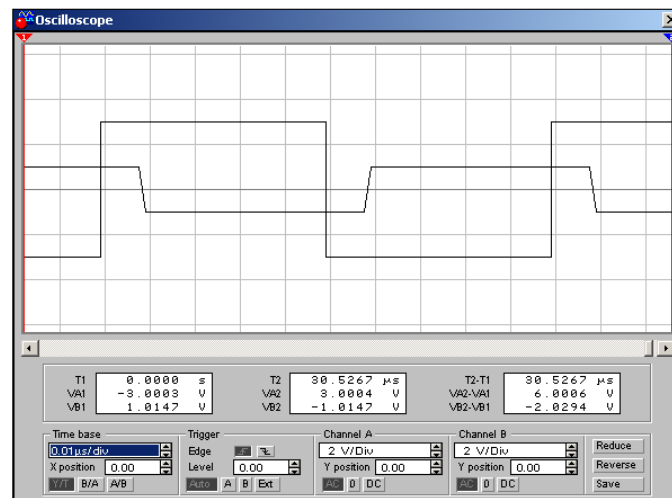


Рисунок 3.16 – Осцилограми вхідного та вихідного сигналів на екрані осцилографа

### 3.8. Моделювання мікросхеми CD4011 за допомогою програми Electronic Workbench

В ході виконання дипломної роботи було виконане моделювання статичних і динамічних параметрів мікросхеми CD4011, яка є зарубіжним аналогом вітчизняної мікросхеми 561ЛА7.

Цифрова мікросхема CD4011 містить 4 логічні елементи 2І-НЕ, виконана за КМОП технологією, містить 64 інтегральні елементи. Всі входи та виходи мікросхеми буферизовані та мають захист від статичної електрики.

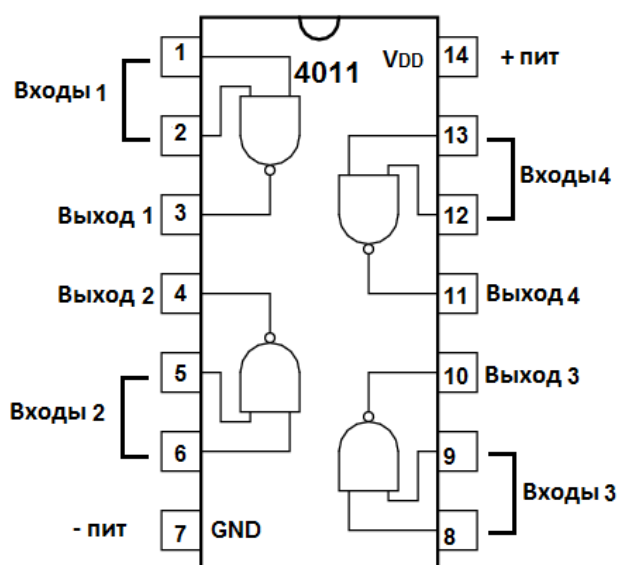


Рисунок 3.18. Схема підключення інтегральної мікросхеми CD4100

Для моделювання сигналів «логічна 1» та «логічний 0» було підключено схему на рисунку 3.19.

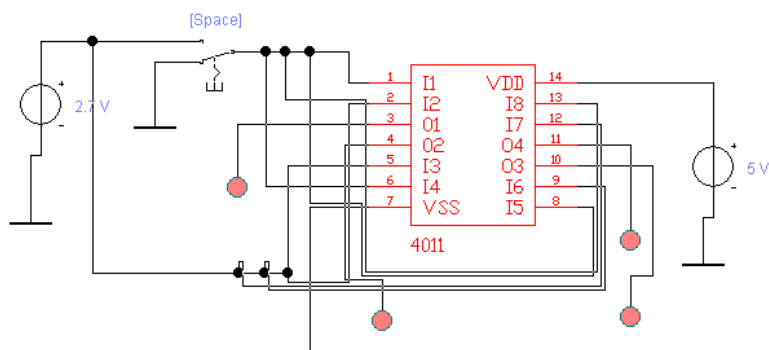


Рисунок 3.19. Дослідження мікросхеми CD4100 сигналів «логічна 1» та «логічний 0»

Згідно таблиці істинності кожна пара логічних елементів І-НЕ показувала на виході сигнал логічної одиниці.

Для моделювання статичних характеристик мікросхеми було підключено схеми, які зображені на рисунках 3.20. -3.22.

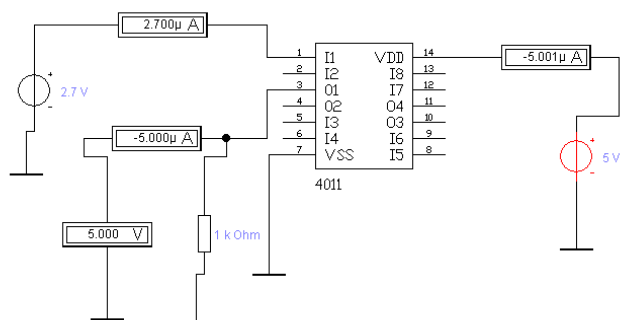


Рисунок 3.20. Дослідження статичних характеристик мікросхеми CD4100 сигналів «логічна 1» та «логічний 0»

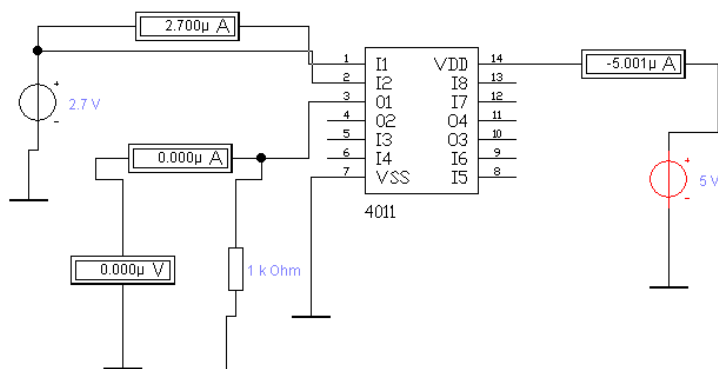


Рисунок 3.21. Дослідження статичних характеристик мікросхеми CD4100 сигналів «логічна 1» та «логічна 1»

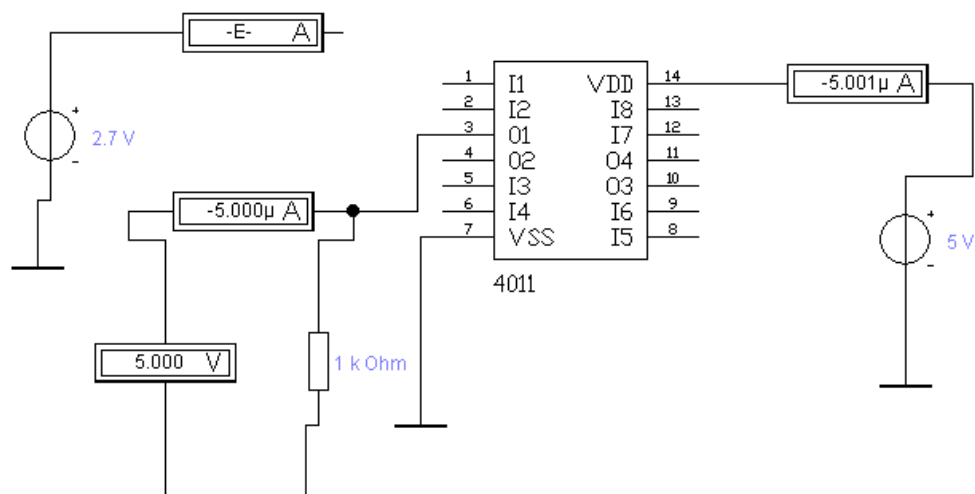


Рисунок 3.22. Дослідження статичних характеристик мікросхеми CD4100 сигналів «логічний 0» та «логічний 0»

Кожна пара логічних елементів І-НЕ показувала на виході сигнал згідно таблиці істинності. Якщо на вході були «логічний 0» і «логічна 1», то на виході можна було спостерігати «логічну 1». Якщо на вході були «логічна 1» і «логічна 1», то на виході можна було спостерігати «логічний 0». Якщо на вході були «логічний 0» і «логічний 0», то на виході можна було спостерігати «логічну 1».

Для моделювання динамічних характеристик мікросхеми було підключено схеми, які зображені на рисунках 3.23. -3.25.

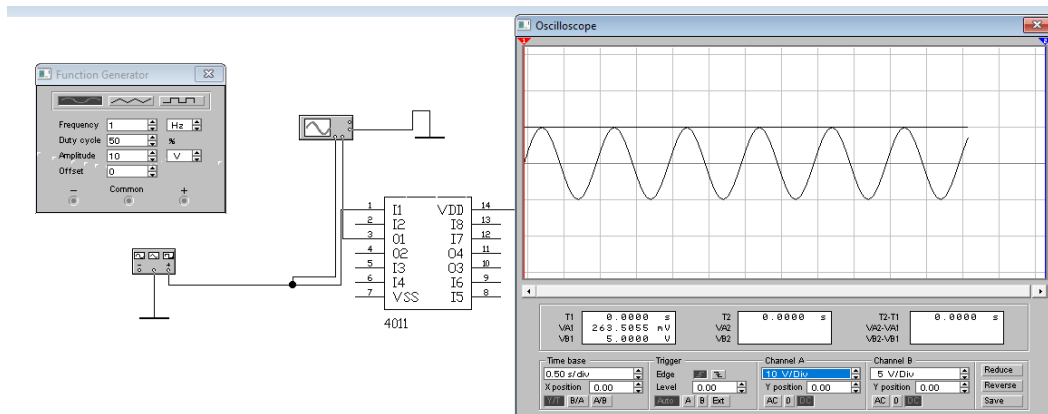


Рисунок 3.23. Дослідження динамічних характеристик мікросхеми CD4100 сигналів «логічна 1» та «логічний 0»

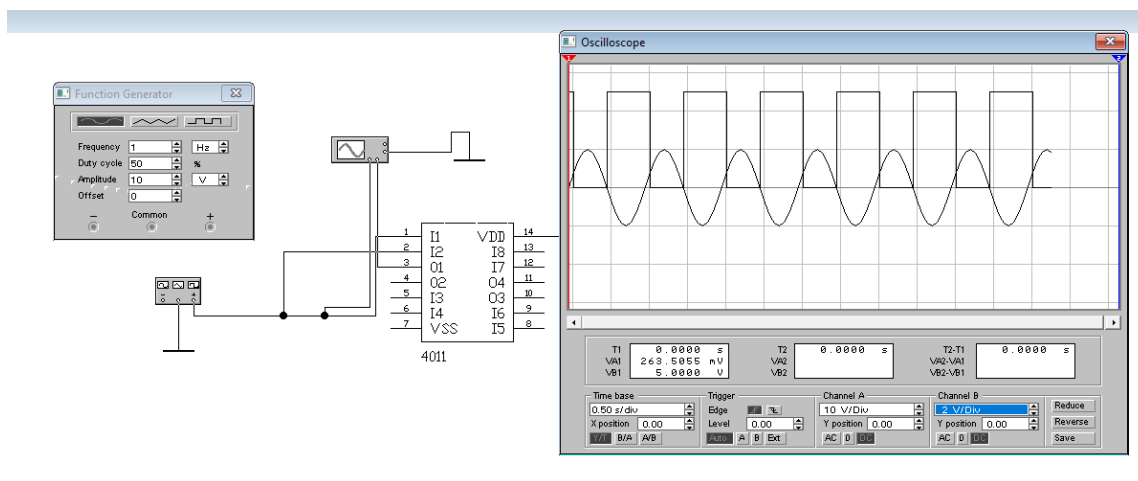


Рисунок 3.24. Дослідження динамічних характеристик мікросхеми CD4100 сигналів «логічна 1» та «логічна 1»

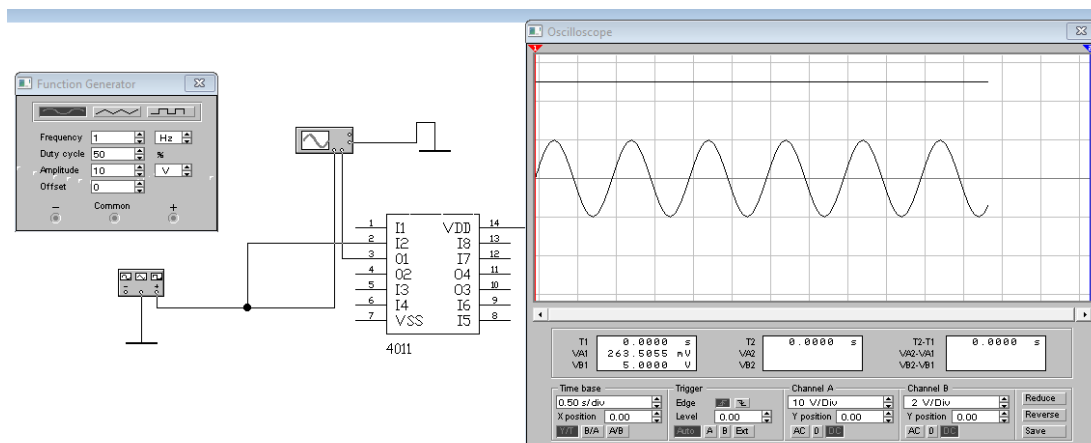


Рисунок 3.25. Дослідження динамічних характеристик мікросхеми CD4100 сигналів «логічний 0» та «логічний 0»

Кожна пара логічних елементів І-НЕ показувала на виході сигнал згідно таблиці істинності.

Також було промодельована мікросхема CD4011 за допомогою генератора слів та аналізатора. Відповідні схеми можна побачити на рисунках 3.26.-3.29.

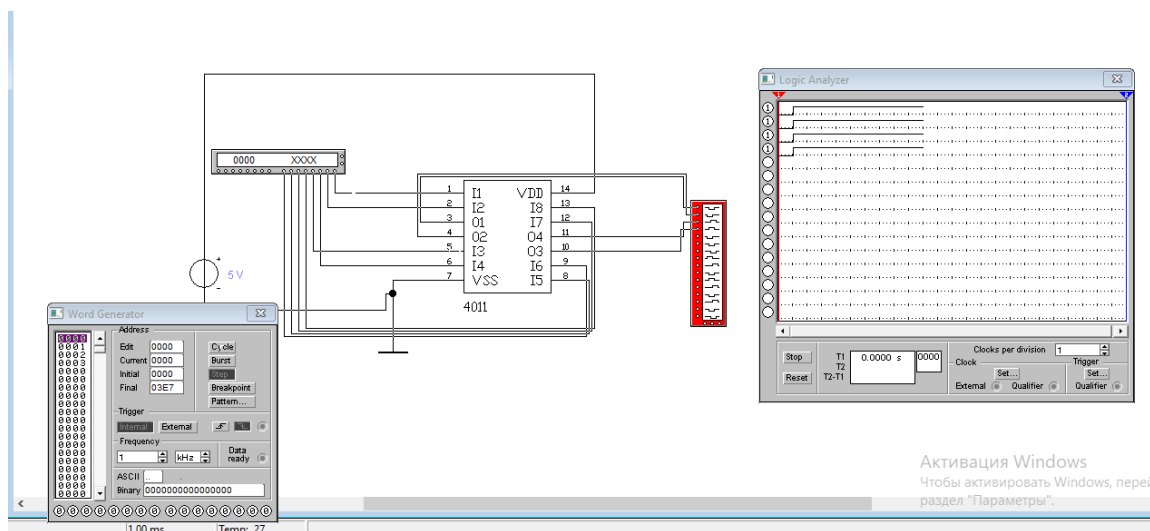


Рисунок 3.26. Моделювання статичної характеристики мікросхеми CD4100 за допомогою генератора слів та аналізатора. На всіх входах «логічний 0».

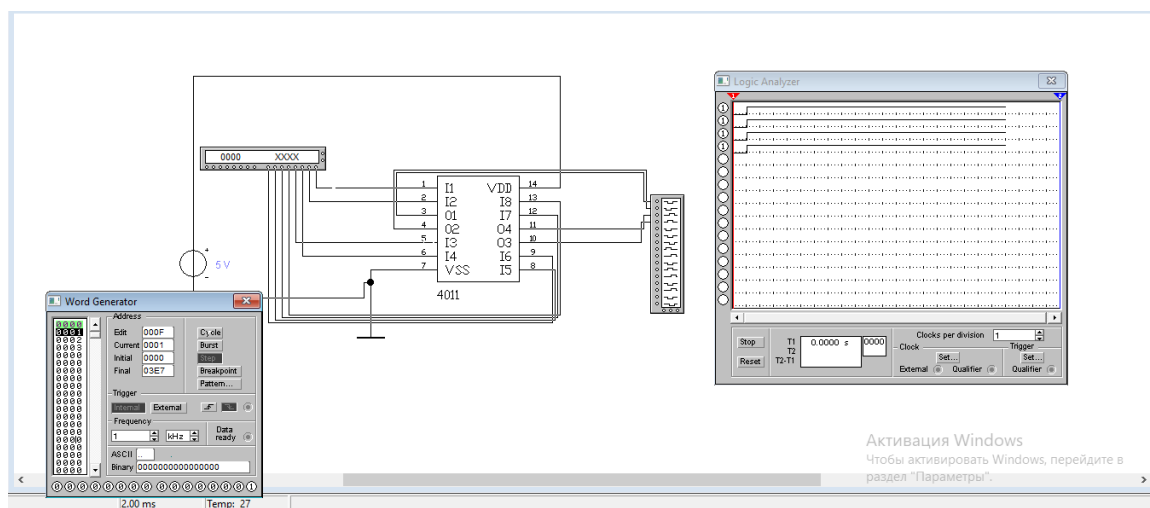


Рисунок 3.27. Моделювання статичної характеристики мікросхеми CD4100 за допомогою генератора слів та аналізатора. На трьох входах «логічний 0», а на одному вході «логічна 1».

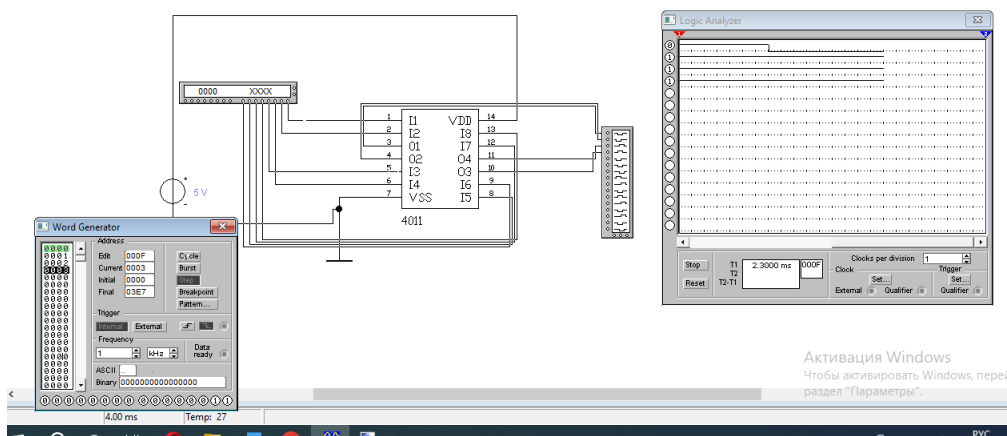


Рисунок 3.28. Моделювання статичної характеристики мікросхеми CD4100 за допомогою генератора слів та аналізатора. На двох входах «логічний 0», а на двох входах «логічна 1».

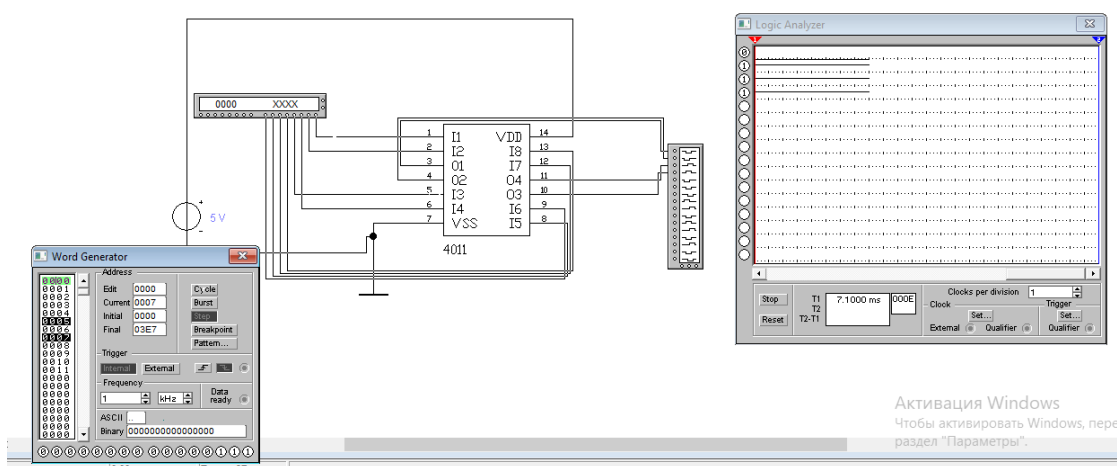


Рисунок 3.29. Моделювання статичної характеристики мікросхеми CD4100 за допомогою генератора слів та аналізатора. На одному вході «логічний 0», а на трьох входах «логічна 1».

Можна було бачити, що кожна пара логічних елементів І-НЕ показувала на виході сигнал згідно таблиці істинності.



## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

У ході проектування було розроблено пристрій для керування силовим навантаженням. У процесі роботи були описані основні характеристики пристрою, розглянуті достоїнства і недоліки, з'ясований принцип його функціонування.

Відповідно до призначення пристрою виконано аналіз умов експлуатації, що показав, що проектуваний виріб відноситься до класу стаціонарних.

На підставі описаних кліматичних і механічних факторів, що впливають на виріб, була підібрана елементна база.

За для проектування були проведені розрахунки мінімальної площі друкованої плати, яка становить 3 612,5 мм<sup>2</sup>. При розробці конструкції блоку була обрана друкована плата третього класу точності, на якій можливо реалізувати запропоновану електричну схему, розраховані її габарити й обрана товщина та кількість шарів. Тип друкованої плати був обраний двосторонній, що дозволяє більш ефективно розвести друкований рисунок, та зробити перемички де це необхідно. Розміри плати було обрано 85x42,5мм. Кріплення друкованої плати були обрано на чотири точки опори. Був зроблений розрахунок друкованого монтажу і перевірочний розрахунок по постійному та змінному струму.

Використовуючи програму ELEKTRONIK WORCBENCH 5\_12 були промодельовані електричні параметри мікросхеми CD4011, що є аналогом мікросхеми вітчизняного виробництва К564ЛА7. Отримані результати цілком задовольняють технічному завданню й умовам експлуатації.

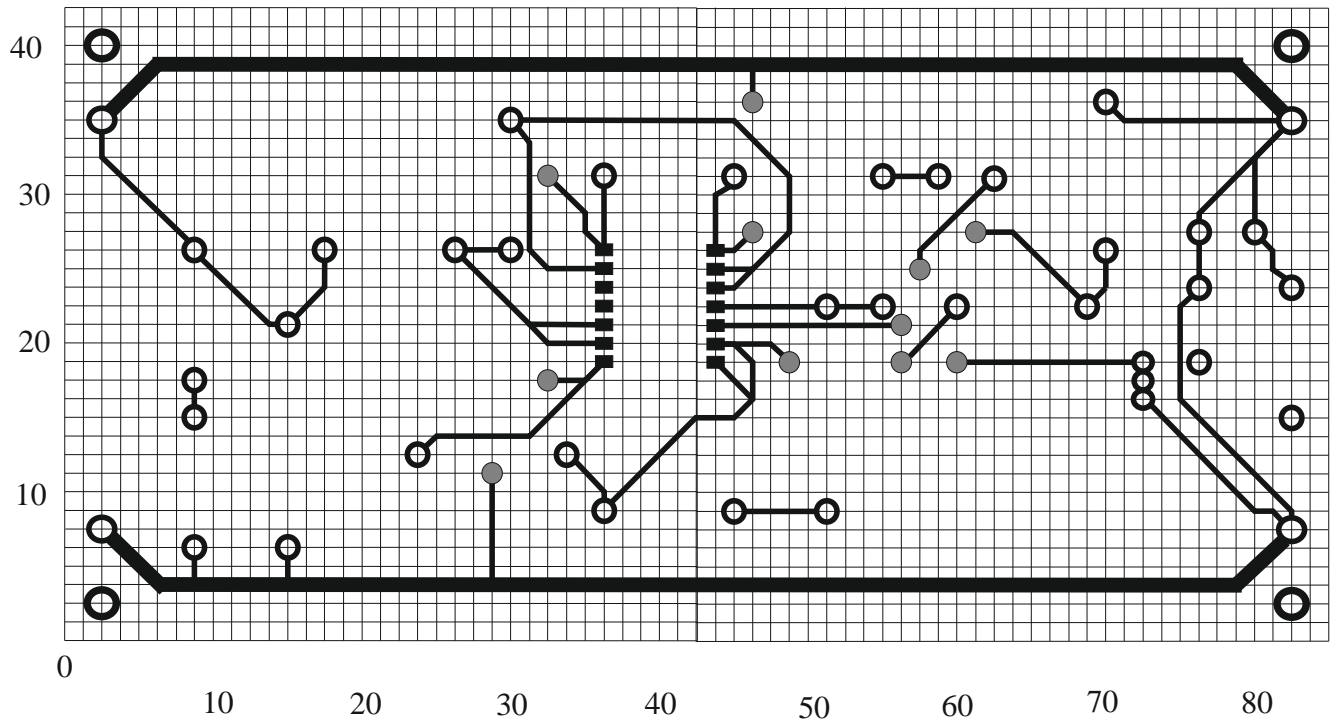
Таким чином, у процесі проектування було розроблено пристрій для керування силовим навантаженням, проведені всі необхідні розрахунки, на основі яких можна зробити висновок про доцільність уведення виробу у виробництво та подальшому оснащенню пристрою керування силовим навантаженням.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

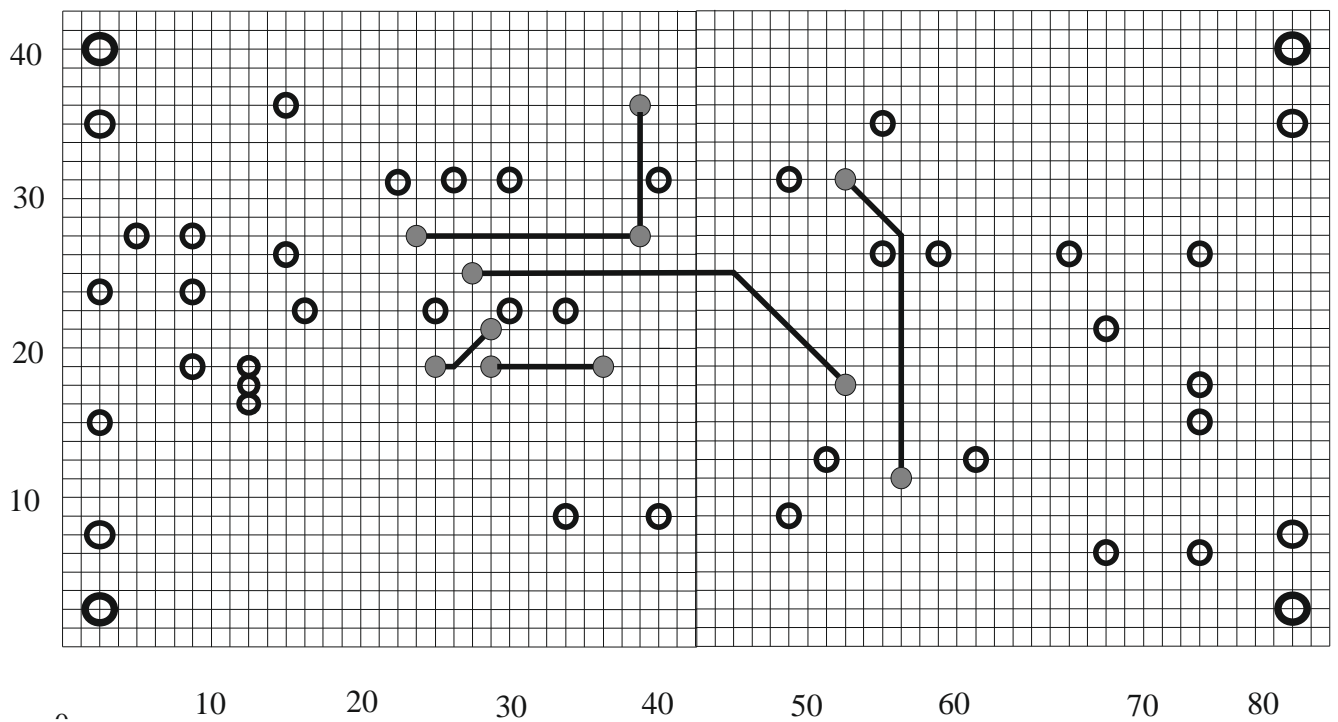
1. Журнал «Радио», 2013г., №4, М. Бойко, "Дистанционный выключатель ", стр. 52.
2. Горчук Н.В, "Сенсорный переключатель", Радиоежегодник, 2008г, стр.56.
3. Терещук Р.М. Терещук К.М Справочник радиолюбителя, Киев «Наукова думка», 1987- 800с.
4. Москатов Е.А., Справочник по полупроводниковым приборам, М.: Журнал "Радио", 2005 -208 с.
5. Тарабрин Б.В., Интегральные микросхемы, справочник, - М.: Радио и связь, 1983 г.-528 стр.
6. Лавриненко В.Ю., Справочник по полупроводниковым приборам. - К.: Техника, 1984- 422с.
8. Методические рекомендации по выполнению курсового проекта по микросхемотехнике, : КПТ, 2011 -24 с.
9. Гуревич Б.М., Иваненко Н.С. Справочник по электронике для молодого рабочего: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 272 с.: ил.
24. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э. Т. Романычева и др.; Под ред. Э. Т. Романычевой. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.
25. Усатенко С.Т., Каченюк Т.К. Выполнение электрических схем по ЕСКД: Справочник.-1989.-325с.
26. Методические указания к выполнению лабораторных работ курсов «Автоматизация технологического проектирования ЭА», «Автоматизация конструкторско –технологического проектирования БЭА» / Сост. Е.П.Герасименко.- Северодонецк, СТИ, 2000.-57с.
27. Методичні вказівки до лабораторних робіт із дисципліни «Основи конструювання побутової електронної апаратури» / Автор: Ганжа С.М. – Северодонецьк: СТИ, 2004р. – 40 с.

## Додаток А

## Креслення лицьової сторони друкованої плати



## Креслення дзеркального відображення плати



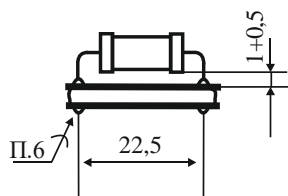
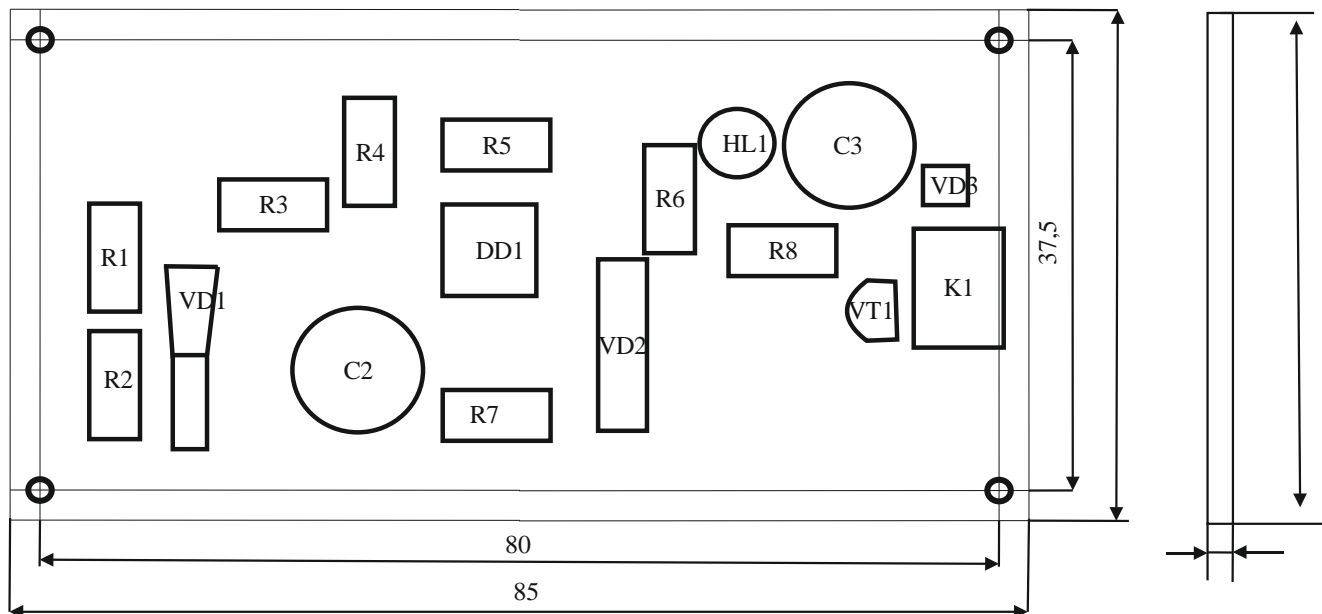
## Таблиця отворів

графіч. зображ.	діаметр КМ	діаметр отвору	наявність металу	призначення
•	1,5	1,3	так	монтажне
•	0,9	0,7	так	перехідне
○	2,4	2,0	так	монтажне
○	5,3	5	ні	кріплення

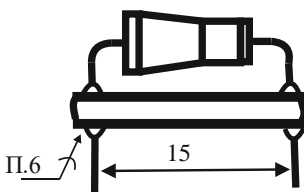
- \*
- 1. Розміри довідок
- 2. Плату зробити комбінованим позитивним способом.
- 3. Плата має відповідати ГОСТ 23752-86, група жорсткості 3.
- 4. Клас точності 3 за ГОСТ 23751-86.
- 5. Крок основної координатної сітки 1,25 мм. Лінії координатної сітки показано через 1,25 мм.
- 6. Відстань між двома провідниками, контактними майданчиками, провідником та контактним майданчиком не менше 0,25мм.
- 7. Ширина друкарського провідника 0,25 мм шини живлення.
- 8. Провідники покрити сплавом Розі за ТУ-09-4065-88.
- 9. Інші ТУ за ДСТУ 4ГО.070.015

## Додаток В

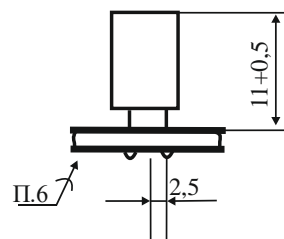
## Складальне креслення друкованої плати



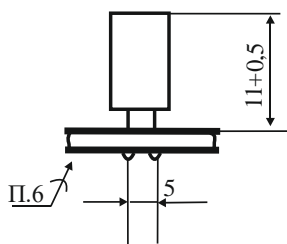
Установка R1 - R8



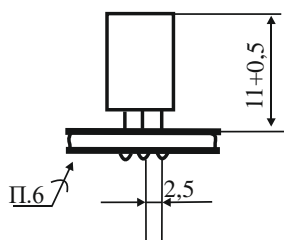
Установка VD1



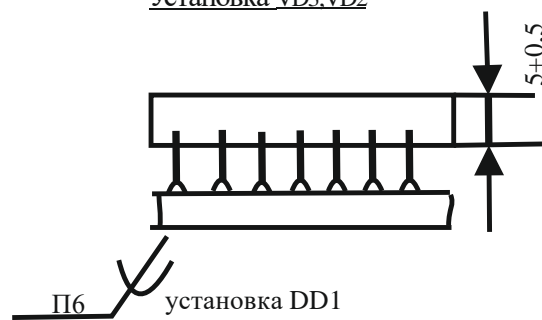
Установка VD3, VD2



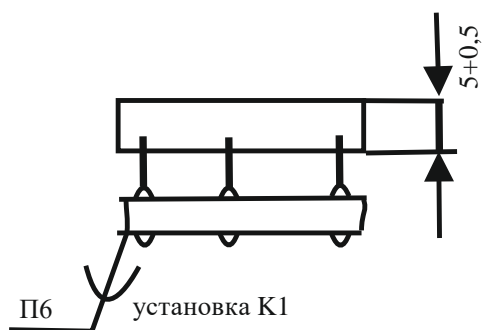
Установка C2, C3



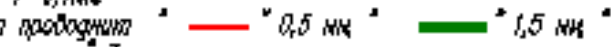


Установка VT1



установка DD1



установка K1

- 1 . Плата должна соответствовать требованиям ГОСТ 23752–79. Группа жесткости 1.
- 2 . Класс точности 3 по ГОСТ 23751–88.
- 3 .\* Размер для справки
- 4 . Конфигурацию проводников выдерживать по координатной сетке с отклонением от чертежа  $\pm 0,1$  мм
- 5 . Ширина проводника \*  \*  3 мм \*  1,5 мм \*
- 6 . Форма и размеры контактных площадок определяются доминирующими техническими средствами и устанавливаются предприятием-изготовителем фотолитоэлемента. Размер контактной площадки определяется диаметром вписанной окружности и должен соответствовать ГОСТ 23751–88.
- 7 . Маркировку травлением выполнять шрифтом 2,5–Пр3 ГОСТ 26.020–80. Допускается шрифт, вытравленный на координатном слое с программным управлением. Расстояние от маркировки до края платы не менее 0,5 мм. Допускается касание маркировочных обозначений одного печатного элемента.
- 8 . Плату печатную покрыть глянцевым защитным резином (гляцевой маской) в соответствии с технической инструкцией завода-изготовителя. Тип гляцевого защитного реза устанавливает завод-изготовитель.
- 9 . Маркировать краской PLASTSTAR OE–025, белой фирмы "SERICOL". Шрифт 2,5–Пр3 ГОСТ 26.020–80.
- 10 . Клеить краской PLASTSTAR OE–025, белой фирмы "SERICOL".
- 11 . Допускается маркировать и клеить краской прозрачной для негитивающих поверхностей ТНПФ–84, белой ТНПФ–01, черной ТУ 29–02–869–88, УНП или краской PLASTSTAR OE–001, черной фирмы "SERICOL".
- 12 . Маркировочный слой вытравить краской ТНПФ–84, белой ТУ 29–02–869–88, УНП. Шрифт 2–Пр3 ГОСТ 26.020–80.
- 13 . Условные обозначения и размеры отверстий см. табл. лист . Наименование столбцов таблицы отверстий: Hole Dia(mm)–Диаметр отверстия(мм); Qty(шт)–Условное обозначение; Quantity–Количество Plated–Наличие металлизации (Yes–Есть/No–Нет).
- 14 . Допускается замена материала на стеклотекстолит СТНФ–2–35–1,5 ТНБ–503.161.–83.
- 15 . Плотность металлизации 85 мд/см
- 16 . Обработку печатной платы по контуру выполнять фрезерованием согласно
- 17 . Дополнительные технические требования по ОСТ 10.070.014.