

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДВНЗ « Ужгородський національний університет»

Інженерно-технічний факультет

кафедра електронних систем

кваліфікаційна робота магістра

На тему: Інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом

Студента 2 курсу

Щершуна Віктора Івановича

(прізвища ініціали)

(підпис)

Керівник кандидат фіз.-мат. наук Заяць Тарас Михайлович

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвища ініціали)

(підпис)

Голова ЕК:

Ремета Є. Ю. доктор фіз.-мат. наук, зав.відділу ІЕФ НАНУ

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Заяць Т.М.- канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС.

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання.)

(підпис)

Юркін І.М.- канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС.

(прізвище, ініціали, вчені ступінь та звання)

(підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Ужгород – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
Інженерно-технічний факультет
Кафедра електронних систем

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ ____ ” _____ 2023 року

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

На кваліфікаційну роботу магістра

на тему:

**ІНТЕРФЕЙСНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ КЕРУВАННЯ
ЕКСПЕРИМЕНТОМ**

Студента групи ЕС: Віктора ШЕРШУНА

Керівник: канд. фіз.-мат наук, доц. кафедри ЕС

Тарас ЗАЯЦЬ

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Зав. кафедрою,

доц. _____ (Заяць Т. М.)

“ _____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу магістра
студенту **Шершуну Віктору Івановичу**

1. Тема кваліфікаційної роботи магістра: “Інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом”.
Затверджена на засіданні кафедри (протокол №3 від 10.10 2023р.)
2. Термін закінчення студентом кваліфікаційної роботи магістра:
10 грудня 2024 року.
3. Вихідні дані до роботи.
Розробити інтерфейсний стенд для дослідження управління експериментом, забезпечивши підключення пристроїв з двонапрямленою лінією даних.
Провести пошук аналогів стендів для керування експериментом. Вибрати порт через який відбувається управління експериментом (це може бути LPT- USB-3.0, тощо).
Обґрунтувати вибір порта (простота, швидкість). Виконати технічну пропозицію, забезпечивши 5 – 12 В. живлення.
Описати стандарти і протокол відповідного порта (LPT порта чи USB-3.0, Проаналізувати інтерфейс Centronics, стандарт IEEE 1284 а також різні режими передачі даних. Описати режими і регістри вибраного порта, Отримання даних із зовнішніх пристроїв, проаналізувати вивід даних
Провести розрахунок принципової схеми, елементів і вузлів пристрою.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці).
Вступ.
 1. Огляд та аналіз аналогів об'єкту проектування.
 2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання.
 3. Проектно-конструкторський розділ.
 - 3.1 Синтез та аналіз структурної схеми;
 - 3.2 Синтез та аналіз принципової схеми;
 - 3.3 Проектування та розрахунок друкованої плати;
 4. Розрахунок надійності;
 5. Заходи з техніки безпеки та захисту навколишнього середовища;

Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу, в тому числі обов'язкових креслень.

1. Структурна схема.
2. Принципова електрична схема.
3. Креслення друкованої плати.
4. Складальне креслення.
5. Габаритне креслення.
6. Перелік елементів.
7. Специфікація

6. Консультанти роботи, вказати з яких розділів.

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
		доц. Заяць Т.М.	Шершун В. І.
Нормоконтроль	Папп С.В.		

7. Дата видачі завдання 10 жовтня 2023 року.

Керівник роботи _____ (доц. Т.М. Заяць)
(підпис)

Завдання прийняв на виконання _____ (В.І. Шершун)
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів виконання КРМ	Термін виконання етапів	Примітки
1.	Пошук та аналіз аналогів об'єкта досліджень.	до 20.12.2023 року	
2.	Огляд та аналіз аналогів.	до 20.02.2024 року	
3.	Вибір технічного рішення та обґрунтування технічної пропозиції.	до 20.03.2024 року	
4.	Синтез структурної та принципової схем, їх розрахунок.	до 20.04.2024 року	
5.	Виготовлення конструкторської документації.	до 20.10.2024 року	
6.	Оформлення кваліфікаційної роботи магістра.	до 10.12.2024 року	
7.	Захист на державній екзаменаційній комісії.	Згідно з графіком захисту	

Студент _____ (В.І. Шершун)
(підпис)

Керівник роботи _____ (доц. Т.М. Заяць)
(підпис)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра на тему «Інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом» / УжНУ; Керівник Заяць Т.М.; Студент Шершун В.І., група ЕС.

Пояснювальна записка: 82 сторінки, 38 рисунків, 9 таблиць, 18 джерел, 7 додатків.

Графічна частина: 5 листів формату А1.

Об'єкт розробки – інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом.

Метод дослідження – аналіз прототипу та аналогів, синтез електричної структурної схеми та її реалізація у вигляді електричної принципової схеми.

При виконанні даної роботи було проведено пошук та аналіз аналогів об'єкту проектування і загальні принципи побудови. На основі цих даних та вимог технічного завдання розроблено структурну та принципові схеми. Проектно-конструкторський розділ містить синтез структурної та принципової схеми, розробку друкованої плати, опис дії пристрою і розрахунки.

ІНТЕРФЕЙСНИЙ СТЕНД, КЕРУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТОМ, СХЕМА,
ЕЛЕКТРИЧНА СХЕМА, LPT ПОРТ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ПРИСТРОЯМИ,
УПРАВЛЯЮЧІ КОЛА

ABSTRACT

Diploma project of the “Magister” degree: «Interface stand for experimental control research» / UzhNU; Supervisor: Zayats T. M.; Student: Shershun V. I., ES group.

Explanatory note: 82 pages, 38 figures, 9 tables, 18 sources, 7 appendixes.

Graphic part: 5 A1 sheets.

Object of development – an interface stand for the study of experimental control.

Research method – analysis of the prototype and analogues, synthesis of the electrical circuit diagram, and its implementation as an electrical schematic diagram.

In the course of this work, a search and analysis of analogues of the design object and the general principles of construction were conducted. Based on this data and the requirements of the technical assignment, structural and schematic diagrams were developed. The design and engineering section includes the synthesis of the structural and schematic diagrams, the development of the printed circuit board, a description of the device's operation, and calculations.

Keywords:

INTERFACE STAND, EXPERIMENT CONTROL, SCHEMATIC, WIRING DIAGRAM, LPT PORT, DEVICE CONTROL SYSTEM, CONTROL CIRCUITS

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування	10
2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання	12
3. Проектно-конструкторський розділ	54
3.1. Синтез та аналіз структурної схеми	54
3.2. Синтез та аналіз принципової схеми	56
3.3. Проектування та розрахунок друкованої плати	59
3.4. Визначення діаметрів отворів, площі контактних площадок, товщини і ширини друкованих провідників.	61
3.5. Вибір варіантів встановлення елементів РЕА	64
4. Розрахунок надійності	66
5. Заходи з техніки безпеки та захисту навколишнього середовища	77
ВИСНОВКИ	80
Список використаних джерел	81
ДОДАТКИ	
Додаток А. Структурна схема КРМ.ЕС.9583012.001.Е1	
Додаток Б. Принципова схема КРМ.ЕС.9583012.001.Е2	

					<i>КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ</i>			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом</i> Пояснювальна записка	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Шершун В.І.				У	7	82
Перевірів		Заяць Т. М.						
Т.Контр.								
Н.Контр		Панп О.В.						
Затверд.		Заяць Т. М.				УжНУ, ІТФ 2 курс, гр. ЕС		

Додаток В. Креслення друкованої плати КРМ.ЕС.9583012.001.ДП

Додаток Г. Складальне креслення КРМ.ЕС.9583012.001.СК

Додаток Д. Габаритне креслення КРМ.ЕС.9583012.001.Е5

Додаток Е. Перелік елементів КРМ.ЕС.9583012.001.ПЕ

Додаток Ж. Специфікація КРМ.ЕС.9583012.001.СП

ЕСПД
УЖНУ
2024

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

ВСТУП

В даний час намітилась тенденція до відмовлення від суто аналогових схем і переходу до цифрових з широким використанням мікропроцесорної техніки. Цифрова обробка сигналів дає широкі переваги технологічності конструкцій, економії енергоспоживання. В схемотехнічному плані в основі цифрової техніки, а також значної кількості, так названих, імпульсних пристроїв лежать електронні ключі.

Технічні реалізації цифрових схем, де сигнали представлені дискретно квантовими рівнями напруги (струму), засновані на використанні електронних комутаторів напруги (струму), які називаються електронними ключами. В якості нелінійних приладів з управляючим опором в електронних ключах використовуються напівпровідникові діоди, біполярні і польові транзистори, фототранзистори, тиристори, оптрони, електронні лампи.

Слід відмітити, що електронні ключі, на відміну від механічних, частіше всього не являються двонаправленими, тобто комутують струм і напругу одного знаку.

Слід розділяти аналогові електронні ключі, призначені для передачі аналогового сигналу з мінімальними похибками, і цифрові ключі, які забезпечують формування бінарних сигналів. Аналогові ключі лежать в основі комутаторів сигналів, котрі знайшли широке використання в техніці аналого-цифрового перетворення. Не дивлячись на збіжність в функціональному плані між цифровими та аналоговими ключами, вимоги до останніх суттєво відрізняються від вимог до цифрових ключів, що приводить до інших ідей, за якими слід розробляти аналогові ключі.

За допомогою комп'ютера можна керувати великою кількістю зовнішніх пристроїв. Це можуть бути освітлювальні пристрої, нагрівачі, електричні двигуни змінного струму, звукові колонки, монітори і т. д.

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	9
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. Огляд і аналіз існуючих аналогів об'єкту проектування

Завданням бакалаврської роботи є аналіз електронних кіл та систем керування виконавчими пристроями, які діють по командах інтерфейсного паралельного порту, та синтез блок-схеми і принципової схеми лабораторного інтерфейсного стенду дослідження керування експериментом через LPT-порт (управляючі кола). Раніше паралельні і послідовні порти розроблялись для певного використання. Паралельні порти призначались для з'єднання комп'ютерів з принтерами, послідовні — для підключення принтерів, модемів, „миші”. Принципові схеми відрізняються мобільністю і можуть використовуватись для рішення проблем з будь-яким обладнанням, що оснащено вказаними портами. Саме тому метою даної бакалаврської роботи є створення простої та надійної системи керування зовнішніми пристроями через LPT-порт. Метою проекту є створення простого і пристрою з достатньо високим рівнем надійності та швидкодії, а саме основне — відносно дешевого.

Задачею аналізу є розшифровка всіх даних, що містяться в технічному завданні. Аналіз виконують в наступній послідовності згідно пунктів:

1. Назва виробу — лабораторний інтерфейсний стенд дослідження керування експериментом через LPT-порт (управляючі кола).
2. Призначення — керування зовнішніми пристроями комп'ютера за допомогою LPT-порту.
3. Комплектність:
 - Блок керування звуковим пристроєм.
 - Блок ключів.
 - Блок силових ключів .
 - Блок керування інфрачервоними світлодіодами.

					KPM.EC.11287685.001.ПЗ	10
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Блок керування кроковим двигуном.
- Блок зворотного зв'язку.

4. Можливості – даний пристрій керується комп'ютером за допомогою програмного забезпечення, основна функція забезпечення керування експериментом.

ЕСТИФУЖНУ 2024

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	11
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Огляд і аналіз існуючих методів та схемотехнічних рішень поставленого завдання

Відразу визначимо границі можливостей пристроїв, що підключаються до порту принтера. Стандартний LPT (SPP): 8 каналів даних (вивід інформації), 4 лінії керування (тільки вивід) та 5 ліній статусу (тільки ввід), швидкість обміну — до 600 Кбіт/с. Якщо ми маємо комп'ютер на базі процесора Intel® Core™ i3-5015U і вище, то є можливість використання стандарту EPP. В такому випадку ми зможемо використовувати двоспрямовану лінію даних, 4 лінії керування (тільки вивід), 5 ліній статусу (тільки ввід) зі швидкістю передачі даних до 2 Мбіт/с.[1]

Порт принтера не містить лінії живлення на роз'ємі, тобто для активних пристроїв потрібен власний блок живлення. Тепер про те, що можливо підключити.

Схема підключення пристроїв при необхідності керування мало-споживаючими пристроями рис. 2.1. Опис роботи: байт даних програмно виставляється на лінії d0-d7, потім фіксується регістром IP22 по імпульсу з контакту 14 (AutoFD) LPT. Можна убрати із схеми регістр — LPT сам фіксує останній байт, що поступив на вихід, але якщо в мікро (ОС) мікросхеми через резистор (біля 300 Ом) з'єднати із «плюсом» напруги живлення, то після виключення комп'ютера статус ліній (включено/виключено) буде збережено. Якщо до виходів Q0-Q7 мікросхеми увімкнути транзистори або тиристори, тоді можна буде керувати потужними лампами, двигунами і т. д.

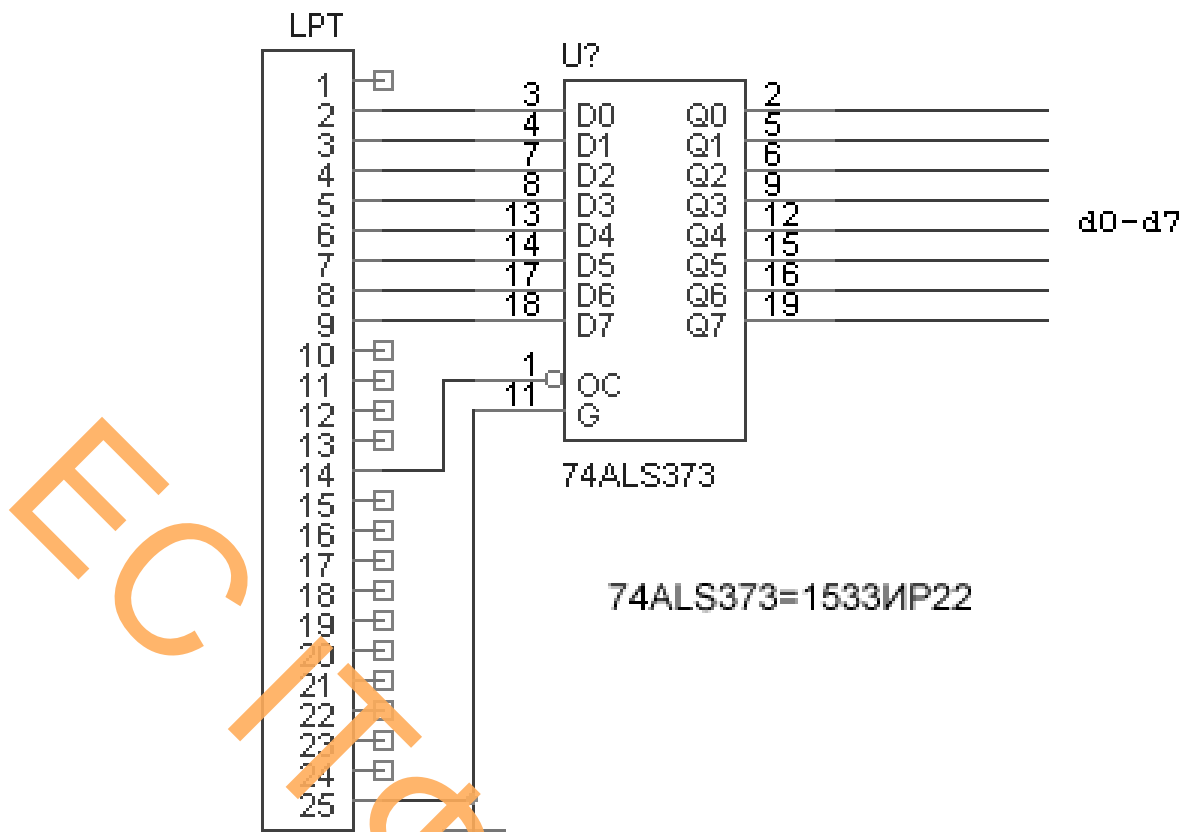


Рис. 2.1. Схема підключення пристроїв при необхідності керування мало-споживачими пристроями [5]

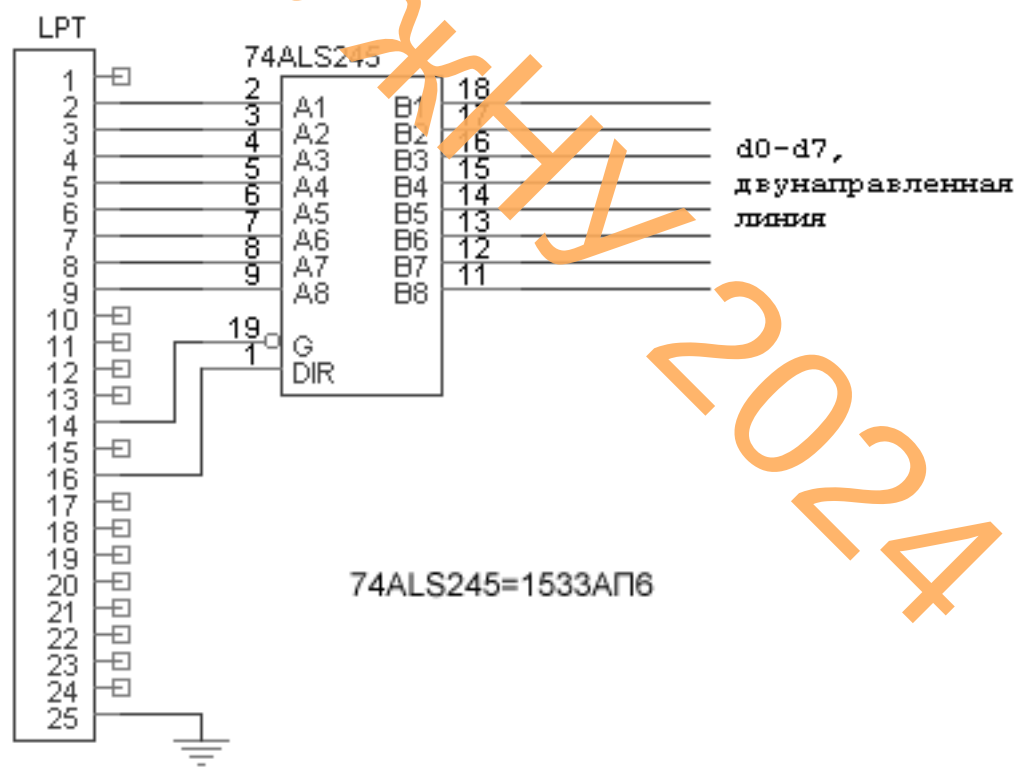


Рис.2.2. Схема підключення пристроїв якщо потрібна двунаправлена лінія даних [5]

Для випадків, коли керування пристроєм і запит його станів відбувається по сумісним каналам можна використати мікросхему АП6 — шинний драйвер рис.2.2, може передавати данні в обидві сторони. Напря́м задається сигналом DIR, входом G включають/виключають драйвер від лінії (переводять його входи/виходи в Z стан).[2]

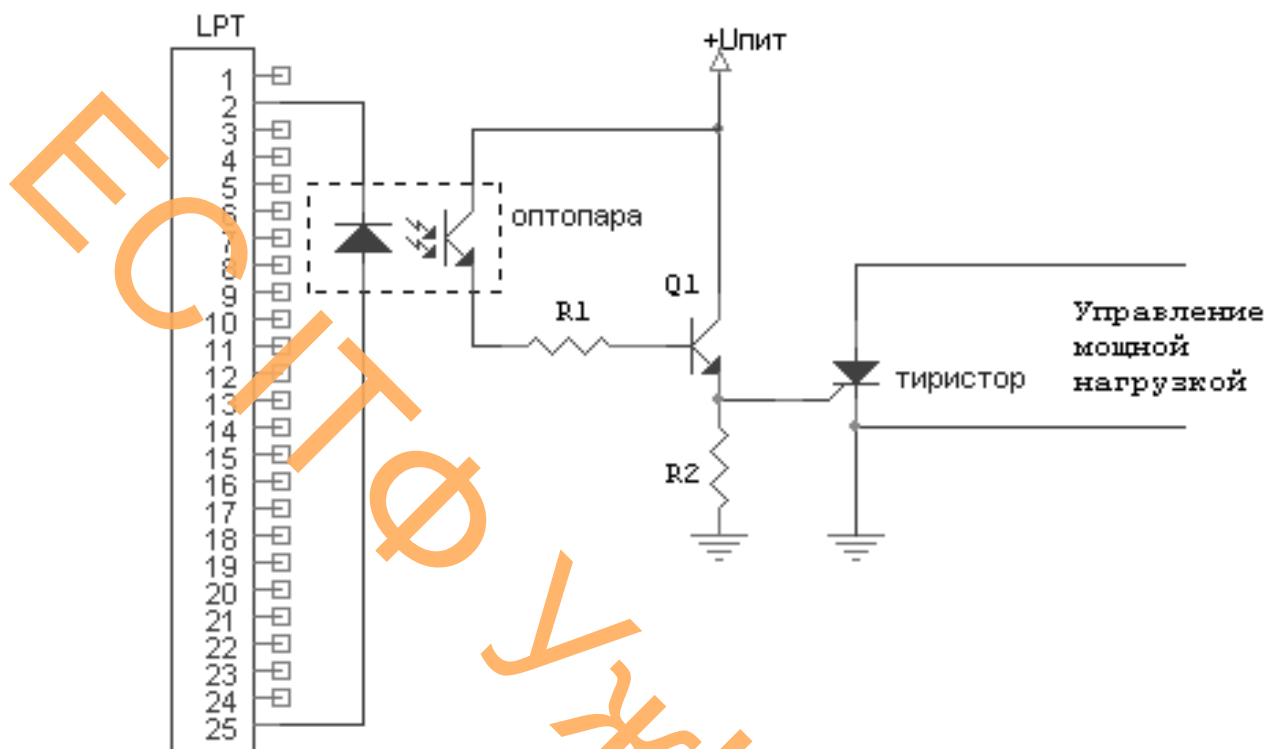


Рис. 2.3. Схема підключення пристроїв при необхідності керування потужним пристроєм [3]

При керуванні потужним пристроєм, коли комп'ютер ввімкнено, але необхідна надійна розв'язка сигналів, щоб не пошкодити порт рис. 2.3. Опора резисторів, типи транзисторів, тиристора та величина напруги живлення залежать від конкретного випадку. При виникненні небезпечних випадків таких, як попадання високовольтної лінії на "землю" або пробій тиристора і транзистора, дія високої напруги не розповсюдиться на лінії порту LPT, що запобігає його виходу із ладу.

Конкретний приклад. Підключення мікросхеми цифро-аналогового перетворювача K572ПА1 до комп'ютера по наступній схемі: Час перетворення мікросхеми — 5 мс. Для написання програми можна використати Python 3.10. На машині із процесором Intel® Core™ i5-3570 (на шині 5 GT/s DMI), частота

зміни байтів досягла 3 мс, і мікросхема ЦАП із цим справлялась. Таким чином можна отримати коливання (якщо в порт видавати послідовність від 0 до 255 і навпаки, то отримуємо синусоїду) із частотою 333 Гц.

Принципово, можна привести роз'єм для керування звуковим пристроєм. Тобто забезпечити приєднаний пристрій, керуючими сигналами, а приєднаний пристрій проектувати під цей роз'єм.

В даному курсовому проекті роботі ми приведемо декілька схемних рішень керування звуком. Як відомо для моделювання звуку потрібен генератор, і схема керування ним.

У порівнянні із аналоговими генераторами цифрові переважають великою стабільністю і точністю відображення сигналу, що у багатьох випадках є вирішальним фактором. Загальна структурна схема цифрового генератора рис. 2.4.

Він складається із генератора тактових імпульсів ГТІ; дільника частоти із змінним коефіцієнтом ділення ДПКД, що керується зовнішнім кодом; адресного лічильника АЛ; функціонального перетворювача ФП.

ДПКД потрібен для зміни часового масштабу сигналу о генерується. Форма сигналу задається ФП по мірі зміни коду лічильника АЛ (який при постійній тактовій частоті лічильника змінюється лінійно).

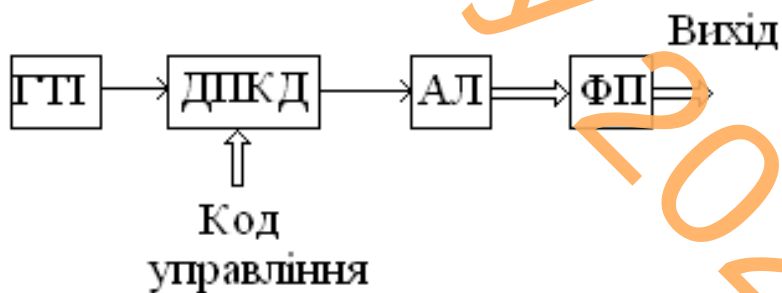


Рис.2.4. Загальна структурна схема цифрових генераторів

Якщо генерувати періодичний симетричний сигнал (наприклад, синусоїдальний) потрібно, щоб вихідний код лічильника наростав до максимального значення, а потім зменшувався до нуля, і знову наростає і т. д. Для цього можна використати схему рис. 2.5.

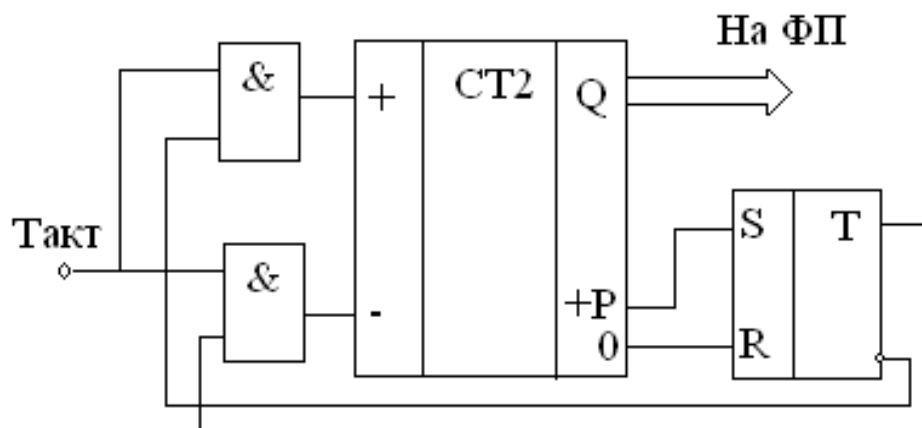


Рис.2.5. Включення лічильника для синусоїдального сигналу [9]

Принцип дії, припустимо, відкритий верхній по схемі елемент І, тактові імпульси надходять на сумуючий (+) вхід лічильника. Вихідний код лічильника зростає до максимального значення. В цей час на вході переповнення (+P) з'являється імпульс, котрий по входу S запускає тригер. На прямому виході тригера з'являється потенціал лог."1", яким відкривається нижній по схемі елемент І. Тепер тактові імпульси надходять до віднімаючого (-) входу лічильника, і вихідний код лічильника зменшується. Коли він стане рівний (0) з'явиться імпульс, який по входу R з кидає тригер. На інверсному виході тригера з'являється потенціал лог."1", котрим відкривається верхній по схемі елемент І, і по новому тактові імпульси надходять до сумуючого входу лічильника і т.д.[3]

Розглянемо декілька схем включень генераторів сигналів на логічних елементах. Най простіший генератор рис. 2.6. побудований на логічному елементі НІ .

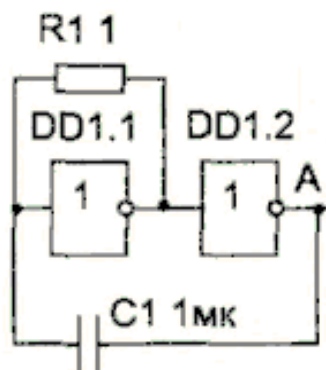


Рис.2.6. Генератор на логічних елементах [9]

Існує велика можливість поєднання таких схем, що дозволяє отримати різноманітні світлові і звукові ефекти. Якщо зібрати два генератора по схемі рис. 2.7, але з різними частотами генерації, і вихід більш низькочастотного генератора подати на вхід елемента І іншого генератора, то отримаємо перериваючі коливання.

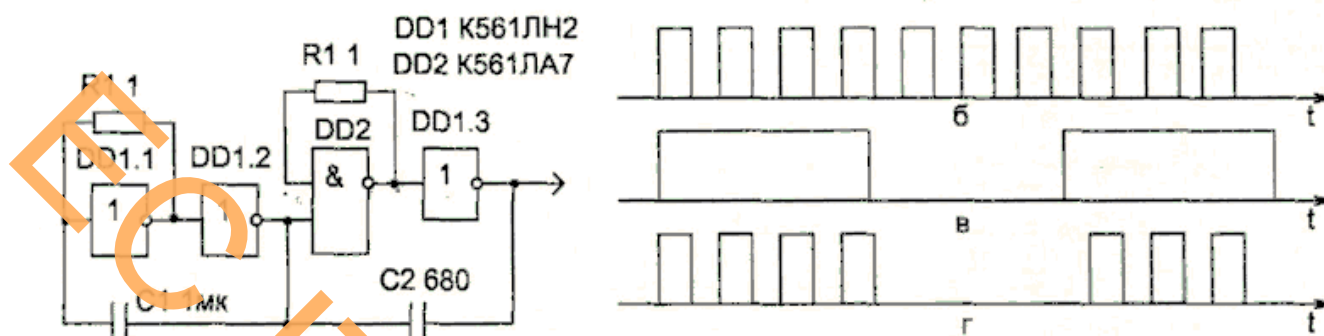


Рис.2.7. Генератор періодичних гудків [9]

На діаграмах рис. 2.6(б) і (в) показані частоти власного коливання генератора, а на рис. 2.6(г). – діаграма, яка отримується, якщо низькочастотний генератор керує роботою високочастотного. На слух таке коливання приймається, як періодичні гудки.

На рис. 2.8. зображена схема такого генератора, коли високочастотний і низькочастотний генератор працюють незалежно, але низькочастотний генератор керує двома елементами І.

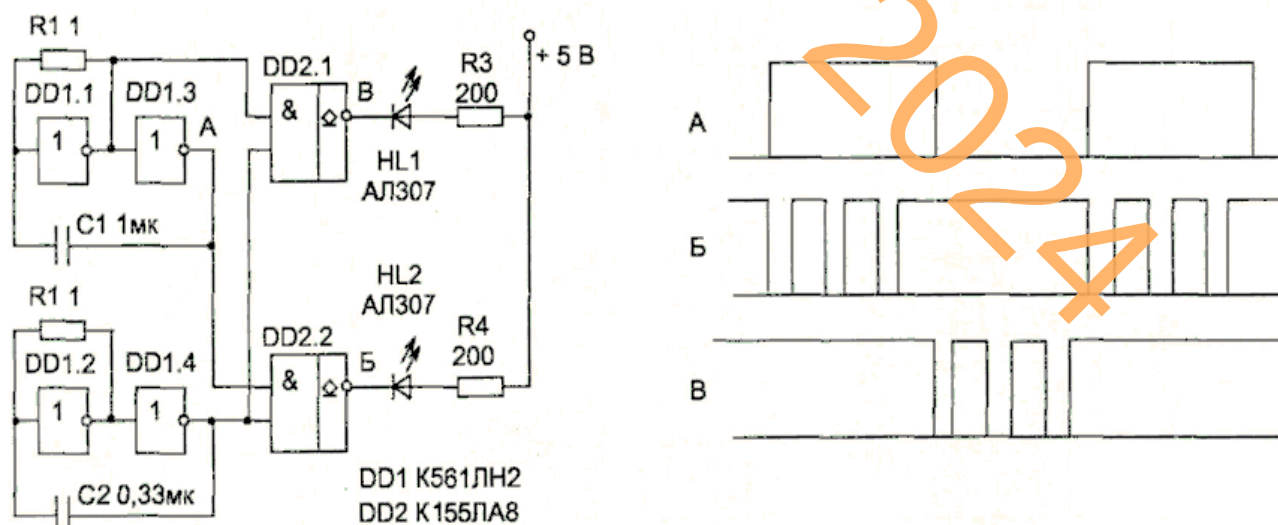


Рис.2.8. Генератор імпульсів [9]

Тому сигнали високочастотного генератора надходять на вхід то одного то іншого елемента І (діаграми в точках "Б" і "В"). Якщо до виходів елементів І під'єднати світлодіоди різного кольору, то декілька разів "спалахне" один світло діод (наприклад, червоний) потім стільки разів "спалахне" інший (наприклад зелений).

На рис. 2.9. обидва генератора увімкнуті так, що низькочастотний генератор управляє частотою коливань високочастотного.

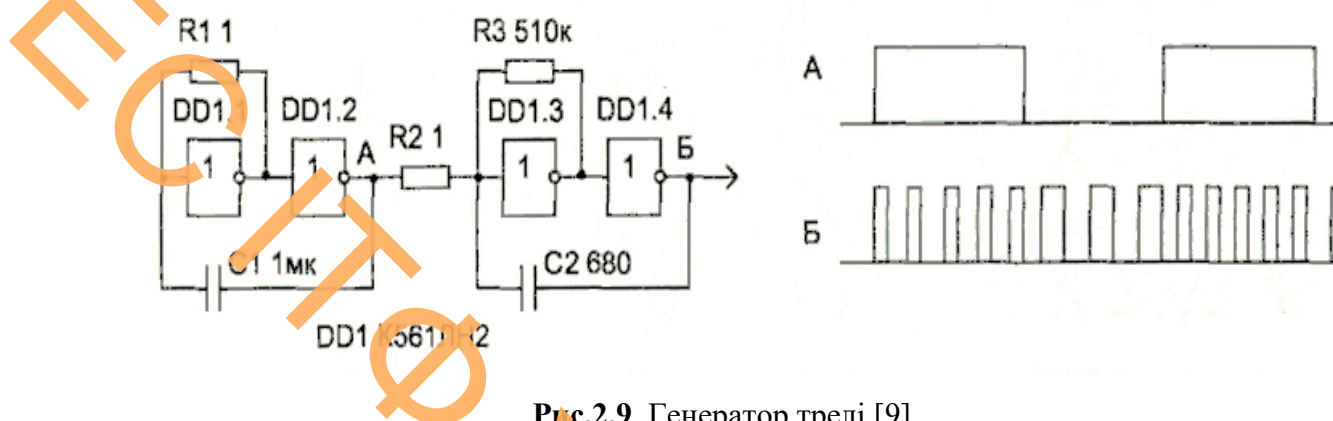


Рис.2.9. Генератор трелі [9]

Як наслідок (діаграма "Б") високочастотний генератор працює позмінно на двох частотах. На слух таке коливання сприймається, як трель.

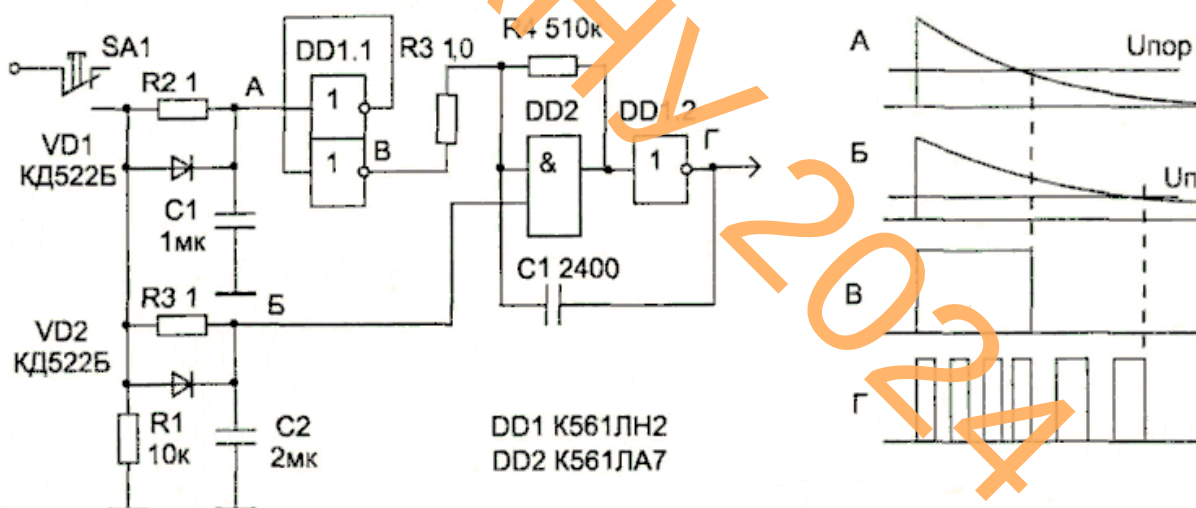


Рис.2.10. Генератор кукування зозулі [11]

Таке керування можна використовувати для отримання різноманітних звукових ефектів. На Рис. 2.10. зображено варіант схеми Рис. 2.9. При натиску кнопки SA1 ємність C1 швидко заряджається через діоди VD1 до напруги живлення, а ємність C2 – через діод VD2 також до напруги живлення. Постійна

часу розряду для C1 порядку 1с, для C2 порядку 2с. Напруга розряду C1 (діаграма "А") на двох інверторах DD1.1 перетворюється в прямокутний імпульс (діаграма "В") тривалістю приблизно 1с., який через резистор R3 моделює частоту генератора на мікросхемах DD1.2, DD2.

Під час тривалості імпульсу частота генератора 400...500Гц, при його відсутності 300Гц. Напруга розряду C2 (діаграма "Б") надходить на вхід елемента І DD2 і дозволяє роботу генератора на протязі 2с. Як наслідок (діаграма "Г") отримується двохчастотний імпульс. Якщо його подати на звуковідтворюючий пристрій, то звук буде імітувати кукування зозулі, що повторюється при кожному натисканні кнопки SA1.

Мікросхеми КМОП можуть працювати в широкому діапазоні зміни напруги живлення. Цю властивість можна використати для керування амплітудою сигналу генератора. На Рис.2.10. авто коливний генератор на мікросхемах DD1.1, DD1.2 отримує напругу живлення від схеми керування, яка складається із зарядного ланцюга R3, VD1, C2 аналогічно попередній схемі і ви токового повторювача на польовому транзисторі VT1. При натисканні кнопки SA1 ємність C2 швидко заряджається і повільно розряджається (діаграма "А").

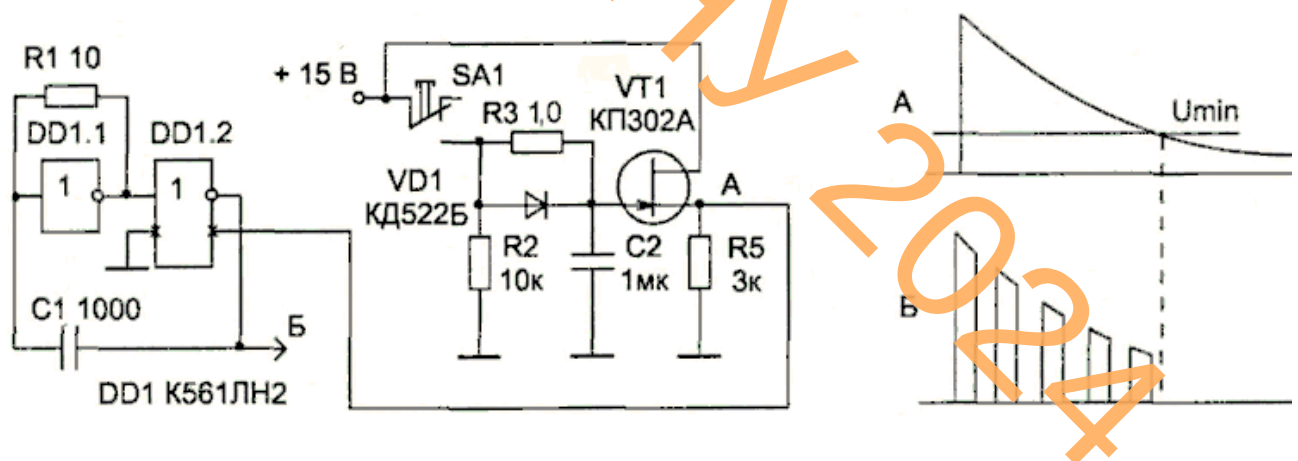


Рис.2.11. Генератор м'явчання кішки [11]

Витоковий повторювач має дуже високий вхідний опір і на роботу зарядного ланцюга не впливає. На його виході повторюється вхідна напруга, але сила струму достатня для живлення мікросхеми DD1. На виході Б генератора формується коливання із спадаючою амплітудою (діаграма "Б") до

тих пір, доки напруга живлення не стане менше допустимого (+3В для серії К561). Після цього коливання зриваються. Частота коливань генератора вибирається приблизно 800 Гц. При подані такого сигналу на звуковідтворюючий пристрій почуємо нявчання кішки.

Використання мультиплексорів в схемах генераторів дозволяє побудувати компактні схеми керування їх параметрами. У схемі Рис. 2.12. із допомогою мультиплексора на мікросхемі DD1 можна вибирати одну із восьми частот коливань генератора на мікросхемі DD2.

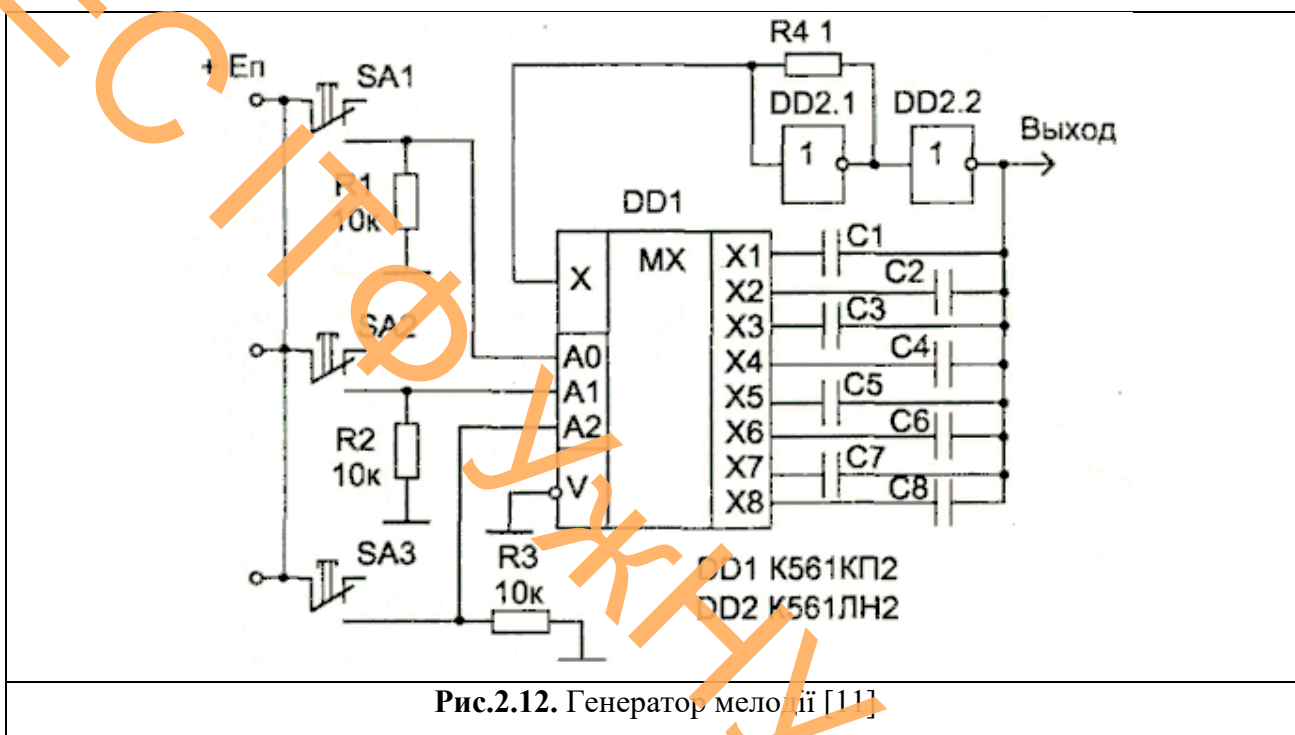


Рис.2.12. Генератор мелодії [11]

Кнопки SA1, SA2, SA3 можна натискати по одній, по дві або всі три. При подані такого сигналу на звуковідтворюючий пристрій отримаємо музикальну іграшку. Взамін кнопок можна на управляючі входи мультиплексора DD1 під'єднати лічильник, а ємності C1...C8 підібрати так, щоб отримати мелодію, тоді пристрій буде неперервно відтворювати цю мелодію.

Розглянуті і описані вище схеми генераторів, зручно використати для виконання двох пунктів технічного завдання. Застосуємо генератор сигналів на логічних елементах для керування звуковими пристроями і інфрачервоними світло діодами.

Пристрій керування кроковим двигуном

Існує два типи крокових двигунів: чотирифазні і двофазні (рис.2.13.).

Для керування кроковими двигунами використовується різноманітні алгоритми, котрі відрізняються один від одного послідовністю збудження. Всього існує три крокові послідовності: хвильова, напівкрокова та крокова. Порядок подання напруги на обмотки двигуна приведено на Рис.2.14.

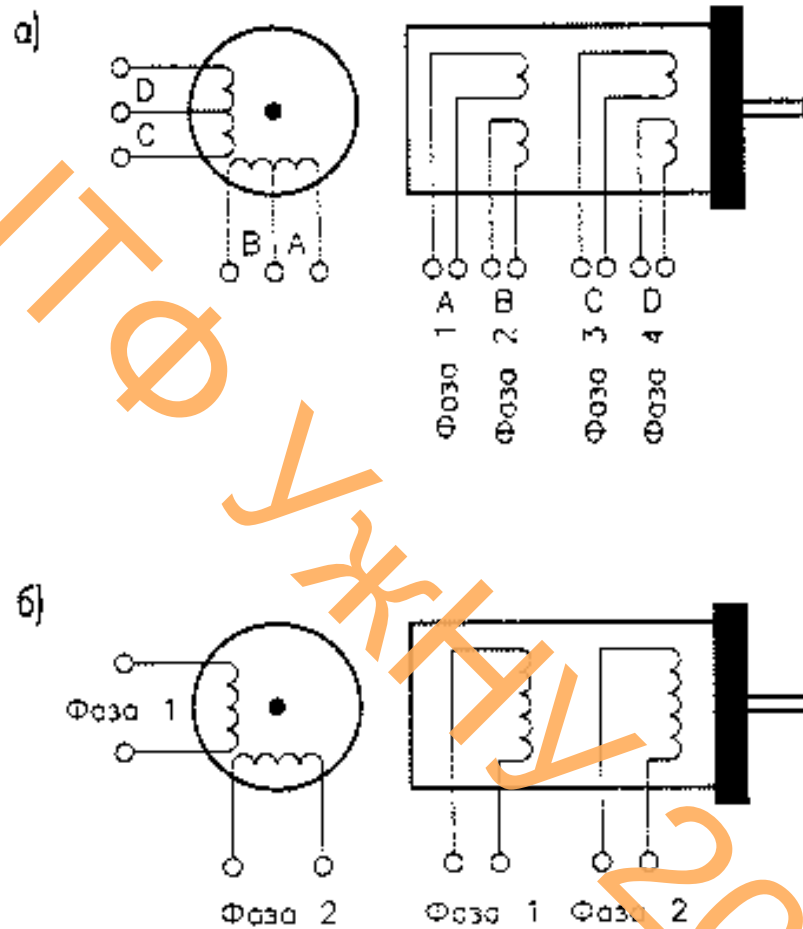


Рис. 2.13. Крокові двигуни: а) чотирифазні; б) двофазні

Шаг	A	B	C	D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	OFF	ON	OFF	OFF
3	OFF	OFF	ON	OFF
4	OFF	OFF	OFF	ON

Шаг	A	B	C	D
1	ON	OFF	OFF	ON
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	ON	OFF
4	OFF	OFF	ON	ON

Шаг	A	B	C	D
1	ON	OFF	OFF	OFF
2	ON	ON	OFF	OFF
3	OFF	ON	OFF	OFF
4	OFF	ON	ON	OFF
5	OFF	OFF	ON	OFF
6	OFF	OFF	ON	ON
7	OFF	OFF	OFF	ON
8	ON	OFF	OFF	ON

а)

б)

в)

Рис. 2.14. Крокові послідовності запуску чотирифазного двигуна:

а — хвильова; б — півкрокова; в — крокова

Хвильова послідовність збудження — найпростіший спосіб керування кроковими двигунами: обмотки збуджуються одна за одною. При цьому двигун починає обертатися в сторону, протилежну порядку збудження обмоток. Оскільки в один час збуджується одна обмотка, обертовий момент двигуна невеликий. Для його збільшення використовуються крокова послідовність, яка аналогічна попередній, але тут одразу збуджуються дві обмотки, завдяки чому збільшується обертовий момент двигуна.[4, 5]

Півкрокова послідовність збудження — це комбінація перших двох. Під час одного обороту ротора кількість циклів збудження подвоюється. При цьому режимі двигун робить більш рівно.

Для керування двигунами існують спеціальні мікросхеми.

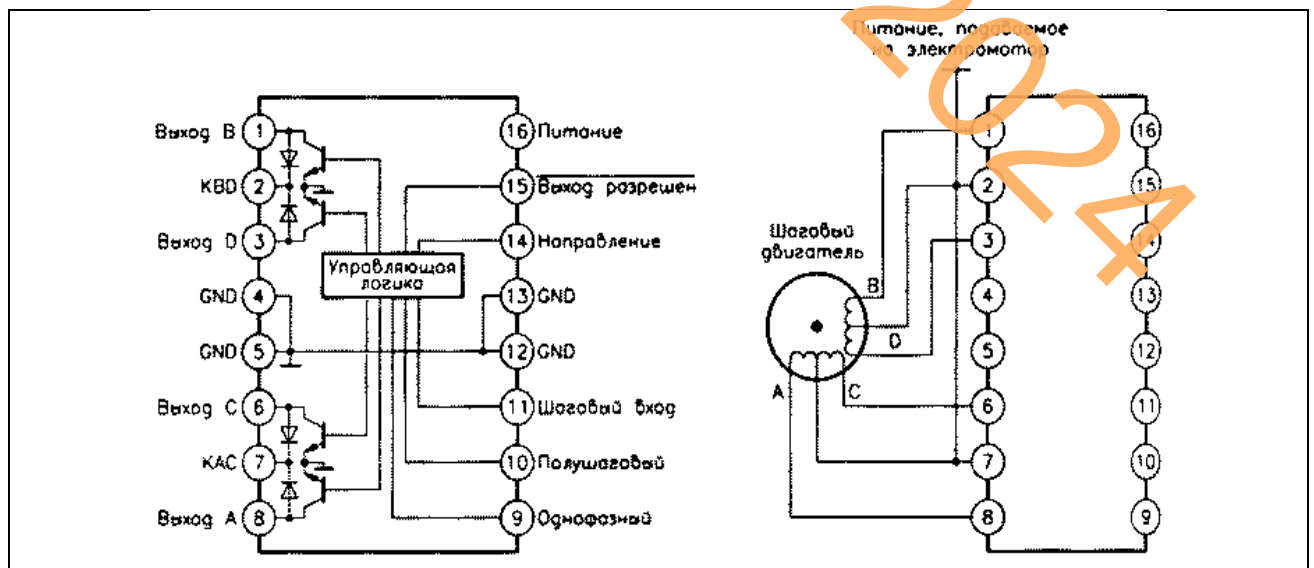


Рис. 2.15. Позначення виводів та типове включення мікросхеми UCN5804 [16]

Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Мікросхема UCN5804 (Allegro Microsystems, RS653-531) може генерувати всі три послідовності (рис. 2.15.). Для її роботи потрібні два джерела живлення: один для самої мікросхеми (контакт 16), максимальна напруга 7 В, другий для керування двигуном (контакти 2 і 7). Контакти 4, 5, 12 і 13 — „земля” джерел живлення. Контакти 1, 3, 6 і 8 конструктивно з’єднані з транзисторами Дарлінгтона (максимальна напруга 35 В, максимальний струм 1,5 А).

Контакт 15 (Вихід дозволено) керує мікросхемою. Коли на нього подати сигнал високого рівня, всі виходи будуть закриті. Контакт 14 (напрямок) встановлює напрямок обертання двигуна; контакт 11 — це „кроковий вхід”. Від’ємний фронт сигналу, поданий на нього, повертає двигун на один крок. Режими збудження двигуна встановлюються за допомогою контактів 9 і 10:

- контакт 9=0, контакт 10=0 — кроковий;
- контакт 9=1, контакт 10=0 — хвильовий;
- контакт 9=0, контакт 10=1 — напівкроковий;
- контакт 9=1, контакт 10=1 — блокування.

Під час роботи стан виводів 9, 10 і 14 можна змінити, якщо на „кроковому вході” логічна одиниця.

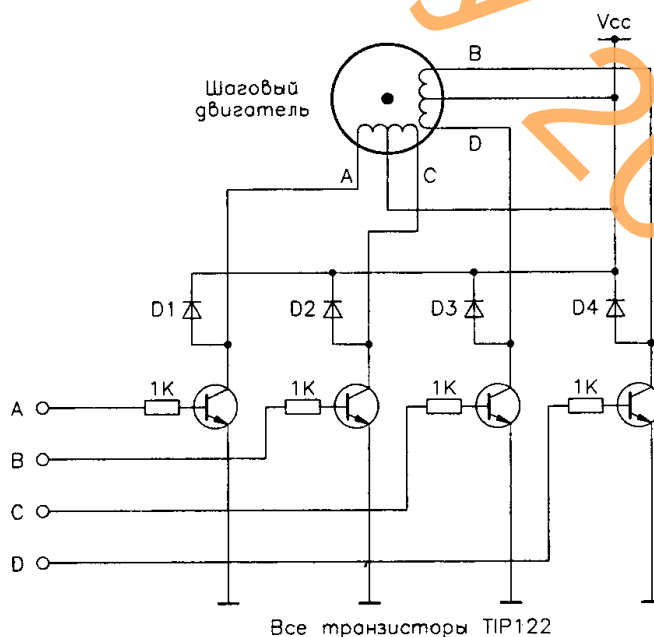


Рис. 2.16. Пристрій керування кроковими двигуном [8]

Добре відома і мікросхема SAA1027 (Philips Semiconductor, RS300-237), котра використовується для керування чотирьохфазними двигунами. Напруга живлення має бути від 9,5 до 18 В. Максимальний вихідний струм — 500 мА. Мікросхема несумісна з ТТЛ логікою. Напруга вище 7,5 В визначає рівень логічної одиниці, а напруга нижче 4,5 В — логічного нуля.

Для керування потужними двигунами можна використовувати транзистори типу TIP122. Номінальний струм такого транзистора дорівнює 5 А при напрузі до 100 В. Схема пристрою керування зображена на рис. 2.16. Входи А, В, С, D з'єднуються з комп'ютером за допомогою вище описаних мікросхем керування UCN5804 або SAA1027 через схему сполучення.

Схема керування двофазними кроковими двигунами рис.2.17. Мостова мікросхема L298N використовується для керування живленням двигуна, контролер L297 (SGS-Thomson, RS636-362) — для генерації крокових послідовностей.

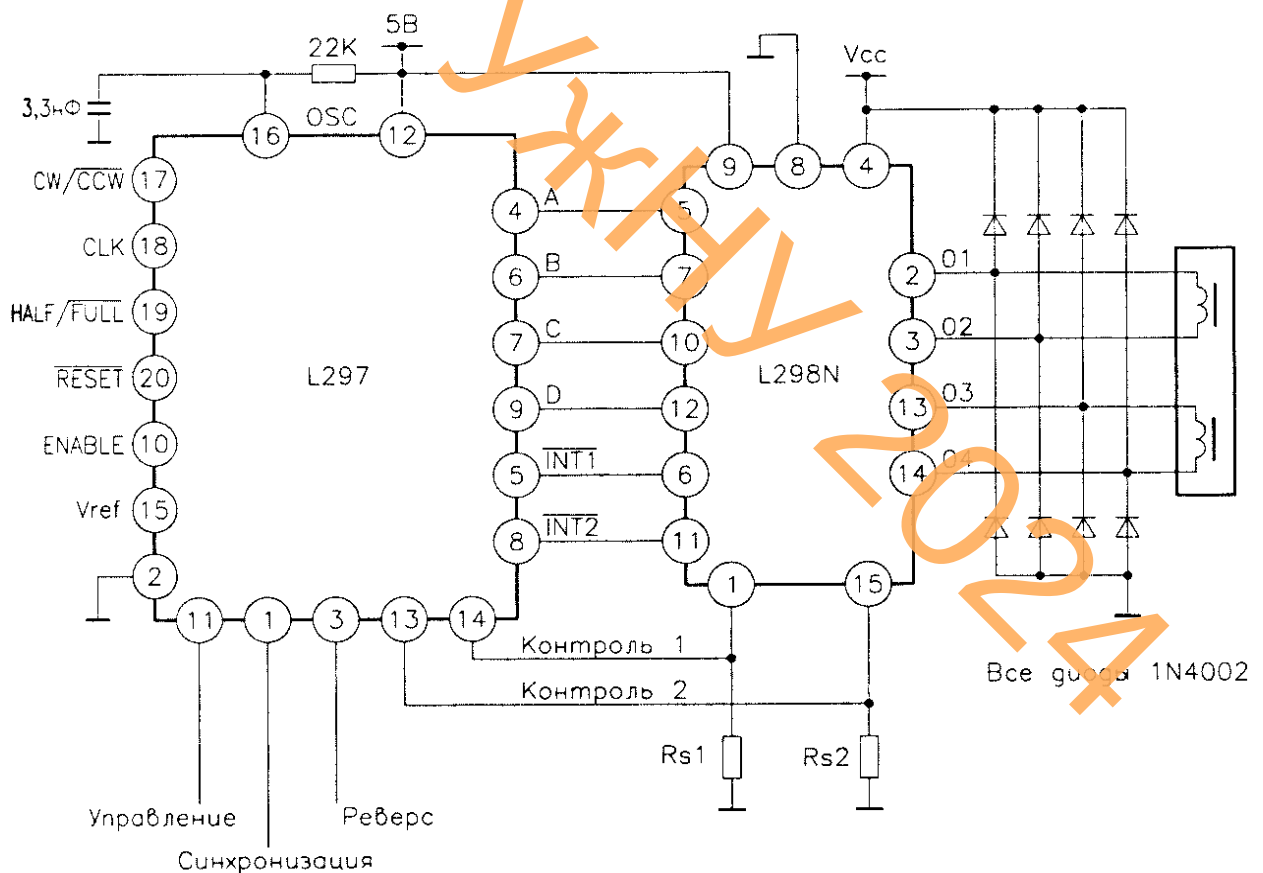


Рис. 2.17. Схема керування двофазним кроковим дисплеєм [8]

Ключі

Цифрові інтегральні мікросхеми, як правило, не здатні генерувати великий струм для керування зовнішніми пристроями. Тому управляючі кола повинні містити ключі - комутатори. За допомогою ключів можна керувати потужними і мало потужними пристроями. Далі приведено огляд типів і схемних рішень, побудови ключів.

Електричний ключ на оптопарі.

Оптопари можна використовувати для керування пристроями з малими значеннями струмів, потребуючих гальванічної розв'язки. Максимальний робочий струм обмежений характеристиками фототранзисторів. Наприклад, оптопари Дарлінгтона серії PC815 (Sharp, RS175-198) мають максимальне значення вихідного струму 80 мА, достатнє для керування реле малого струму, яке здатне робити з більш потужними пристроями (рис. 2.18). Оптопари Дарлінгтона серії PS2502 (NEC, RS590-424 і RS590-4320) підтримують струми до 160 мА.

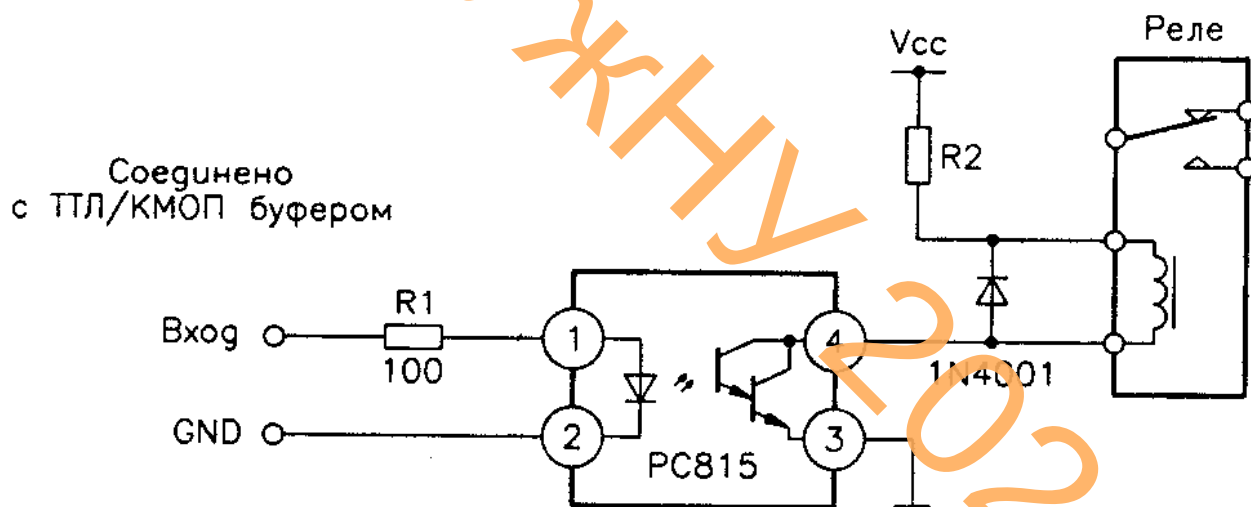


Рис. 2.18. Оптопара PC815 для керування реле [8]

Коефіцієнт передачі досягає 2000 %. Напруга, яка керує світло діодом, рівна 1,1 В, максимальний робочий струм — 80 мА. Максимальна напруга між колектором і емітером фототранзистора складає 40 В, а час насичення — 100 мкс.

Ключі на біполярних транзисторах

Досить часто використовують ключі з'єднані по схемі з спільним емітером, як показано на рис. 2.19. В ключовому режимі біполярний транзистор працює в режимі насичення (замкнутий ключ) або в режимі відсікання (розімкнутий ключ). Корисно пам'ятати, що в режимі насичення обидва переходи (колектор-база і емітер-база) відкриті, а в режимі відсікання – заперті. В режимі насичення вихідне коло транзистора можна представити еквівалентним джерелом напруги, величина ЕРС котрого приводиться в довідниках ($U_{КЕНАС}$ — напруга насичення). Строго кажучи, слід враховувати також внутрішній опір цього джерела, величина котрого визначається крутизною нахилу лінії граничного режиму. Однак, в більшості практично важливих випадків для інженерних розрахунків можна обмежитись величиною $U_{КЕНАС}$. Резистори R_B і R_K мають забезпечувати надійне запирання транзистора при низькому рівні управляючого сигналу на всьому діапазоні робочих температур і насичення при високому рівні управляючого сигналу.

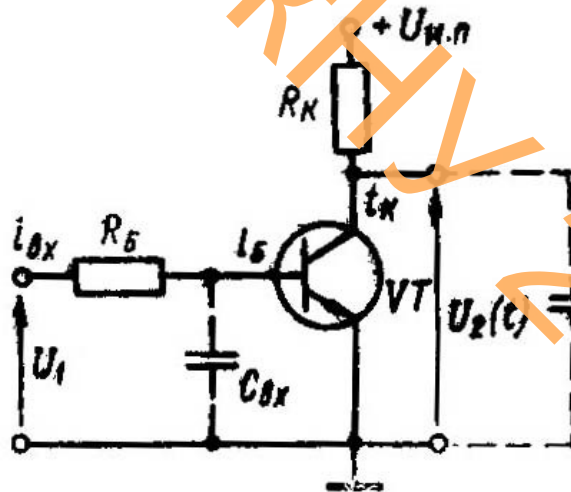
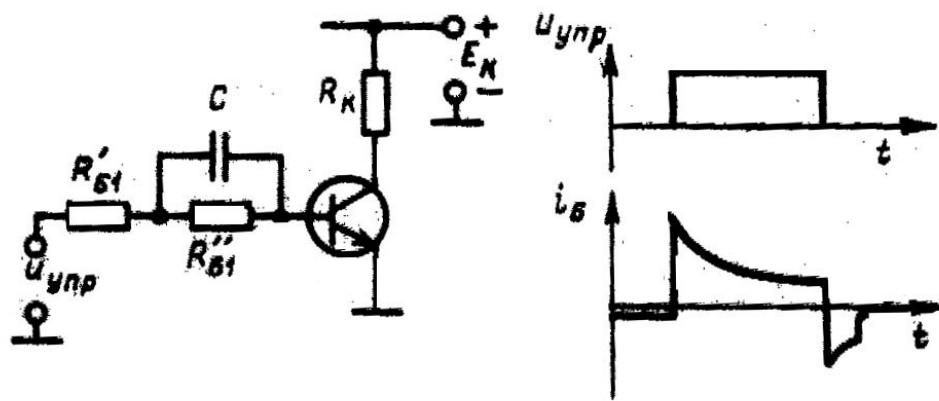
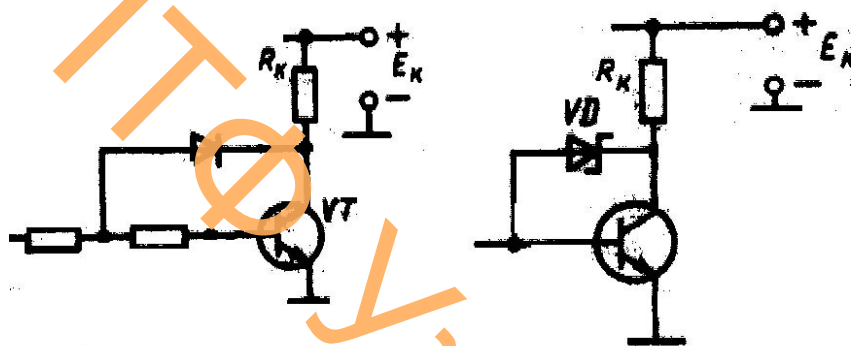


Рис. 2.19. Схема електронного ключа на біполярному транзисторі [13]

Переключення транзистора досить тривале в часі, тому існують схемотехнічні методи підвищення швидкодії ключа: форсуюча ланка (рис. 2.20а) та нелінійний зворотній зв'язок (рис. 2.20б).



а) Ключ з форсуючою ланкою



б) Ключ з нелінійним зворотнім зв'язком

Рис. 2.20. Схемотехнічні методи підвищення швидкодії [8]

Принцип роботи форсуючої ланки такий: при відпиранні транзистора струм бази визначається процесом заряду форсуючої ємності (швидкий перехід в режим насичення), в окритому стані струм бази визначається резистором, величина котрого вибирається таким чином, щоб забезпечити неглибоке насичення транзистора. Таким чином, зменшується час розсмоктування неосновних носіїв в базі.

При використанні нелінійного зворотного зв'язку використовується діод, включений між базою та колектором транзистора. Закритий діод не впливає на роботу схеми, коли ключ відкривається, діод стає зміщеним в прямому напрямку, а транзистор охоплений глибоким від'ємним зворотним зв'язком. Для зменшення часу виключення необхідно забезпечити малий час відновлення зворотного опору діода, для чого використовуються діоди с

бар'єром Шоткі. Монолітна структура діод Шоткі — біполярний транзистор називається транзистором Шоткі.

Ключі на біполярних транзисторах мають ряд недоліків, які обмежують їх використання:

- Обмежена швидкодія, викликана кінцевою швидкістю розсмоктування неосновних носіїв в базі;
- Значна потужність, яка споживається колами управління в статичному режимі;
- При паралельному включенні біполярних транзисторів необхідне використання вирівнюючих резисторів в колах емітерів, що приводить до зниженню ККД схеми;
- Термічна нестійкість, котра визначається ростом струму колектора при збільшенні температури транзистора.

Електронні ключі на польових транзисторах

В даний час проходить активне витіснення біполярних транзисторів із області ключових пристроїв. В значній мірі альтернативою служать польові транзистори. Польові транзистори не споживають статичну потужність в колі керування, в них відсутні неосновні носії, а, значить, не потрібний час на їх розсмоктування, на кінець, ріст температури приводить до зменшення струму стоку, що забезпечує підвищену термостійкість.

Із всього різноманіття польових транзисторів для побудови електронних ключів найбільш розповсюдженими є МОП-транзистори з індукованим каналом. Транзистори цього типу характеризуються пороговою напругою, при котрій виникає провідність каналу. В області малих напруг між стоком і витком (відкритий транзистор) можна представити еквівалентним опором (на відміну від насиченого біполярного транзистора — джерела напруги). Довідкові дані на ключові транзистори цього типу включають параметр $R_{CBвідкр}$ — опір стік-виток у відкритому стані. Для низьковольтних транзисторів величина цього опору складає десятки–сотні Ом, що обумовлює малу потужність, яка розсіюється на транзисторі в статичному режимі. На

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	28
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

жаль, $R_{C\text{Відкр}}$ помітно зростає при зростанні максимально допустимої напруги стік-витік.[6]

Необхідно враховувати, що режим насичення для МОН-транзистора принципово відмінний від режиму насичення біполярного транзистора. Перехідні процеси в ключах на польових транзисторах обумовлені переносом носіїв через канал і перезарядженням міжелектродних ємностей та ємностей навантаження і монтажу. Оскільки електрони мають більш високу швидкодію, ніж дірки, то n-канальні транзистори мають кращу швидкодію в порівнянні з р-канальними.

В схемотехніці ключових пристроїв на польових транзисторах частіше за інших використовується схема із спільним витоком, представлена на рис. 2.21а.

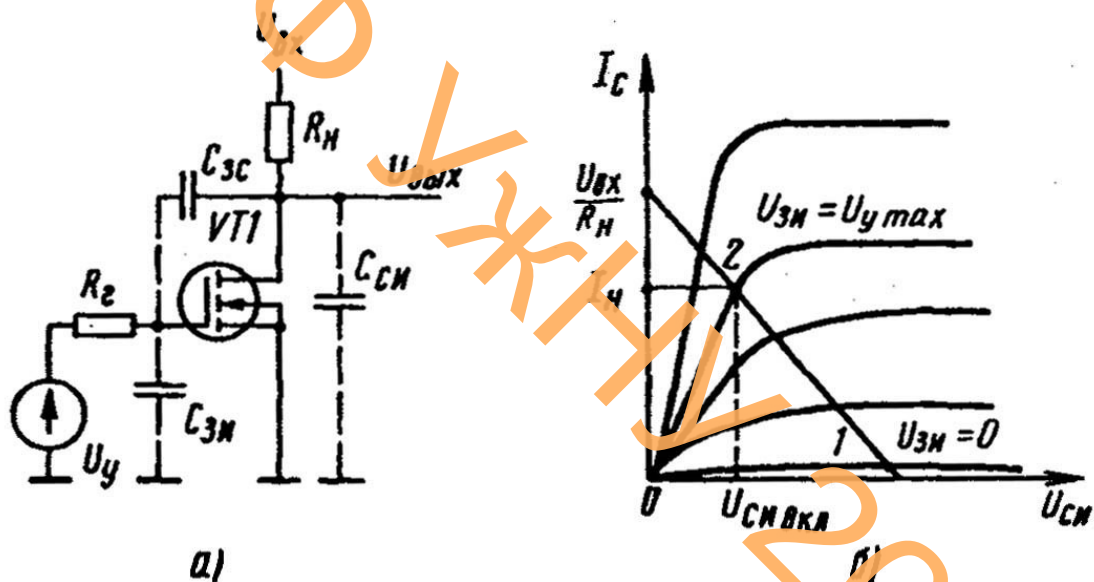


Рис. 2.21. Ключ на МОН транзисторі з індукованим затвором

Коли транзистор закритий, через нього протікає некерований (початковий) струм стоку. При відкритому транзисторі струм через транзистор має визначатися величиною опора навантаження та напругою живлення. Для надійного відпирання транзистора амплітуда управляючої напруги вибирається з умови:

$$U_{y\text{max}} > (1.2 \dots 1.5)(U_0 + I_H / S_0), \quad (2.1)$$

де $I_H = \frac{E}{R_H + R_{CB}}$ — струм навантаження,

U_0 — порогова напруга,

S_0 — крутизна ВАХ.

В даний час випускається достатня номенклатура транзисторів, для керування якими достатня напруга ТТЛ - рівня.

Перехідні процеси в ключах на МОН транзисторах проходять, як показано на рис. 2.22.

На першому етапі проходить зарядження ємності $C_{зв}$ і перезарядження $C_{зв}$ до напруги на затворі, рівній пороговій. Транзистор при цьому залишається закритим. Тривалість цього етапу:

$$t_1 = R_i(C_{зс} + C_{зв}) \ln\left(\frac{U_y}{U_{y\max} - U_0}\right). \quad (2.2)$$

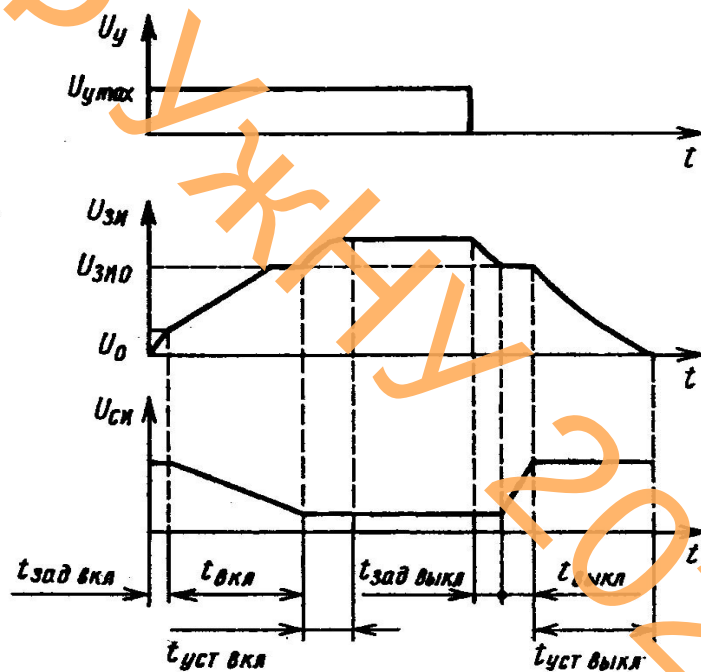


Рис. 2.22. Епюри напруги в ключі на ПТ

На другому етапі транзистор відпирається і переходить в активний підсилений режим. На цьому етапі перезарядження $C_{зс}$ сповільнюється за рахунок дії від'ємного зворотного зв'язку (ефект Міллера). Протягом 3-го етапу напруга на затворі залишається практично постійною. По закінченні перезарядження ємності $C_{зс}$ напруга на затворі зростає до величини $U_{y\max}$. Виключення проходить в зворотному порядку.

Для простоти розрахунку тривалості перехідних процесів в ключах на МОН-транзисторах використовують параметр — заряд включення $Q_{звкл}$. Наприклад, транзистор с $Q_{звкл} = 20$ нКл можна включити за 20 мкс струмом в 1 мА і за 20 нс струмом в 1 А. Вказаний параметр приводиться в довідниках і визначається виробником експериментальним шляхом.

Ключові МОН-транзистори характеризуються максимально допустимою швидкістю зміни напруги стік-витік (dv/dt). При перевищенні вказаної величини можливо спонтанне відпирання транзистора з непередбаченими результатами. Існує дві причини, які обумовлюють це обмеження:

По-перше, передача напруги U_{CB} на затвор транзистора через ємнісний діляник $C_C / C_{зв}$ під дією dU_{CB} / dt . Величину напруги на затворі, викликану зміною напруги U_{CB} при виключенні транзистора, можна оцінити за формулою:

$$U_{зв} = \frac{1}{1 + C_{зв} / C_{зс}} \frac{dU_{CB}}{dt} t_{вкл}. \quad (2.3)$$

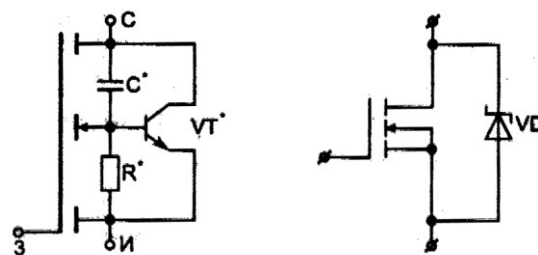


Рис. 2.23. Паразитні структури в МОН-транзисторі

Слід також мати на увазі, що величина U_0 знижується з ростом температури. По-друге, технологія виготовлення МОН-транзисторів приводить до формування паразитного біполярного транзистора (рис. 2.23). В результаті дії механізму, який вищеописаний, можливо спонтанне відпирання цього паразитного транзистора і перехід в режим пробою.

Для виключення цих ефектів слід точно виконувати рекомендації виробника і прямуватись до того, щоб джерело управляючого сигналу в колі затвора мало мінімальний внутрішній опір.

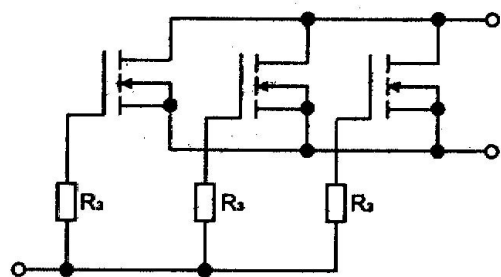


Рис.2.24. Схема паралельного включення ПТ

При необхідності збільшення комутуючої потужності можливе паралельне включення польових транзисторів (рис.2.24). При цьому необхідно використовувати транзистори з близькими значеннями порогових напруг і встановлювати в кола затвора опори, призначені для зменшення взаємного впливу транзисторів один на одного при виключенні («дзвін»).

Транзисторні пристрої комутації

Для цього використовуються як приклад n-p-n транзистори BC108C і ZTX300 (рис. 2.25а), які мають максимальне значення струму колектора 100 і 500 мА з максимальним рівнем потужності в 300 і 500 мВт. Максимальна напруга між колектором і емітером рівна 20 В для BC108C і 25 В для ZTX300. Максимальна робоча частота — відповідно 300 і 150 МГц. При роботі на індуктивне навантаження, таке як реле чи електродвигун, слід використовувати захисні діоди; при роботі на активне навантаження їх використовувати необов'язково.

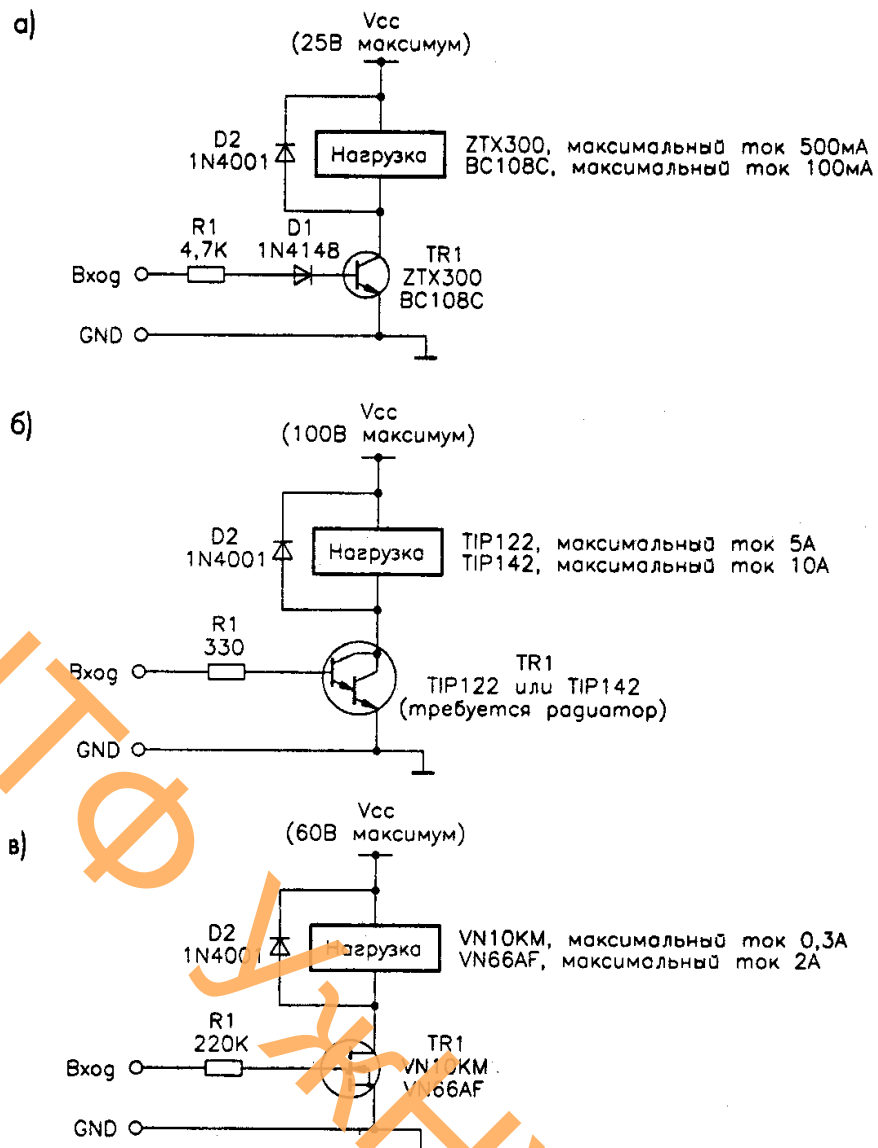


Рис. 2.25. Пристрої керування: а — на базі біполярного транзистора; б — на транзисторі Дарлінгтона; в — на польовому транзисторі [16]

Пристрої комутації на польових транзисторах

На рис. 2.25в зображена схема на базі польових транзисторів VN10KM або VN66AF. Для того, щоб МОП транзистор відкрився, на нього необхідно подати пряму напругу зміщення порядку 0,8 В. Пряме зміщення порядку 5 В істотно впливає на провідність. Оскільки вхідний опір пристрою на польовому транзисторі надто великий, з'єднати його напругу з вихідним портом комп'ютера неможливо. Таким приладом слід керувати через транзистор. VN10KM витримує максимальну напругу 60 В і струм 310 мА, VN66AF робить при максимальній напрузі 60 В і струмі 2 А. Час насичення — біля 15 нс.

Пристрої комутації на основі схеми Дарлінгтона

На рис. 2.256 зображена схема на базі потужного транзистора Дарлінгтона TIP122 або TIP142. TIP122 керує напругами до 100 В і струмами до 5 А. Максимальна потужність розсіювання — 65 Вт. Транзистори Дарлінгтона відкриваються при напрузі 1,2 В між базою і колектором і можуть підсилювати струм в 5000 разів. Значить, напруга на базі, котра перевищує 1,2 В, викличе режим насичення транзистора. База з'єднується з ТТЛ входом через резистор. TIP142 функціонує при колекторному струмі 10 А. Максимальна робоча частота цих транзисторів дорівнює 5 МГц. Для індуктивного навантаження мають використовуватись захисні діоди.

Ключі на польових МОН-транзисторах

Дуже часто польові транзистори, головним образом МОН-транзистори, використовуються в якості аналогових ключів. В силу своїх властивостей, таких, як малий опір в провідному стані, надто високий опір в стані відсікання, малі струми витоку і мала ємність, вони являються ідеальними ключами, управляючими напругами для аналогових сигналів. Ідеальний аналоговий ключ веде себе як механічний вимикач: пропускає сигнал до навантаження без ослаблення або нелінійних викривлень.

VT1 — це n-канальний МОН-транзистор з індукованим каналом, не провідний струм при заземленому затворі або при від'ємній напрузі затвора. В цьому стані опір сток - виток, як правило, більше 10000 МОм, і сигнал не проходить через ключ. Подача на затвор додатної управляючої напруги (більше $U_{пор}$) приводить канал стік-витік в провідний стан з типовим опором від 25 до 100 Ом ($R_{вкл}$) для транзисторів, призначеннях для використання в якості аналогових ключів. Схема не критична до значення рівня сигналу на затворі, оскільки він суттєво більш додатний, ніж це необхідно для підтримання малого $R_{вкл}$, а тому його можна задавати від логічних схем; можна використовувати вихід ТТЛ для отримання рівнів, які відповідають повному діапазону живлення, за допомогою зовнішнього транзистора, або навіть операційного підсилювача (ОП). Зворотне зміщення затвора при

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	34
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

від'ємних значеннях на виході ОП буде давати додаткову перевагу — можливість переключати сигнали будь-якої полярності. Відмітимо, що аналоговий ключ такого типу — двонаправлений пристрій, тобто він може пропускати сигнал в обидві сторони.

Приведена схема буде працювати при додатні сигналах, які не перевищують ($U_{КЕР} — U_{ПОР}$); при більш високому рівні сигналу напруга на затворі буде недостатньою, щоб утримувати транзистор в стані провідності ($R_{ВКЛ}$ починає зростати); від'ємні сигнали викличуть включення при заземленому затворі (при цьому появиться пряме зміщення переходу канал-підкладка). Якщо потрібно переключати сигнали обох полярностей, то можна використати таку ж схему, але із затвором, який управляє двополярною напругою, при цьому підкладка має бути з'єднана до від'ємної напруги.

Для любого ключа на польовому транзисторі важливо забезпечити опір навантаження в діапазоні від 10 до 100 кОм, щоб запобігти ємнісне проходження вхідного сигналу в стан «ВИКЛ», котре мало би місто при більшому опорі. Значення опору навантаження вибирається компромісним. Малий опір зменшить ємнісний витік, але викличе ослаблення вихідного сигналу із-за діляника напруги, утвореного опором провідного транзистора $R_{ВКЛ}$ і опором навантаження. А так як $R_{ВКЛ}$ міняться із зміною вхідного сигналу, то це ослаблення приведе до декотрої небажаної нелінійності. Надто низький опір навантаження проявляться також і на вході ключа, навантажуючи вхідний сигнал. Привабливою альтернативою являться також використання ще одного ключа, який закорочує вихід на землю, якщо транзистор, включаючи сигнал, знаходиться в стані «ВИКЛ». таким образом, формується однополюсний ключ на два напрямки.[7]

Часто необхідно переключати сигнали, порівнянні по величині з напругою живлення. В цьому випадку описана вище проста схема працювати не буде, оскільки при піковому значенні сигналу затвор не буде мати достатнє зміщення. Задача переключення таких сигналів розв'язується застосуванням перемикачів на комплементарних МОН-транзисторах (КМОН) (рис. 2.26).

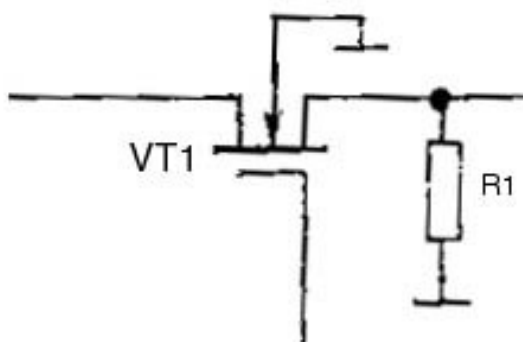


Рис. 2.26. Аналоговий ключ на МОН транзисторі [12]

При високому рівні управляючого сигналу VT1 пропускає сигнали з рівнями від землі до E_H без декількох вольт. VT2 пропускає сигнал з рівнями от E_H до значення на декілька вольт вище рівня землі. Таким чином, всі сигнали в діапазоні от землі до E_H проходять через схему, яка має малий опір. Переключення управляючого сигналу на рівень землі запирає обидва транзистора, розмикаючи, таким чином, коло. В результаті отримується аналоговий перемикач для сигналів в діапазоні від землі до E_H . Це основа схеми КМОН «передаючого вентиля» 4066 (K561КТ3). Як і описанні раніше ключі, ця схема працює в двох напрямках — будь-який її термінал може служити вхідним.

Польові транзистори з управляючим р-n переходом (рис. 2.27) можна використовувати і як аналогові ключі, але потрібна обережність по відношенні до сигналу на затворі, для того, щоб не виник струм затвора.

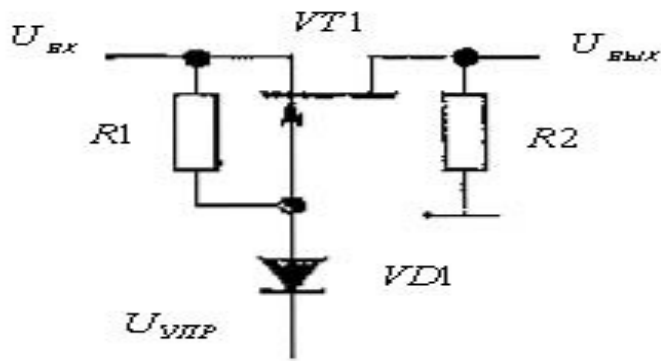


Рис. 2.27. Ключ на транзисторі з керуючим р-n-переходом [12]

Напруга затвору має бути суттєво нижче потенціалу землі для утримання ПТ в стані відсікання. Це значить, що якщо напруга сигналу становиться від'ємною, то напруга затвору має утримуватись, по крайній мірі, на $U_{ВДС}$ нижче найменшого мінімуму сигналу. Для приведення транзистора в стан провідності управляючий сигнал має стати більше максимального додаткового значення вхідного сигналу. Коли ключ замкнутий, діод має обернене зміщення і затвор зв'язаний з витоком через резистор R_1 опором 1 МОм, тобто знаходиться під потенціалом витоку.

Можна побудувати схему аналогового ключа на транзисторі з управляючим р-n-переходом, якщо застосовувати ОП, оскільки можна зв'язати витік транзистора з потенціальною землею в сумуючій точці інвертованого підсилювача (рис. 2.28).

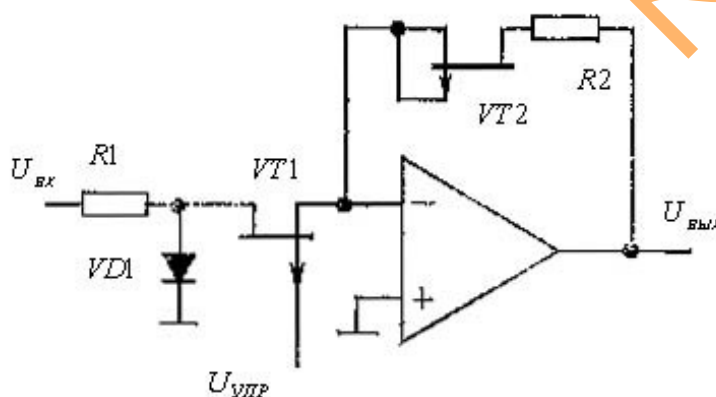


Рис.2.28. Прецезійний аналоговий ключ [12]

Тоді для відпирання транзистора потрібно просто подати потенціал землі на затвор. Цей спосіб дає додаткову перевагу, котра полягає в точній компенсації помилок, виникаючих через кінцеве значення $R_{вкл}$ і його нелінійність.

Схема має дві особливості:

а) коли VT1 включений (затвор заземлений), вся схема представляє собою інвертор з однаковим повним опором в колах входу і зворотного зв'язку. Це компенсує всі ефекти, зв'язані із скінченністю та нелінійністю опору включеного стану, якщо транзистори узгоджені по параметру $R_{вкл}$.

б) завдяки малій напруги відсікання схема буде працювати при управляючому сигналі від 0 В до +5 В, що є вдалим для роботи с ТТЛ. Включення в інвертованій схемі з приєднанням витоку VT1 до потенціальної землі (сумуюча точка) спрощує роботу схеми, оскільки немає коливань сигналу на витоку VT1 у включеному стані; діод перешкоджає включенню ПТ при додатних сигналах і закритому VT1 і не робить ніякої дії при замкнутому ключі.

Цей же метод компенсації застосовується і для ключів на МОН-транзисторах.

Вітчизняна та зарубіжна промисловість випускають широку номенклатуру мікросхем, призначеннях для комутації аналогових сигналів. Вітчизняна промисловість випускає аналогові ключі серії 596 та серії 561, із зарубіжних відомі ключі фірми Analog Devices (ADC), значна кількість комутаторів аудіо- і відеосигналів фірм Philips, Sanyo та ін.

Пристрої комутації на МОН транзисторах із захистом

Потужні пристрої керування на базі МОН транзисторів із захистом, іноді їх називають твердотільними реле, грають роль перемикачів в силових ланцюгах цифрових систем керування. Вхідне керування сумісне з п'ятивольтовими логічними рівнями. В цих елементах використовується вбудована схема термоконтролю, яка захищає їх від перегріву, короткого замикання і великих величин струму. Вона перекриває вихід при температурі 140°C , а коли температура падає до 125°C , термозахист вимикається. Такі пристрої, як правило, мають інформаційний вихід, який низьким рівнем сигналізує про спрацювання вбудованих ланцюгів захисту.

Транзистор BTS410 (рис. 2.28) здатен керувати напругами в діапазоні 4,9—40 В, поріг спрацювання захисту від перенапруги порядку 42—52 В. Максимальна робоча температура рівна 150°C . В залежності від температури рівень перевищених значень струму коливається в межах 3,1—21 А. Цей пристрій має низький опір увімкнутому стані на всьому діапазоні температур. Час включення та виключення складає 60 і 50 мкс відповідно. Вхідна напруга включення змінюється від 2 до 5 В, виключення — від до 0,8 В. Вхідний струм дорівнює 25 мкА при вхідній напрузі 3,5 В.

Ще два приклади таких пристроїв — VN05N і VN20N. Їх виходи, і типова схема включення, показані на рис. 2.29. VN05N розрахований на вихідний струм 12 А, а VN20N — на 28 А.

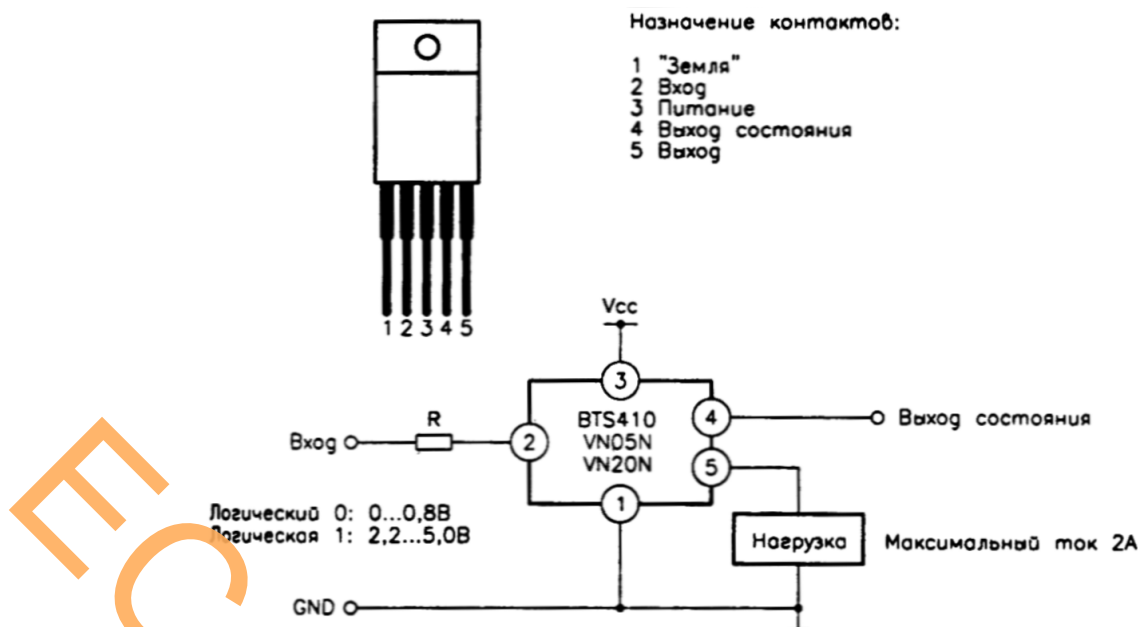


Рис. 2.29. Пристрій керування на МОН транзисторі із захистом [12]

Діодні електронні ключі

В діодних ключах використовується залежність опору діода від величини та знаку прикладеної напруги.

Відомо, що струм діода визначається виразом:

$$I = I_0 (\exp(u / (m \varphi_T)) - 1), \quad (2.5)$$

де φ_T — температурний потенціал (26 мВ при 298 К),

m — коефіцієнт, який враховує вплив поверхових струмів відсікання германієвих, і генерації - рекомбінації в р-п-переходах кремнієвих діодів (m^{Ge} — 1.2...1.5, m^{Si} — 1.2...2).

Тепловий струм діода практично не залежить від прикладеної до діода напруги і визначається електрофізичними властивостями напівпровідника і температурою його нагрівання:

$$I_0 = I_{00} \exp(-U_K / \varphi_T), \quad (2.5)$$

де I_{00} — константа, котра визначається матеріалом напівпровідника і концентраціями сумішей,

U_K — контактна різниця потенціалів.

З врахуванням активного опору r і n областей активний опір діода дорівнює:

$$r_{np} = \frac{du}{dI} = m\varphi_T / (I_0 + I) + r. \quad (2.6)$$

При достатньо великих напругах $r_0 \approx r$ (одиниці-десятки Ом), при зворотному зміщеному переході:

$$r_{np} \approx m\varphi_T / (I_0 + I) \text{ (десятки-сотні кОм)} \quad (2.7).$$

Еквівалентна схема діода представлена на рис. 2.30. Інерційність ключа визначається процесами накопичення неосновних носіїв в області р-п-переходу, ємністю р-п-переходу, ємністю між выводами і індуктивністю выводів. Основним довідковим параметром, визначаючим швидкодію діода, є час відновлення зворотного опору.



Рис. 2.30. Еквівалентна схема діода [9]

На основі діодних ключів можна побудувати різні логічні елементи (рис.2.31).

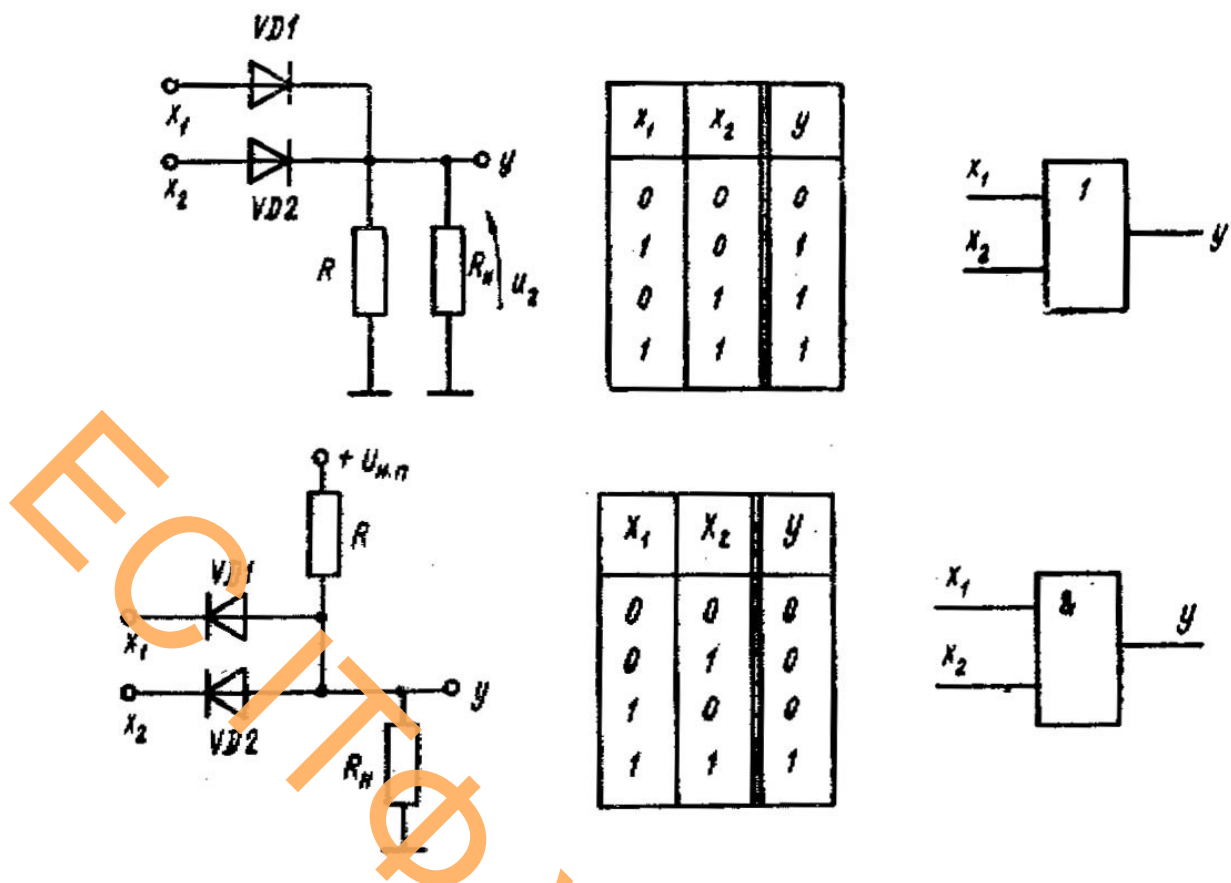


Рис. 2.31. Приклад логічних схем на основі діодних ключів [9]

Електронні ключі на основі діодів являються пасивними структурами, що приводить до послаблення сигналу при проходженні таких ключів, що особливо помітно при побудові багатоступневих структур.

Інерційність діодних ключів обумовлена накопиченням неосновних носіїв в області р-п-переходу, ємністю р-п-переходу, ємністю і індуктивністю виводів. Крім перерахованих параметрів мають значення також індуктивність і ємність навантаження, а також монтажні ємності. В довідниках на дискретні діоди частіше всього вказується час зворотного відновлення (відновлення зворотного опору), обумовлене дифузійним рухом неосновних носіїв. Для зменшення цього часу можуть використовуватись створення пасток, сприяючих рекомбінації неосновних носіїв або створення неоднорідної концентрації домішок (діоди з накопиченням заряду).

Діодні ключі частіше всього використовуються в якості допоміжних вузлів в цифровій та аналоговій техніці.

Цифрові ключі на IGBT транзисторах

Переваги, забезпечені роботою активних елементів в ключовому режимі, перш за все економічність, привели до широкого розповсюдження потужних ключових пристроїв. Широко відомі імпульсні джерела живлення, ключові стабілізатори та регулятори, генератори, які працюють в ключовому режимі, а також широкий спектр пристроїв, які використовують різні види імпульсної модуляції: ШІМ, АІМ і т.п. При проектуванні таких пристроїв необхідно враховувати декотрі специфічні особливості їх роботи.

Рівень сучасного розвитку вітчизняної та зарубіжної елементної бази ставить перед розробником питання вибору підходящого активного елемента. Сучасний інженер може вибрати із трьох основних видів транзисторів: біполярні, польові і так звані IGBT-транзистори (Insulated Gate Bipolar Transistor), які представляють собою комбінацію двох попередніх типів: по входу такий транзистор веде себе як польовий, а по виходу — як біполярний. У вітчизняній літературі ці прилади іменуються біполярними транзисторами з ізолюваним затвором (БТІЗ). Типові представники цього сімейства можуть комутувати струми в десятки ампер при напругах порядку кВ. Біполярні транзистори працюють при напругах до 1,5 кВ і комутують струми в декілька десятків ампер, польові транзистори працюють при більш низьких значеннях напруги (як правило, менше 1000 В) і комутують струми до сотень ампер.

Еквівалентна схема IGBT-транзистора представлена на рис. 2.32.

Цікаво, що колектору IGBT відповідає емітер еквівалентного біполярного транзистора, а емітеру — навпаки, колектор. В порівнянні з польовим транзистором, IGBT має дві переваги (найбільш актуальних для створення потужних ключових пристроїв). По-перше, еквівалентна крутизна IGBT значно перевищує крутизну польового транзистора, по-друге, в порівнянні з ПТ, силове коло IGBT має значно менший опір у відкритому стані. В плані швидкодії IGBT краще, ніж біполярні транзистори, але уступають польовим.

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	43
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

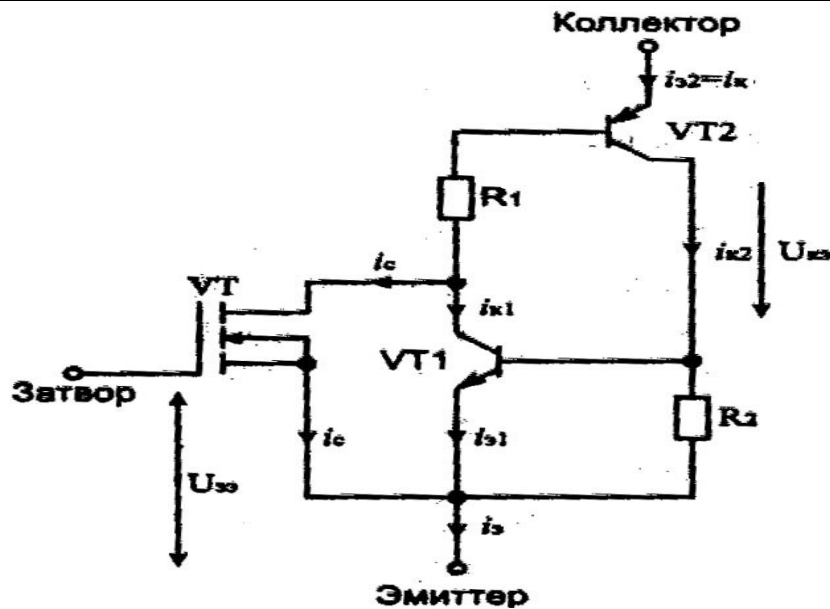


Рис. 2.32. Еквівалентна схема IGBT транзистора [8]

- W – (warp speed) 75...150 кГц;
- U – (ultra fast speed) 10...75 кГц;
- F – (fast speed) 3...10 кГц;
- S – (standard speed) 1...3 кГц

Використання IGBT має свої особливості, хоч основні процеси визначаються розглянутими вище факторами, характерними для біполярних і польових транзисторів. В частості, актуальна вимога по $dU_{кэ} / dt$, порушення котрого може привести до так званого «защипування», (втрата можливості запирання) аналогічному процесу відпирання тиристора. Для IGBT важливе обмеження зворотної напруги колектор-емітер (типове значення 15-20 В).

В довідниках на IGBT вказуються параметри заряду затвора ($Q_{зЕ}$, $Q_{з}$, $Q_{зК}$), за допомогою яких можна оцінити параметри схеми управління, однак, на їх основі не вдається передбачити час переключення транзистора, оскільки на нього впливають ще і процеси розсмоктування неосновних носіїв в базі. Для оцінки часу переключення важливі параметри: час спаду/наростання, час затримки виключення. IGBT, аналогічно польовим транзисторам, можна включати паралельно для збільшення комутуючої потужності.

Загальні відомості про LPT порт

Паралельні інтерфейси характеризуються тим, що в них для передачі біт в слові використовуються окремі сигнальні лінії, і біти передаються одночасно. Паралельні інтерфейси використовують логічні рівні TTL (транзистор-транзисторної логіки), що обмежує довжину кабелю через невелику завадозахищеність TTL - інтерфейсу. Гальванічна розв'язка відсутня. Паралельні інтерфейси використовують для підключення принтерів. Передача даних може бути як однонапрямлена (Centronics), так і двоспрямована (Bitronics).

Для підключення принтера по інтерфейсу Centronics в PC було введено порт паралельного інтерфейсу — так виникла назва LPT-порт (Line PrinTer – порядковий принтер). Однак згодом паралельний інтерфейс став використовуватися для підключення інших периферійних пристроїв – сканерів, дисководів типу Zip і ряду інших пристроїв. Базовий різновид порту дозволяє передавати дані тільки в одному напрямку, однак пізніше був розроблений ряд стандартів двоспрямованої передачі даних.

Інтерфейс Centronics

Поняття Centronics відноситься як до набору сигналів і протоколу обміну, так і розмиканню, встановленому в принтерах. Сучасні принтери сумісні з інтерфейсом Centronics. Призначення сигналів приведено в таблиці 2.1, а часові діаграми обміну з принтером – на рис. 2.33.

Таблиця 2.1.

Сигнали інтерфейсу Centronics

Сигнал	I/O*	Конт.	Призначення
Strobe#	I	1	Строб даних. Дані фіксуються по низькому рівню
DO ...	I	2-9	Лінії даних. DO – молодший біт.
Ack#	O	10	Acknowledge імпульс – підтвердження прийому байта (запит на прийом наступного). Може використовуватися для формування перепивання
Busy	O	11	Зайнятий. Прийом даних можливий тільки при низькому рівні сигналу

PaperEnd	O	12	Високий рівень сигналізує про кінець паперу
Select	O	13	Сигналізує про включення принтера (звичайно в принтері з'єднаний з +5 В через резистор)
Auto	O	14	Автоматичний перенос на інший рядок.
Error#	O	32	Помилка (OFF-Line, немає папера, немає тонера, внутрішня помилка принтера)
Init#	O	31	Ініціалізація (перехід до початку рядка, скидання всіх параметрів на значення за замовчуванням)
Select In#	O	36	Вибір принтера („0"). При „1" принтер не сприймає інші сигнали інтерфейсу
GND	–	19-	Загальний провід інтерфейса

Сигнал Auto LF# практично не застосовується, але його неправильне значення приводить до того, що принтер або робить пропуски рядків, або друкує рядки поверх один одного, або дублює рядки в два проходи.[1, 2, 3]

Передача починається з перевірки джерелом сигналу "Error". Якщо він установлений, то обмін не відбувається. Потім перевіряється стан сигналу "Busy". Якщо він дорівнює „0", то джерело приступає до передачі байту даних. Для передачі байта джерело виставляє на лінії DO-D7 байт даних і видає сигнал Strobe. Приймач по сигналу Strobe# (тут і далі по тексту значок "#" після назви сигналу є ознакою того, що сигнал має низький активний рівень) після назви сигналу є ознакою того, що сигнал має низький активний рівень) читає дані із шини даних і виставляє сигнал Busy на час його обробки. По закінченні обробки приймач видає сигнал ACK# і знімає сигнал Busy.

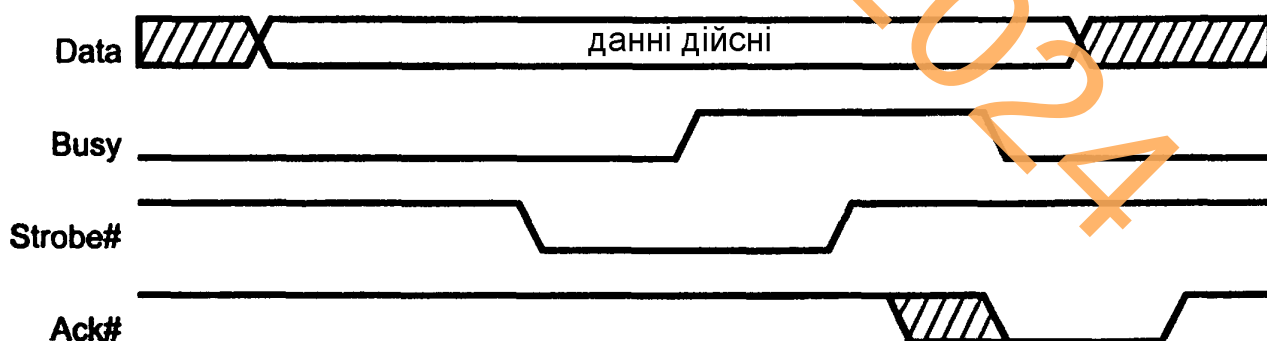


Рис. 2.33. Передача даних по протоколу Centronics [14]

Якщо протягом тривалого часу (6-12 сек) джерело не одержує ACK#, то він приймає рішення про помилку "тайм-аут" (time-out) пристрою. Якщо після

прийому байта приймач не готовий приймати дані, то він не знімає сигнал Busy. При програмній реалізації обміну по зазначеному протоколі бажано обмежити час чекання зняття Busy (звичайно 30 – 45 сек), інакше можливе зависання програми.

Порт SPP (Standard Parallel Port — Стандартний Паралельний Порт) є односпрямованим, на його базі програмне реалізується протокол обміну Centronics. Порт забезпечує апаратне переривання по імпульсу АСК# на вході. Сигнали порту виводяться на стандартне з'єднання DB-25S (розетка), що розміщена безпосередньо на платі чи адаптера з'єднується з ним плоским шлейфом (у випадку, якщо адаптер Інтегрований з материнською платою). Назви і призначення сигналів з'єднання порту відповідають назвам сигналів інтерфейсу Centronics (таблиця 2.2).

* I/O – напрямки перетачі: I - вхід; O - вихід; O(I) – вихід, стан якого може бути зчитаний при зчитуванні з портів виводу; O/I – вихідні лінії, стан яких читається при читанні з відповідних регістрів порту.

** Символом „\” відмічені інтегровані сигнали (1 в регістрі відповідає низькому рівню лінії).

*** Вхід АСК# з'єднаний з живленням +5 В через резистор 10 кОм. Це зроблено для виключення помилкових переривань, тому що переривання генерується по негативному перепаді сигналу на вході АСК#.

Таблиця 2.2.

Розмикання та шлейф стандартного LPT порту

Контакт DB-25S	Номер проводу в кабелі	Призначення		
		I/O*	Reg. Bit**	Сигнал
1	1	O/I	CR.0\	Strobe#
2	3	O(I)	DR.0	Data 0
3	5	O(I)	DR.1	Data 1
4	7	O(I)	DR.2	Data 2
5	9	O(I)	DR.3	Data 3
6	11	O(I)	DR.4	Data 4
7	13	O(I)	DR.5	Data 5
8	15	O(I)	DR.6	Data 6
9	17	O(I)	DR.7	Data 7

10	19	I***	SR.6	Ack#
11	21	I	SR.7\	Busy
12	23	I	SR.5	PaperEnd
13	25	I	SR.4	Select
14	2	O/I	CR.1\	Auto LF#
15	4	I	SR.3	Error#
16	6	O/I	CR.2	Init#
17	8	O/I	CR.3\	Select In#
18-25	10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26	—	—	—

Як недоліки стандартного LPT порту (SPP) слід зазначити невисоку швидкість передачі даних (100–150 КБ/сек), завантаження процесора при передачі даних, неможливість двоспрямованого побайтного обміну.

Звичайний LPT-порт

Адаптер паралельного інтерфейсу представляє собою набір регістрів, розташованих в просторі вводу/виводу. Регістри порту адресуються відносно базового адреса порту, стандартними значеннями якого є 3BCh, 378h, 278. Порт може використовувати лінію запиту апаратного переривання, звичайно IRQ7 або IRQ5. Порт містить зовнішню 8-бітну шину даних, 5-бітну шину сигналів стану та 4-бітну шину керуючих сигналів.

BIOS підтримує до чотирьох LPT-портів (LPT1 – LPT4) своїм сервісом — перериванням INT 17h. Цим сервісом BIOS виводить символ, ініціалізацію інтерфейсу і принтера, а також запит стану принтера.

Стандартний порт містить три 8-бітних регістра, розташованих по сусіднім адресам в просторі вводу/виводу, починаючи з базового адресу порту (BASE).

Data Register (DR) — регістр даних, адрес BASE. Дані, записані в цей порт, виводяться на вихідні лінії інтерфейсу. Дані, зчитані із регістра, в залежності від схемотехніки адаптера відповідають або раніше записаним даним, або сигналам на тих же лініях, що не завжди те саме. Якщо в порт записати байт з одиницями у всіх розрядах, а на вихідні лінії інтерфейсу через

мікросхеми з виходом типу „відкритий колектор” подати код, то цей код може бути зчитаний із того ж регістра даних. Таким чином на багатьох старих моделях адаптерів можливо реалізувати порт вводу дискретних сигналів. Сучасні адаптори часто містять у вихідному колі узгоджуючий резистор з опором 50Ом. Вихідний струм короткого замикання виходу на землю не перевищує 30мА. У випадку короткого замикання контакту рознімання на землю при виводі „1” на резисторі падіння напруги складає 1,5 В, що вхідною схемою приймача буде сприйнято як „1”. Такий метод вводу не буде працювати на всіх комп’ютерах.

Status Register (SR) — регістр стану – 5-бітний порт вводу сигналів стану принтера (біти SR.4 – SR.7), адреса = BASE+1. Біт SR.7 інвертується – низькому рівню сигналу відповідає одиничне значення біта в регістрі, і навпаки.

Control Register (CR) — регістр керування, адрес = BASE+2 – 4-бітний порт виводу дозволяє запис і зчитування (біти 0-3), але його вихідний буфер звичайно має тип „відкритий колектор”. Це дозволяє коректно використовувати лінії даного регістра як вхідні при програмуванні їх у високій рівень. Біти 0, 1, 3 інвертуються.

Запит апаратного переривання (IRQ7 або IRQ5) відбувається по від’ємному перепаду сигналу на виводі 10 роз’єму інтерфейсу (Ack#) при CR.4=1. Для запобігання випадкових переривань контакт 10 з’єднаний резистором з шиною +5 В.

Процедура виводу байта по інтерфейсу Centronics включає наступні кроки (в дужках наведено потрібна кількість шинних операцій процесора):

- Вивід байта в регістр даних (1 цикл IOWR#).
- Ввід із регістра стану і перевірка готовності пристрою (біт SR.7 – сигнал Busy). Цей крок зациклюється до отримання готовності або до спрацювання програмного тайм-ауту (мінімум 1 цикл IORD#).
- При отриманні готовності виводом в регістр керування встановлюється строб даних, а наступним виводом строб знімається (2

цикла IOWR#). Для переключення тільки одного біту (строб), регістр керування попередньо зчитується, що додає ще один цикл IORD#.

Як видно, для виводу одного байту потрібно 4-5 операцій вводу/виводу з регістрами порту. Наслідок – невисока швидкість обміну при значному навантаженні процесора. Інший недолік – функціональний – складність використання в якості порту вводу.

Стандартний порт асиметричний — при наявності 12 ліній (вивід), на ввід працюють тільки 5 ліній стану. Якщо необхідна симетрична двонаправлений зв'язок, на всіх стандартних портах включається режим напівбайтного обміну – Nibble Mode. При такому режимі, називаним також Hewlett Packard Bitronics, одночасно передаються 4 біта даних, п'ята лінія використовується для квітування. Таким чином, кожен байт передається за два цикли, а кожен цикл потребує мінімум 5 операцій вводу/виводу.

Стандарт IEEE 1284

Стандарт на паралельний інтерфейс IEEE 1284, прийнятий у 1994 році, визначає терміни SPP, EPP і ECP. Стандарт визначає 5 режимів обміну даними, метод узгодження режиму, фізичний і електричний інтерфейси. Згідно IEEE 1284, можливі наступні режими обміну даними через паралельний порт:

- Режим сумісності (Compatibility Mode) – односпрямований (вивід) по протоколу Centronics. Цей режим відповідає стандартному (традиційному) порту SPP
- Напівбайтний режим (Nibble Mode) – відведення байту за два цикли (по 4 біти), використовуючи для прийому лінії стану. Цей режим обміну може використовуватися на будь-яких адаптерах.
- Байтовий режим (Byte Mode) – відведення байту цілком, використовуючи для прийому лінії даних. Цей режим працює тільки на портах, що допускають читання вихідних даних (Bi-Directional або PS/2 Type 1).

- Режим EPP (EPP Mode) (Enhanced Parallel Port) – двонаправлений обмін даними, при якому керуючі сигнали інтерфейсу генеруються апаратно під час циклу звертання до порту (читання записи в порт). Ефективний при роботі з пристроями зовнішньої пам'яті, адаптерами локальних мереж.

- Режим ECP (ECP Mode) (Extended Capability Port) – двонаправлений обмін з можливістю апаратного стиску даних по методу RLE (Run Length Encoding), використання FIFO-буферів і DMA. Керуючі сигнали інтерфейсу генеруються апаратно. Ефективний для принтерів і сканерів.

У сучасних АТ-машинах з LPT-портом на системній платі режим порту – SPP, EPP, ECP чи їхня комбінація задається в BIOS Setup. Режим Compatibility Mode цілком відповідає стандартному порту SPP і часто встановлений за замовчуванням. Всі інші режими розширюють функціональні можливості інтерфейсу і підвищують його продуктивність. Крім того, стандарт регламентує спосіб узгодження режиму, доступного як ПК, так і периферійному пристрою.

Фізичний і електричний інтерфейси

Стандарт IEEE 1284 визначає фізичні характеристики приймачів і передавачів сигналів. IEEE 1284 передбачає два рівні інтерфейсної сумісності. Перший рівень (Level 1) – для пристроїв, що не вимагають високих швидкостей обміну, але використовують можливість зміни напрямку передачі даних. Другий рівень (Level II) – пристрої, що працюють у розширених режимах, з високими швидкостями і довгими кабелями.

Вимоги до передавачів приведені в таблиці 2.3, для приймачів — у таблиці 2.4.

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	51
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 2.3.

Вимоги стандарту IEEE 1284 до передавачів

Вимога	Значення
Діапазон рівнів сигналів без навантаження	-0,5...+5,5 В
Рівні сигналів при струмі навантаження 14мА для „1” не менше	+2.5 В
Рівні сигналів при струмі навантаження 14мА для „1” не більше	+0.4 В
Вихідний імпеданс	50±5 Ом
Швидкість наростання/спаду імпульсу (в	0,05...0,4 В/нс

Таблиця 2.4.

Вимоги стандарту IEEE 1284 до приймачів

Вимога	Значення
Припустимі рівні значення сигналів	-2,0...+7,0 В
Поріг спрацьовування „1”, не вище	2,0 В
Поріг спрацьовування „0”, не нижче	0,8 В
Гістерезис приймача (тригер Шмітта) (межі)	0,2...1,2 В
Вхідний струм (сток і виток), не більш	20 мкА
Вхідна ємність, не більше	50 пФ

Стандарт IEEE 1284 визначає три типи використовуваних роз'ємів: А (DB-25), В (Centronics-36), С (36-контактний роз'єм).

Інтерфейсні кабелі можуть мати від 18 до 25 провідників (в залежності від числа провідників GND). Не пред'являється конкретних вимог до екранування й інших параметрів, однак, такі кабелі можуть працювати тільки на низьких швидкостях при довжині не більш 2 метрів. Стандарт IEEE 1284 для кабелів:

- Усі сигнальні провідники повинні бути перевиті з окремими зворотними (загальними) проводами.
- Кожна пара повинна мати імпеданс 62±6 Ом у діапазоні частот 4-16МГц.
- Рівень перехресних перешкод не повинний перевищувати 10%

- Кабель повинний мати екран, що покриває не менш 85% зовнішньої поверхні. На кінцях кабелю екран повинний бути кільцевий та з'єднаний з контактом рознімання.

Кабелі, що задовольняють цим вимогам, маркуються як „IEEE Std 1284-1994 Compliant”. Вони можуть мати довжину до 10 метрів.

ЕСТФУЖНУ 2024

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

3.Проектно конструкторський розділ

3.1. Синтез та аналіз структурної схеми

Виходячи з поставлених технічних умов розробимо структурну схему, на підставі якої можна буде вести послідуєче проектування пристрою.

Загальна структурна схема приведена на рис. 3.1.

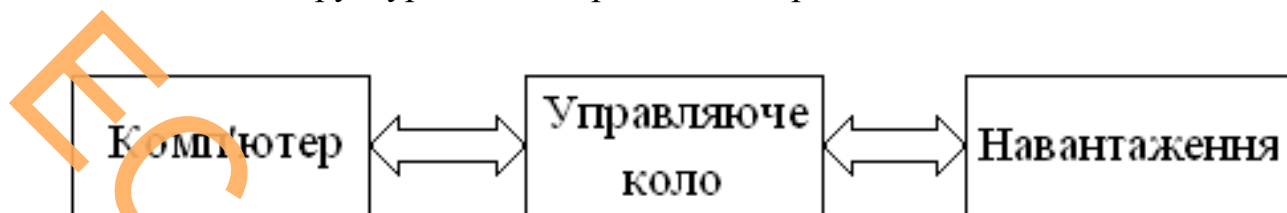


Рис. 3.1. Загальна структурна схема [8].

Додаємо до загальної структурної схеми більше конкретики, а саме розглянемо більш детально управляюче коло. Як ми бачимо на рис. 3.1. побудова управляючих кіл залежить від навантаження. Тому конкретизуємо навантаження, для нашого стенду це: звуковідтворюючий пристрій, кроковий двигун, інфрачервоний випромінювач, пристрої малої і високої потужності. Знаючи про малу розрядність паралельного порту комп'ютера, для управляючих кіл, потрібен додатковий інтерфейс який би забезпечив керуючими сигналами усі приведені пристрої.

Взявши до уваги конкретику попереднього абзацу, побудуємо структурну схему інтерфейсного лабораторного стенду (управляючі кола). Для зручності приведемо на структурній схемі навантаження, але до пристрою вони не входять. Структурна схема зображена на рис. 3.2.

Опишемо блоки, що зображенні на структурній схемі:

1. Персональний комп'ютер – типу IBM PC;
2. Інтерфейс – лабораторного стенду дослідження керування експериментом через LPT-порт;
3. Блок керування звуковим пристроєм – генератор сигналів на логічних елементах;

4. Блок керування інфрачервоним світло діодом – ключ що керується комп'ютером, при надходженні логічної одиниці світло діод спалахне, можливе керування на відстані 2 метрів;
5. Блок ключів – набір ключів для малопотужних навантажень;
6. Блок силових ключів – на бір ключів, які керують реле, що в свою чергу може керувати потужностями до 1кВт ;
7. Блок керування кроковим двигуном – схема керування двох фазним двигуном;
8. Блок зворотнього зв'язку;
- 9.Звуковідтворюючий пристрій – типовий динамік, що відтворює звук при включенні генератора;
10. Інфрачервоний світло діод – світлодіод інфрачервоного свічення;
11. Навантаження до ключів – невідоме, але в межах 1кВт;
12. Кроковий двигун – двох фазний двигун.

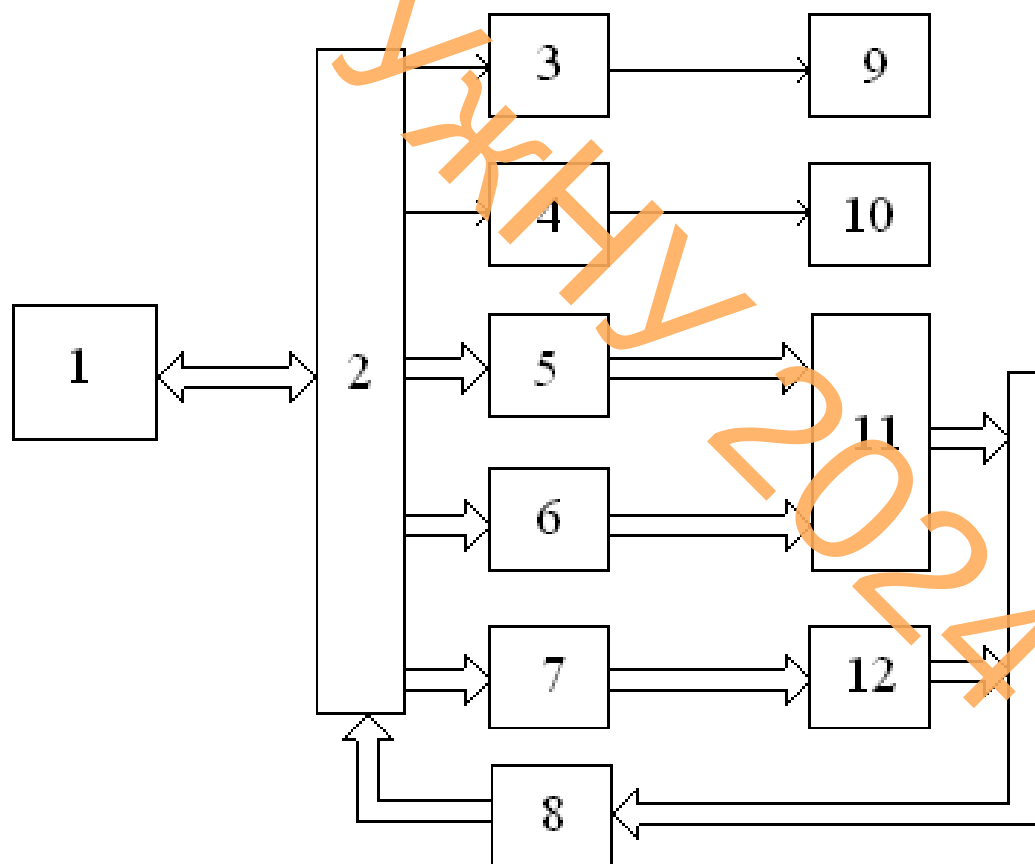


Рис.3.2. Структурна схема [8]

3.2. Синтез та аналіз принципової схеми

Після з'ясування структури пристрою і вибору елементної бази можна приступати до проектування принципової схеми.

3) Блок керування звуковідтворючими пристроями (див. структурну схему на рис.3.2).

Даний блок складається із двох мікросхем, резистора і ємності. Ємність вибирається 1мкФ, резистор 3.3 Ом. Працює наступним чином: один вхід елемента І під'єднаний до управляючого сигналу від інтерфейсу, коли подається одиниця спрацьовує генератор. Генерований сигнал подається на звуковідтворюючий пристрій.

4) Блок керування інфрачервоним світлодіодом (див. структурну схему на рис. 3.2).

Складається із транзисторного ключа. Працює наступним чином: чергуванням 0 і 1 з порту, виконається замикання і розмикання транзисторного ключа. Перемикання ключа, приведе до включення або виключення інфрачервоного світлодіода. Світлодіод вибирається із врахування струму який створює транзистор.

5) Блок ключів (див. структурну схему на рис. 3.2). Являє собою набір ключів для малопотужного навантаження. Виконані на транзисторі KT815.

Транзисторні ключі побудовані на транзисторах VT1, VT2, VT3 призначені для видачі керуючих сигналів, відповідно вони керуються імпульсами з частотою 10Гц, амплітудою 4.5В, струмом 100 мкА. Навантаженням не більше 0.2Вт. Для ключів із довідника вибираємо тип транзистора – KT815, параметри якого: $I_{K\ max} = 1.5A$; $U_{KE\ max} = 25\ B$; $P_{K\ max} = 5\ W$; $h_{21E} = 100$; $U_{EBo\ max} = 5V$; $f_{cp.} = 3\ МГц$; $I_{K.звор.} = 0,005\ мкА$. Використовуючи ВАХ вибираємо робочі точки відкритого і закритого транзистора. Транзистор буде відкритий у точці з координатами $I_{B\ e} = 2\ mA$; $U_{EB\ e} = 0,73\ B$, а закритий у точці з координатами $I_{B\ z} = 0\ A$; $U_{EB\ z} = 0,2\ B$. Тоді для того щоб транзистор відкривався на переході база-емітер повинна падати напруга 0,73В. Знаючи

величину напруги і струму імпульсу, ($I_{имп} = 5 \text{ мА}$; $U_{имп} = 5 \text{ В}$) що подається на базу транзистора розрахуємо опори резисторів R1:

$$R2 = R3 = R4 = (U_{имп} - U_{ЕБ\epsilon}) / (I_{имп} - I_{Б\epsilon}) = (5 - 0,2) / (5 \cdot 10^{-3} - 2 \cdot 10^{-3}) = 1,6 \text{ кОм}; (3.1)$$

Потужність що розсіюється на резисторах R2, R3, R4 визначається за формулою:

$$P = I_{имп}^2 \cdot R = (5 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 1600 = 0,04 \text{ Вт}. (3.2)$$

По ряду номінальних опорів резисторів E24 вибираємо номінали: R2= R3 = R4 2 кОм типу МЛТ-0,125.

6) Блок силових ключів (див. структурну схему на рис.3.2). Являє собою набір ключів які управляють реле. Реле в свою чергу підібране для керування навантаженням до 1кВт, що обумовлюється технічним завданням керує. Навантаження живиться від мережі 220В.

Розрахунок транзисторного ключа, який приведений вище, підходить також для керування реле.

У кожному ключі, як для малопотужного навантаження так і для силових ключів, після резистора що розраховано, ставиться діод. Діод уведено для запобігання надходження зворотного струму, від бази транзистора на вхід порту. А діод на колекторі запобігає зворотньому струмові від навантаження, або реле.

7) Блок керування кроковим двигуном (див. структурну схему на рис.3.2). Реалізовано по схемі на рис.2.17., у нашій схемі ми використовуємо транзисторні ключі на КТ815. Реалізація саме на таких ключах, обумовлена тим, що у технічному завданні не конкретизовано якої потужності буде підключатись двигун.

8) Блок зворотнього зв'язку (див. структурну схему на рис.3.2). Даний блок вводиться для програмного контролю. Одна лінія зворотнього зв'язку, від крокового двигуна, реалізована на електромагнітному реле. Працює слідує чим чином: на елемент який обертає двигун приєднується магніт. При

					KPM.EC.11287685.001.ПЗ	57
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обертанні ротора двигуна, такий магнітний елемент при проходженні над електромагнітним реле, зумовить спрацювання цього реле. В свою чергу реле увімкнуте у коло з напругою 5В, при його замиканні протече напруга, на один із входів інтерфейсу. Ця напруга означатиме логічну одиницю, на порті комп'ютера, тобто спрацювання двигуна.

Зворотній зв'язок, від навантаження, яке керується силовими ключами реалізовано наступним чином.

У коло яке керується реле, паралельно під'єднана схема зворотнього зв'язку, через ємність. Перед ємністю, ставимо електричний запобіжник, який перериває при підвищенні струму в колі навантаження. Ємність вибирається із таких міркувань: щоб не було впливу, від включення ємності у коло, ємність вибирається із такого співвідношення :

$$R_c \gg R_n. \quad (3.3)$$

R_c – опір ємності, R_n – опір навантаження.

R_c розраховується за формулою:

$$R_c = 1/(\gamma C) = 1/300C \quad (3.4)$$

Із формул (2.3.) (2.5) випливає:

$$C \ll 1/(300R_n) \quad (3.5)$$

Для нашого випадку достатньо буде вибрати ємність 200мкФ.

Під'єднаний зворотній зв'язок реалізовано на ділянці напруги резисторі R15 та діоді VD22. З них напруга надходить на стабілізатор. Стабілізатор обиремо серії HT-7250, він перетворює входну напругу 5.1...24В у постійну напругу у +5В. Для гальванічної розв'язки ставимо діодну оптичну пару, з неї напруга надходить на один з входів інтерфейсу. Працює наступним чином: при протіканні по колу напруги на інтерфейс поступить напруга, що дорівнює логічній одиниці, що означатиме спрацювання під'єданого пристрою.

3.3. Проектування та розрахунок друкованої плати

Розрахунок по визначенню геометричних розмірів плати проводиться у наступні послідовності:

Знаходиться сумарна установочна площа: $S_{мг}$, $S_{сг}$, $S_{кг}$ відповідно для малогабаритних, середньо габаритних і крупно габаритних електрорадіоелементів (ЕРЕ).

Розраховується площа монтажно́ї зони $S_в$ для середньої щільності монтажу за формулою:

$$S_{роб} = 4S_{мг} + 3S_{сг} + 1,5S_{кг} . \quad (3.6)$$

Коректуються і знаходяться розміри монтажно́ї зони у відповідності із можливостями встановлення в корпус і стандартними лінійними розмірами друкованої плати (ДП).

Під установочними площами ЕРЕ розуміють площі прямокутників, в які вписані ЕРЕ разом із виводами і контактними площадками при встановленні їх на друковану плату.

В даній схемі до малогабаритних ЕРЕ відносяться: резистори ($R1-R13$, $R17-R22$), ємність ($C1$), діоди ($VD1-VD21$), оптрони ($U1-U3$), транзистори ($VT1-VT11$), стабілізатори ($CT1-CT3$), роз'єм ($X5$); середньо габаритних ЕРЕ відносять: мікросхеми ($DD1, DD2$), запобыжники ($K14-K16$), ємності ($C2-C4$, $C5-C10$), діоди ($VD22-VD24$), роз'єми ($X2, X4$); до великогабаритних ЕРЕ відносяться: роз'єми ($X1, X3, X6$), реле ($S1-S3$). [12, 13, 14]

Необхідні для конструювання ДП, дані про елементи зведені до таблиці 3.1.

$$S_{роб} = 4S_{мг} + 3S_{сг} + 1,5S_{кг} \quad (3.7)$$

$$S_{роб} = 4 \cdot 938.22 + 3 \cdot 1435.92 + 1,5 \cdot 2444.38 = 11727.21 \text{ [мм}^2\text{]}$$

Вибираємо для ДП розмір згідно ГОСТ 10317-79. Плати друковані. Основні розміри 140×100 [мм].

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	59
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Загальна площа цієї плати $S_{\text{дп}} = 14000$ [мм²], що задовольняє умові розрахунку.

Таблиця 3.1.

Вихідні дані та результати розрахунку установочних площ для інтерфейсу

Позначення	Тип	Діам. виводів, мм	Діаметр конт.площадки, мм	Габаритні розміри, мм	Кількість, шт.	Установча площа, мм ²
DD1	K555JA9	0.5	1.8	17.8×7.5	1	133,5
DD2	K555JH2	0.5	1.8	17.8×7.5	1	133,5
R1- R13, R17-R22	МЛТ-0.125 2кОм±10%	0.6	1.8	7.6×2.5	19	361
R14- R16	ВП1-1	0.6	1.8	15×4	3	180
C1	1017B3R	0.6	1.8	9×5	1	45
C2-C4	K11047-5	0.6	1.8	16×7.2	3	345,6
C5-C10	K1047-3	0.6	1.8	11.6×5.3	6	368,88
VD1- VD21	КД522А	0.5	1.8	5×2.5	21	262,5
VD22- VD24	КД105	0.5	1.8	5×2.5	3	84
U1-U3	АОД130А	0.5	1,8	7×6.6	3	46.2
VT1- VT11	КТ815А	0.6	1,8	7×2	11	154
CT1-CT3	НТ-7250	0.6	1,8	Ø10	3	30
S1-S3	Т9А	0.9	2,5	27.4×13	3	1068,6
X1,X3, X6	CAN9R	0.9	2,5	31.7×21.7	3	1375,78

X2,X4	FB6	0.9	2,5	20.7×4.6	2	190,44
X5	WW3-2	0.9	2,5	7.6×5.2	1	39.52

3.4. Визначення діаметрів отворів, площі контактних площадок, товщини і ширини друкованих провідників.

Процес конструювання друкованої плати в загальному випадку передбачає виконання ряду взаємозв'язаних операцій: вибір типорозміру плати, способу її кріплення, кількість шарів, розробка друкованого монтажу.

При розміщенні ЕРЕ виходять частіше всього із критерію двох мінімумів і мінімуму довжини зв'язків. Перша умова означає мінімум перехідних отворів, що забезпечує технологічність по мінімальному числу шарів; друга умова означає мінімум зв'язків між сусідніми елементами. Можливе також застосування і інших критеріїв: мінімуму числа з'єднань, довжина яких більша заданої, максимум числа схем простої конфігурації; мінімуму сумарної зваженої довжини з'єднань.

Розміщення ЕРЕ на платі регламентується умовно координатною сіткою із взаємно перпендикулярних систем паралельних ліній, розташованих на однаковій відстані одна від одної.

Крок координатної сітки 2,54 мм.

Центри монтажних отворів контактних площадок під виводи навісних ЕРЕ розташовані у вузлах координатної сітки. Якщо крок розташування виводів багатовиводного елемента не співпадає з кроком координатної сітки, то у вузлах розміщується по крайній мірі один з отворів, який вважається за основний, а решта розташовується у відповідності з конструкцією елемента (по можливості на лініях координатної сітки).

Навісні елементи мають виводи прямокутного або круглого перерізу. Діаметр отвору під вивід вибирають із умови отримання зазору між виводом і стінкою отвору з урахуванням, якщо треба, подальшої металізації отвору, який би забезпечував капілярні проникнення припою в процесі пайки.

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	61
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Діаметр монтажного отвору d_0 вибирають із таких умов: якщо діаметр виводу ($d_B > 1\text{ мм}$, то $d_0 = [(d_B + (0.3 \div 0.4))]$; якщо $d_B \leq 1\text{ мм}$, то $d_0 = [d_B + (0.2 \div 0.3)]$. Номенклатурний отвір на кресленні показують умовним знаком, що визначає його діаметр.

Згідно ГОСТ 10317-79 номінальний діаметр монтажного отвору з урахуванням його металізації для виводів діаметром

0,4÷0,6 мм становить 0,8+0,1 мм,

0,6÷0,8 мм становить 1,0+0,1 мм.,

0,8÷1,3 мм становить 1,5 мм,

1,3÷1,7 мм становить 2 мм,

1,7÷2,2 мм становить 2,5 мм.

Діаметр металізованого отвору залежить і від товщини плати. Це пов'язано з тим, що при гальванічному осадженні металу на стінках отвору малого діаметру зробленого в товстій платі, товщина шару металу вийде нерівномірною і при великому відношенні товщини плати до діаметра отвору деякі місця можуть залишитись непокритими. Діаметр металізованого отвору повинен складати не менше половини товщини плати, отже повинна виконуватись наступна умова:

$$0,4h \leq d_{\min}, \quad (3.8)$$

де h – товщина плати;

$d_{\min}$ – найменшого із металізованих отворів.

З цього співвідношення можна вибрати товщину плати і для нашого випадку, вона складає 2 мм при діаметрі найменшого отвору 0,8 мм.

Щоб забезпечити надійне з'єднання металізованого отвору з друкованим провідником, навколо отвору навколо отвору робиться контактна площадка. Контактні площадки отворів рекомендується виготовляти у вигляді кільця. Діаметр контактної площадки вибирається з таблиці 3.2.

					KPM.EC.11287685.001.ПЗ	62
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рекомендовані діаметри контактних площадок.

Діаметр отворів	0,6	0,8	1	1,3	1,5	2
Контактних площадок	1,8	2,3	2,5	2,8	3	3,5

Діаметр перехідних отворів залежить від товщини плати і від виду електроліту, що використовується для металізації отворів

$$D_{\text{ПЕР}} = H \cdot \gamma, \quad (3.9)$$

де H – товщина плати;

γ – залежить від складу електроліту.

Для пірофосфатного електроліту, що використовується для металізації отворів $\gamma = 0,25$. Тому $D_{\text{пер}} = 2 \cdot 0,25 = 0,5$ мм.

Згідно ГОСТ 10317-79 вибирається $D_{\text{пер}} = 0,5$ із ряду.

По ГОСТу вибирається клас густини малюнка: другий. Для цього класу ширина провідників $t_{\text{min}} = 0,25$ мм. Відстань між провідниками 0,25 мм.

Розраховується ширина провідників шин живлення. Струм споживання складає 10 мА. Враховуючи, що густина струму у друкованих провідників має бути не більше 2 і вибравши переріз провідника 50 мкм, ширина провідника шини буде:

$$t = \frac{I_{\text{ЗАГ}}}{h \cdot p_1} = \frac{0,01}{0,05 \cdot 2} = 1 \text{ мм} \quad (3.10)$$

Де $I_{\text{ЗАГ}}$ – сумарний струм, що споживається пристроєм; h – товщина перерізу друкованого провідника; p_1 – густина струму.

Шини землі також вибираються в 2 мм.

Максимальний струм, який при проходженні по доріжці викликає її перегрів на температуру 25 С0 становить:

$$I_{\text{max}} = 25 \cdot ab = 25 \cdot 2 \cdot 0,05 = 2,5 \text{ А.}$$

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	63
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.5. Вибір варіантів встановлення елементів РЕА

При установці і кріпленні навісних елементів ДП слід врахувати наступні вимоги:

- працездатність елементів у заданих умовах експлуатації;
- раціональне компонування напівпровідникових приладів і мікросхем по тепловому режиму;
- вплив магнітних і електричних полів на елементи, що чутливі до них;
- ремонтпридатність друкованого вузла;
- захист монтажу, розташованого поблизу роз'ємів, від механічних пошкоджень;
- розташування масивних елементів ближче до місць кріплення плати;
- можливість технологічних процесів ручної або механізованої установки елементів і групової пайки.

При друкованому монтажі встановлення елементів проводиться шляхом пропускання виводів в отвори плати із послідуною пайкою. Для кожного виводу елемента, що встановлюється, передбачають окремий монтажний отвір або контактну площадку. Елементи із виводами, переріз яких квадратний або прямокутний встановлюють у круглі отвори. Елементи слід розміщувати паралельно поверхні плати з одної сторони, при чому рекомендується розташовувати їх на ДП паралельно або перпендикулярно один одному.

При установці навісних елементів на плату необхідно враховувати відстань між корпусом елемента і краєм плати, яка повинна бути не менше 4 мм, а між виводами елементів і краєм ДП – не менше 5 мм.

Між корпусами сусідніх елементів повинна бути певна відстань, яку вибирають з урахуванням умов тепловідводу і допустимої різниці потенціалів між ними.

Для даного пристрою застосовують друкований та об'ємний монтаж. У промислових умовах навісні елементи кріплять до плати шляхом пайки

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	64
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виводів (у тому числі і незадіяних) хвилею припою ПОС-61 у металізованих і неметалізованих отворах.

Для всіх навісних елементів, які встановлюються на друкованій платі по ОСТ 4 ГО.010.030-81 регламентовано декілька варіантів встановлення, що слід використовувати згідно технічних вимог складального креслення.

ЕСТІФУЖНУ 2024

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		65

4. Розрахунок надійності

Будь-який пристрій може справно працювати не безмежно, а лише протягом обмеженого строку, що залежить від умов експлуатації, складності апаратур і інших факторів. Якщо при конструюванні радіоелектронної апаратури (РЕА) не враховувати порушення працездатності й не приймати спеціальних заходів для підвищення надійності роботи, то апаратура буде виходити з ладу досить часто.

Під надійністю розуміють здатність виробу виконувати задані функції в певних умовах, зберігаючи експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного проміжку часу або необхідного часу роботи (наробітку).

Кількісно надійність характеризується показниками надійності, що відбивають тієї або іншої її властивості. Визначають наступні шість основних показників надійності:

- ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$;
- гамма-процентний наробіток до першої відмови T_γ ;
- інтенсивність відмов $\lambda(t)$;
- середній наробіток до першої відмови $T_{\text{ср}}$;
- середній наробіток на відмову T_0 ;
- параметр потоку відмов $V(t)$.

Ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$ — це ймовірність того, що в заданому інтервалі часу t виріб не відмовить. Типова функція $P(t)$, так звана крива убутку виробів, наведена на рисунку 4.1.

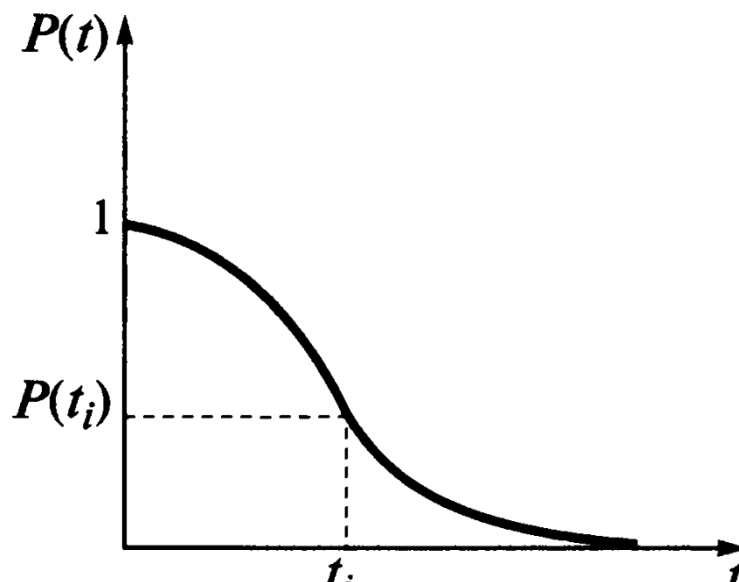


Рис. 4.1 Зміна ймовірності безвідмовної роботи виробу в часі [15]

Поряд з ймовірнісним визначенням функції $P(t)$ використовується й статистичне визначення ймовірності безвідмовної роботи:

$$\bar{P}(t) = \frac{N(t)}{N_0} = 1 - \frac{n(t)}{N_0}, \quad (4.1)$$

де $N(t)$ — число виробів, справних на момент часу t ;

N_0 — загальне число виробів, поставлених на випробування;

$n(t)$ — число виробів, що відмовили в інтервалі часу $(0, t)$.

Ймовірність відмови $Q(t)$ - це ймовірність того, що в заданому інтервалі часу радіовироб відмовить.

Оскільки функції $P(t)$ і $Q(t)$ утворюють повну групу неспільних подій, то

$$P(t) + Q(t) = 1. \quad (4.2)$$

Щільність розподілу наробітку до відмови (іноді називають - частота відмов)

$$\varphi(t) = dQ(t)/dt, \text{ або } \varphi(t) = -dP(t)/dt, \quad (4.3)$$

тобто функція $\varphi(t)$ являє собою "швидкість" зниження надійності виробу в часі.

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	67
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вихідним для кількісного визначення параметрів надійності є розподіл ймовірності відмови в часі. Для оцінки цього розподілу приймаємо, що якась кількість виробів експлуатується тривалий час, і відзначаються моменти виходу з ладу кожного із цих виробів. Якщо в перший момент часу працездатні всі 100% виробів, то до якогось моменту часу (у принципі, може бути й при $t \rightarrow \infty$) всі вироби вийдуть із ладу. Нормована крива, побудована на підставі великої кількості вимірів, характеризує щільність імовірності відмови в часі $\varphi(t)$.

Досвід показав, що для раптових відмов звичайно справедливий експонентний закон розподілу ймовірності відмов. Щільність імовірності пов'язана з інтенсивністю відмов λ і визначається наступним виразом

$$\varphi(t) = \lambda e^{-\lambda t}. \quad (4.4)$$

Параметр λ , що має розмірність числа відмов в одиницю часу, звичайно й приводиться як параметр надійності елементів.

Гамма-процентний наробіток до першої відмови - це наробіток, протягом якого відмова виробу не виникне з ймовірністю γ , вираженої у відсотках ($P_\gamma = \gamma/100$):

$$P_\gamma = 1 - \int_0^{T_\gamma} \varphi(t) dt. \quad (4.5)$$

Статистичне визначення гамма-процентного наробітку наступне

$$\bar{P}(T_\gamma) = \bar{P}_\gamma = N(T_\gamma)/N_0, \quad (4.6)$$

де $N(T_\gamma)$ — число виробів, справних у момент часу T_γ .

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	68
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначимо зв'язок між гамма-процентним наробітком до відмови T_γ і середнім наробітком до першої відмови:

$$T_\gamma = -T_{сер} \cdot \ln(P_\gamma) = -T_{сер} \cdot \ln(\gamma/100) \quad (4.7)$$

Інтенсивність відмов λ — це умовна щільність ймовірності відмови виробу в деякий момент часу наробітку за умови, що до цього моменту відмов не було:

$$\lambda(t) = \frac{dQ(t)}{dt} \cdot \frac{1}{1-Q(t)} = \frac{\varphi(t)}{P(t)}, [1/\text{ч}]. \quad (4.8)$$

У закордонній літературі як одиницю виміру інтенсивності відмов використовують 1 fit (фіт) = 10^{-6} [1/год].

Статистично інтенсивність відмов визначається як частка виробів, які відмовляють в одиницю часу після моменту часу t :

$$\bar{\lambda}(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(t)\Delta t} = \frac{\Delta n}{N(t)\Delta t}, [1/\text{ч}] \quad (4.9)$$

Для більшості елементів радіоелектронних апаратів залежність інтенсивності відмов λ від часу має вигляд U-образної кривої (див. рис. 4.2). Інтенсивність відмов часто називають λ -характеристикою або кривою життя виробу.



Рис. 4.2 Залежність зміни інтенсивності відмов λ від часу [15]

У перший відрізок часу (період приробітки) виходять із ладу елементи, що мають грубі дефекти, не розкриті контролем. Після виявлення цих елементів інтенсивність відмов зменшується й далі залишається постійною, настає період нормальної роботи. У міру зношування елементів інтенсивність відмов знову зростає, починається період старіння елементів.

Середній наробіток до першої відмови $T_{сер}$ - це математичне очікування часу t справної роботи виробу до першої відмови:

$$T_{сер} = \int_0^{\infty} t \varphi(t) dt \quad (4.10)$$

Вираз (10) показує, що крива збитку радіовиробів (див. рисунок 1) має наступні властивості: площа, обмежена нею й осями координат, чисельно дорівнює середньому часу безвідмовної роботи $T_{сер}$.

У випадку, коли $\lambda = \text{const}$, маємо

$$T_{сер} = \int_0^{\infty} t \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} \quad (4.11)$$

Середній наробіток на відмову T_0 - це математичне очікування інтервалу часу між сусідніми відновлюваними відмовами:

$$T_0 = \int_0^{\infty} dF_k(t), \quad (4.12)$$

де $F_k(t)$ — функція розподілу випадкового часу θ_k справної роботи виробу між $(k - 1)$ -м і k -м відмовами.

Параметр потоку відмов $V(t)$ — це межа відношення ймовірності появи хоча б однієї відмови відновлюваного виробу за проміжок часу Δt до значення цього проміжку часу $\Delta t \rightarrow 0$, тобто

$$V(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} (p\{t, t + \Delta t\} / \Delta t). \quad (4.13)$$

Статистично параметр потоку відмов (середня частота відмов) визначається як відношення числа відмов в одиницю часу до загального числа випробовуваних виробів, включаючи відмови, що виникли після заміни елементів, що відмовили.

$$V(t) = \frac{1}{t} \int_0^t \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t} dt = \frac{1}{t} (1 - e^{-\lambda \cdot t}). \quad (4.14)$$

Припустивши, що

$$\lambda t \leq 1, \quad e^{-\lambda t} \approx 1 - \lambda t, \quad (4.15)$$

одержимо

$$V(t) \approx \lambda. \quad (4.16)$$

Таким чином, у період роботи РЕА після закінчення процесу приробітки й до початку фізичного зношування середня частота відмов дорівнює інтенсивності відмов.

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	71
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Одним з факторів, що визначають загальну надійність пристрою, є надійність вхідних у нього елементів: резисторів, конденсаторів, діодів, транзисторів, трансформаторів, інтегральних схем (ІС) тощо. Вихід з ладу кожного із цих елементів або зміна їхніх параметрів понад певні межі може привести до відмови всього виробу.

Кількісне визначення параметрів надійності різних елементів пов'язане з великою витратою часу й засобів для одержання й обробки статистичних даних по їхній експлуатації й випробуванням. Експлуатаційна інтенсивність відмов ІС, що випускають у цей час, може становити $\lambda=10^{-7}$ год⁻¹, а вдосконалювання технології й використання спеціальних методів відбраковування ІС дозволяють довести цей показник до $\lambda=10^{-8} \dots 10^{-9}$ год⁻¹. При таких значеннях проведення статистичних випробувань стає економічно й технічно недоцільним внаслідок непомірних труднощів одержання скільки-небудь достовірної кількісної інформації про надійність. У зв'язку із цим для електронного встаткування проводяться, як правило, не експериментальні, а розрахункові параметри надійності.

При визначенні загальної надійності апаратури, якщо відмова будь-якого компонента приводить до несправності приладу, усі компоненти вважаються включеними послідовно. Тоді при експонентному законі розподілу ймовірності відмов інтенсивність відмов складе

$$\lambda_c = \lambda_1 \cdot S_1 + \lambda_2 \cdot S_2 + \dots + \lambda_n \cdot S_n, \quad (4.17)$$

де n — число різних типів компонентів;

$\lambda_1; \lambda_2, \dots, \lambda_n$ — середня інтенсивність відмов компонентів;

$S_1, S_2, \dots, S_n$ — число елементів даного типу в приладі.

Таким чином, інтенсивність відмов виробу в цілому являє собою зростаючу функцію числа з'єднань і елементів, що входять у дані апаратури, а також інтенсивності відмов елементів і з'єднань. На практиці при розрахунку надійності по характеристиках елементів становлять перелік

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	72
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

використовуваних елементів і визначають інтенсивність відмов кожного виду елементів. Далі вводять коефіцієнти, що враховують вплив режиму й умов роботи.

Для обліку впливів, обумовлених середніми умовами експлуатації, звичайно вводять коефіцієнт впливу умов, що враховує ступінь скорочення середнього терміну служби апаратури при впливі несприятливих факторів зовнішнього середовища.

Потім інтенсивності відмов елементів підсумують і визначають необхідні характеристики: ймовірність безвідмовної роботи, ймовірність виникнення будь-якої кількості відмов за даний період часу, середній час безвідмовної роботи тощо.

Даними для визначення показників надійності є:

- схема електрична принципова, перелік елементів;
- електричні, теплові й механічні режими роботи елементів схеми;
- інтенсивність відмови всіх елементів для нормальних умов експлуатації й номінальних режимів роботи.

При визначенні надійності приймають, що всі відмови раптові. Надійність виробу визначається надійністю й кількістю використовуваних у ньому елементів, залежить від електричного режиму, від зовнішніх впливів (температури, вологості). Електричні режими роботи схеми враховують коефіцієнтом навантаження K_n , він визначається відношенням параметра, що характеризує роботу елемента, до номінального значення цього параметра, що визначається технічними умовами (ТУ). Коефіцієнт K_n може приймати значення від 0,2 до 1,2:

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	73
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 4.1 Коефіцієнти навантаження

<i>Назва елемента</i>	<i>Коефіцієнт навантаження K_n</i>
Резистори	0,6...1
Конденсатори	0,3... 0,4
Діоди	0,7... 0,8
Транзистори	0,7... 0,8
Мікросхеми, з'єднувачі, друковані плати, гнізда, запобіжники	0,9...1,0

Коефіцієнти навантаження $K_n > 1$ визначає форсований режим роботи елементів, що прискорює їхнє старіння, знижує надійність виробу, але дозволяє зменшити їхні габаритні розміри.

Коефіцієнти навантаження $K_n < 1$ визначають полегшений режим елементів, що дозволяє зменшити їхнє старіння й збільшити надійність виробу.

При збільшенні коефіцієнта навантаження K_n інтенсивність відмов збільшується.

Вплив на надійність фактичного значення коефіцієнта навантаження й кліматичних впливів, механічних навантажень урахуовується коефіцієнтом впливу умов α , який визначається по спеціальних графіках і таблицям.

Таблиця 4.2 Коефіцієнти впливу умов

<i>№</i>	<i>Умови експлуатації</i>	<i>Коефіцієнт впливу умов</i>
1	Лабораторні умови	1
2	Апаратури стаціонарна: - у приміщеннях; - поза приміщеннями.	2...8 10...15
3	Рухлива апаратура: - корабельна;	40...60

	- автомобільна.	50...70
--	-----------------	---------

Ймовірність безвідмовної роботи виробу $P(t)$ залежить не тільки від фізичних властивостей виробу, але й від часу, протягом якого виріб повинний справно працювати.

Ймовірність безвідмовної роботи виробу визначається за формулою:

$$P(t) = e^{-\Lambda \cdot t_p}, \quad (4.18)$$

де Λ - інтенсивність відмови виробу, 1/год;

t_p - час роботи виробу, год.

Інтенсивність відмови виробу Λ визначається як сумарна інтенсивність відмов всіх елементів, що входять до складу виробу

$$\Lambda = \sum_{i=1}^N \lambda_i, \quad (4.19)$$

де λ_i - інтенсивність відмов групи елементів, 1/год;

N - кількість груп елементів у виробі.

Середній наробіток до першої відмови $T_{сер}$ - це час із початку експлуатації виробу до виникнення першої відмови:

$$T_{сер} = \frac{1}{\Lambda}. \quad (4.20)$$

Таблиця 4.3 Розрахунок інтенсивності відмови виробу

Елементи	Кількість елементів у виробі	Коефіцієнт навантаження $K_{ні}$	Коефіцієнт впливу умов a_i	Інтенсивність відмови елемента λ_i , год ⁻¹	Сумарна інтенсивність відмов $\sum K_{ні} \cdot a_i \cdot \lambda_i \cdot 10^{-6}$, год ⁻¹	Інтенсивність відмови виробу $\Lambda 10^{-6}$, год ⁻¹ (формула 4.19)
Реле	3	0,4	15	0,06	1,08	170,055
Резистори	21	1	15	0,022	6,93	
Ємності	10	1	15	0,1	15	
Транзистори	11	0,85	15	0,1	14,025	
Діоди	24	0,8	15	0,29	83,52	
Мікросхеми	2	1	15	0,22	6,6	
Оптопары	3	1	15	0,1	4,5	
Стабілізатори	3	1	15	0,1	4,5	
З'єднувачи	6	1	15	0,06	5,4	
Плата друкована	1	1	15	0,1	1,5	
Пайки	45	1	15	0,04	27	

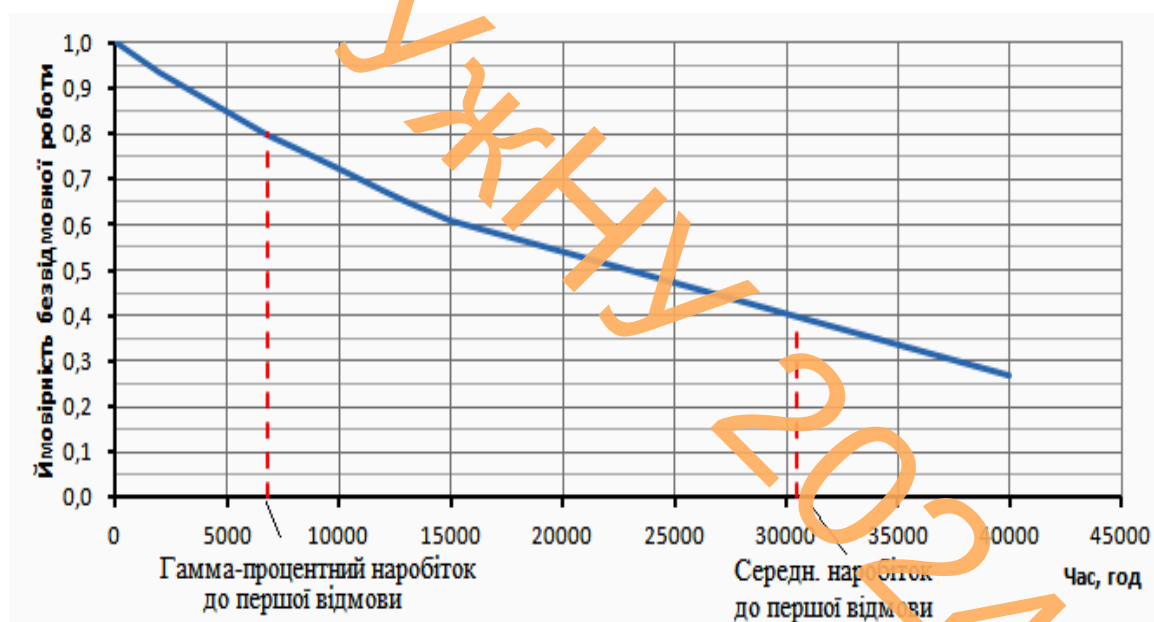


Рис. 4.3 Графік зміни ймовірності безвідмовної роботи виробу в часі

[16]

5. Заходи з техніки безпеки та захисту навколишнього середовища

Враховуючи широке застосування пристроїв управління КД і безперервне ускладнення техніки в промисловій електроніці, актуальною є проблема підвищення надійності та довговічності елементів, які в ній використовуються. При цьому велике значення має дотримання заданих експлуатаційних режимів роботи апаратури, приладів і взагалі електричних схем

- вплив шкідливих хімічних речовин;
- широке використання різноманітного електрообладнання;
- опромінення електромагнітним випромінюванням радіочастот та надвисоких частот;

- одноманітна праця на конвеєрі

Правила техніки безпеки залежать від виду обладнання систем або пристроїв. Але є заходи спільні для всіх видів.

- не допускається експлуатація несправного обладнання;
- не допускається експлуатація обладнання некваліфікованим персоналом;
- використовувати обладнання необхідно тільки за призначенням;
- при наявності випромінювання слід встановити захисні екрани;
- закріплення відповідального за експлуатацію кожної одиниці обладнання;

Аналогічно треба приділяти увагу загальним протипожежним заходам, до яких відносяться:

- усунення безпосередніх і можливих причин пожеж;

					KPM.EC.11287685.001.ПЗ	77
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- обмеження поширення пожежі;
- створення безпечних умов для евакуації людей із споруд у випадку виникнення пожежі;

- оснащення цехів, лабораторій, робочих місць засобами гасіння пожежі.

При експлуатації пристрою управління КД, спроектованого нами, необхідно забезпечити виконання слідуючих міроприємств по техніці безпеки:

на робочому місці мають бути попереджувальні плакати, порядок користування приладом та інструкція з техніки безпеки;

- при перевірці приладу користуватися покажчиками напруги, ізолюючими підставками, монтажним інструментом з ізольованими рукоятками;

- неприпустиме розміщення нагрівальних приладів біля елементів пристрою;

- після транспортування і зберігання елементів системи при температурі, нижчій за номінальну, їх треба витримувати в номінальних кліматичних умовах на протязі двох годин перед вмиканням;

- після довготривалого зберігання елементів приладу (один рік і більше) їх необхідно піддавати випробуванню в складі системи;

Охороні навколишнього середовища з кожним роком приділяється все більше уваги, що обумовлено в першу чергу різким зростанням шкідливих викидів, що наносять біосфері великих, часто не відновлюваних втрат.

В електронній техніці використовується широка гамма матеріалів. Вже на етапі розробки нових видів продукції слід передбачити можливість її повторної переробки. Вироби повинні мати тривалий строк використання, піддаватися ремонту та демонтажу або повторному використанню.

Одним із завдань дипломного проекту була розробка друкованої плати. Процес виготовлення друкованої плати складається з декількох етапів і характеризується використанням різних хімічних речовин. При виготовленні друкованої плати застосовується багатованнова промивка, що забезпечує раціональне використання води. При скиданні її у водоймища необхідно

					KPM.EC.11287685.001.ПЗ	78
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досліджувати, як сам сток, так і воду у водоймищі. Необхідно використовувати замкнуті водооборотні цикли.

Обладнання для нанесення електролітичних, хімічних та анодизаційних поверхонь має відповідати вимогам до обладнання згідно ГОСТ 12.3.008 -75 та ГОСТ 12.2.003 - 74. Обладнання для низькотемпературної пайки, лудіння та робочі місця мають відповідати вимогам (Санітарні правила організації процесів пайки дрібних виробів сплавами, що містять свинець). Вони повинні мати місцеву витяжну вентиляцію, оснащену звуковою або світловою сигналізацією, що попереджає про припинення відносу повітря.

Всі пристрої для підключення та перемикання електричних кіл потрібно захищати кожухами згідно ГОСТ 27570-85.

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		79

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської роботи оглянуто ряд аналогів об'єкту проектування та проаналізовано літературу.

Згідно із поставленими у технічному завданні вимогами було виконано проектування електричної структурної та принципової схеми.

Проведено повний електричний розрахунок принципової схеми інтерфейсного стенду для дослідження керування експериментом за допомогою LPT порта.

Стенд є інструментом, який дозволяє дослідникам легко налаштовувати та керувати різними параметрами експерименту, що робить його незамінним для виконання високоякісних досліджень.

Стенд надає широкий спектр можливостей для налаштування експериментальних параметрів. Дослідники можуть змінювати різні фізичні характеристики для створення різних умов експерименту. Це дозволяє отримувати більш точні та достовірні результати.

Стенд має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що дозволяє дослідникам легко керувати параметрами експерименту. Це забезпечує зручність в роботі дослідника та дозволяє ефективно виконувати експерименти без зайвих зусиль.

Проектування, розрахунки, розробка графічної документації було здійснено із застосуванням програмного проектно-конструкторського пакету "AutoCAD 2022" (підготовка всієї графічної документації).

Автор роботи приймав участь у міжнародній онлайн конференції «Global Science: Prospects and Innovations», що відбулась 20-22 червня 2024 року у Ліверпулі, Велика Британія та отримав відповідний сертифікат.

					KPM.EC.11287685.001.ПЗ	80
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. П. Хоровіц, У. Хілл Мистецтво схемотехніки 1, 2, 3 Том. М. «Мир» 1993.
2. Пей АН "Сполучення ПК з зовнішніми пристроями": Переклад з англ.- М.:ДМК Прес 2001.- 320 с.
3. Михайло Гук, "Інтерфейси ПК": довідник: ЗАО «Видавництво «Питер», 1999.- 416 с.
4. Гук М. Апаратні засоби IBM PC. Енциклопедія 2-е видання. – СПб., 2001 – 928 с.
5. М. Тули, „Довідник з цифрової електроніки”: Переклад з англ. Канд. Тех. Наук В.Л. Григорьева – М. Энергоатом, 1990. – 176 с.
6. Ю.В. Новіков, О.А. Калашніков, С.Є. Гуляев "Розробка пристроїв сполучення для персонального комп'ютера типу IBM PC " Під заг. ред. Ю.В. Новікова. Практ. посібник – М.:ЕКОМ., 2002-224 с.
7. Богданович М.И., Грель И.Н. "Цифрові інтегральні мікросхеми". Мінськ "Білорусь", 1991.
8. ГОСТ 2.102-68. Види та комплектність конструкторської документації. М.: 1988.
9. В.Л. Шило. Популярні цифрові мікросхеми: Довідник.– М.: Радіо та зв'язок, 1987.
- 10.Комп'ютерні мережі. Учбовий курс: Офіційний посібник Microsoft для самостійної підготовки: Пер. з англ. – 2-е вид., випр. та доп. – М.: Видавничко-торговий дім, 1999. – 576с.
- 11.Інформатика. Комп'ютерна техніка. Комп'ютерні технології. Під ред. О. І. Пушкаря. Київ 2001.
- 12.Бойко В. І., Багрій В. В. Цифрова схемотехніка. – К: ІЗМН, 2001.- 228 с
- 13.Великі інтегральні схеми запам'ятовуючих пристроїв. Довідник. Під ред. Гордонова А. Ю., Дьякова Ю. Н. – М.: Радіо та зв'язок, 1990.-288 с

- 14.Борисенко О. А. Цифрові автомати. – Суми: Видавництво СумДУ, 2001.- 168 с
- 15.Вениамінов В. Н., Лебєдев О. Н., Мірошніченко А. И. Мікросхеми та їх застосування. – М.: Радіо та зв'язок, 1989.- 240 с
- 16.Голдсуорт Б. Проектування цифрових логічних пристроїв. – М.:Машинобудівництво, 1985.- 287 с
- 17.Гулий В. Д., Артеменко М. Б. Методичні вказівки з вивчення дисципліни Електронні промислові пристрої. – К.: КПИ, 1986.- 32 с
- 18.Гурвич И. С. Захист ЕОМ від зовнішніх перешкод. – М.: Енергоатом, 1984.- 224 с.

БІБЛІОТЕКА
УЖНУ
2024

					КРМ.ЕС.11287685.001.ПЗ	
Вим.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		82

Завідувачу кафедри ЕС ІТФ ДВНЗ УжНУ

Тарасу Заяць

Студента (-ки) II курсу

спеціальності 171 Електроніка

Шершуна В. І.

(прізвище, ініціали)

ЗАЯВА

щодо самостійного виконання
навчальної/кваліфікаційної роботи здобувачем освіти

Я, Шершун Віктор
Іванович

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Студент(-ка) денної форми навчання, ІТФ, II курсу
маг.

(форма навчання, факультет, курс)

заявляю: МОЯ ПИСЬМОВА робота на тему:

Інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом

виконана самостійно і в ній не міститься елементів плагіату

Всі запозичення з друкованих та електронних джерел, а також із захищених раніше робіт мають відповідні посилання. Я ознайомлений(а) з діючим Положенням, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску навчальної/кваліфікаційної роботи до захисту та притягнення до академічної відповідальності.

16 грудня 2024

(дата)

В.І.
(підпис)

Додаток 2.

ДОВІДКА

про результати перевірки на унікальність
кваліфікаційної, навчальної (курсової) роботи

Автор роботи	Мершун Віктор Іванович
Назва роботи	Інтерфейсний атлас для дослідження керування експериментом
Спеціальність	171 Електроніка
Курс	2
Факультет	Інженерно-технічний
Кафедра	Електронні системи
Керівник роботи	Заяць П.М.
Роботу перевірено в програмі	Unicheck
Додано до бази даних	
Ідентифікаційний номер роботи	2024 - КРМ - Мершун В.І.
Результати перевірки	
Показник унікальності тексту через перевірку роботи у внутрішній базі кафедри ЕС ІТФ ДНУВЗ УжНУ	
Показник унікальності тексту в мережі Інтернет	82%

Відповідальна особа/
Науковий керівник роботи

Заяць П.М.
(прізвище, ініціали)

16.12.24
Дата

Підпис



Автентифіковано засобом перевірки на плагіат ANTIPLA
Дата видачі: понеділок, 16 грудня 2024, 16:43
Доступно через www.antip.la

Плагіатограма

Результат (відсоток плагіату)	18%
Назва документу	2024-KPM-Шершун В.І..pdf
Кількість символів	3,559
Кількість спеціальних символів	17
Кількість слів	474
Унікальна кількість слів	325
Кількість речень	124
Найпоширеніші слова	1, Т., та, 3, Заяць
Середня довжина слова	6.5
Середня кількість слів у реченні	3.8
Всього посилань	0
Кількість слів із плагіатом	85

13.12.2024

(дата)

Шершун Віктор

(перевірів)

CERTIFICATE

is awarded to

Shershun Viktor

for being an active participant in
XI International Scientific and Practical Conference

**“GLOBAL SCIENCE:
PROSPECTS AND INNOVATIONS”**

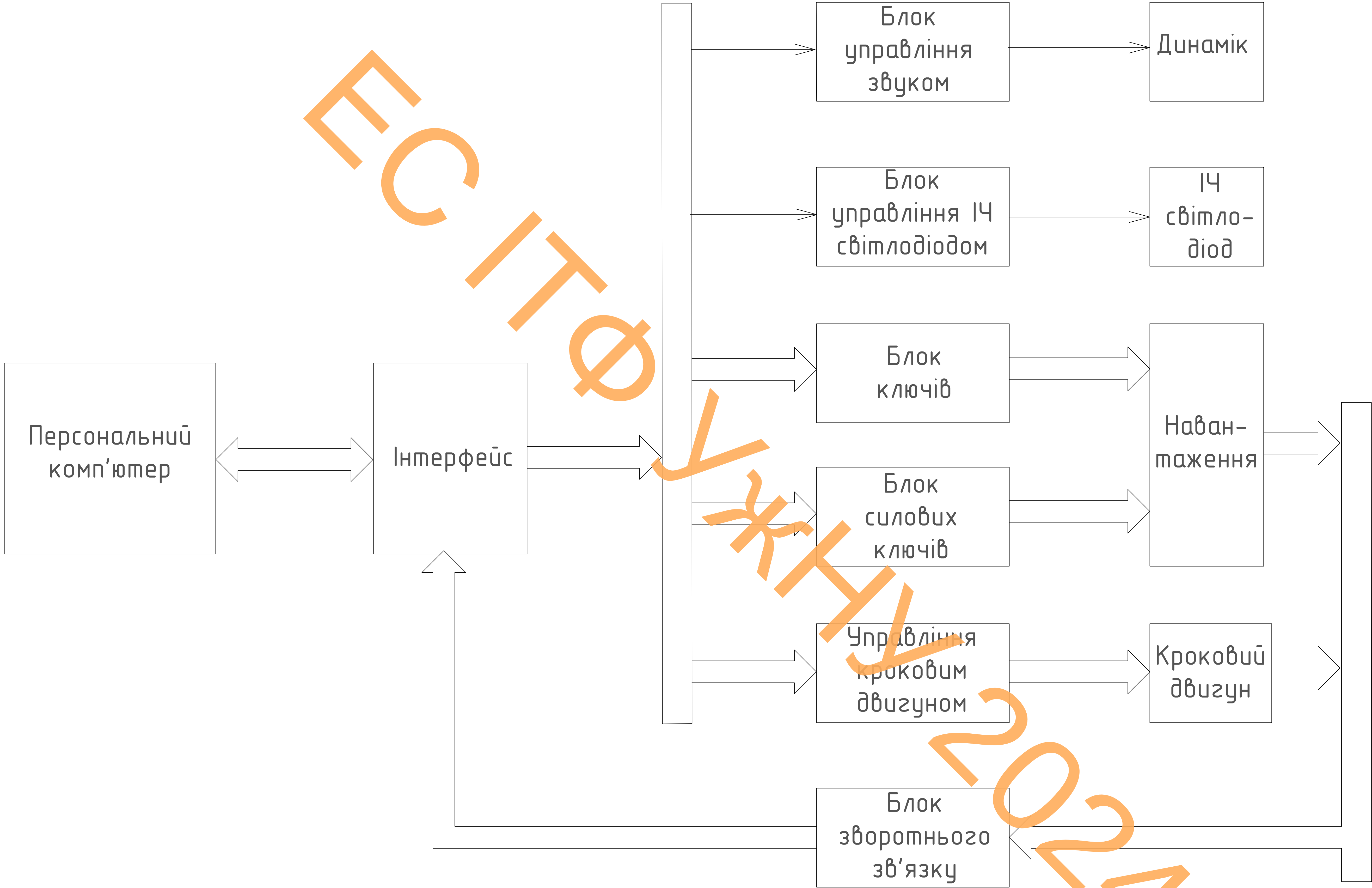
24 Hours of Participation
(0,8 ECTS credits)

LIVERPOOL

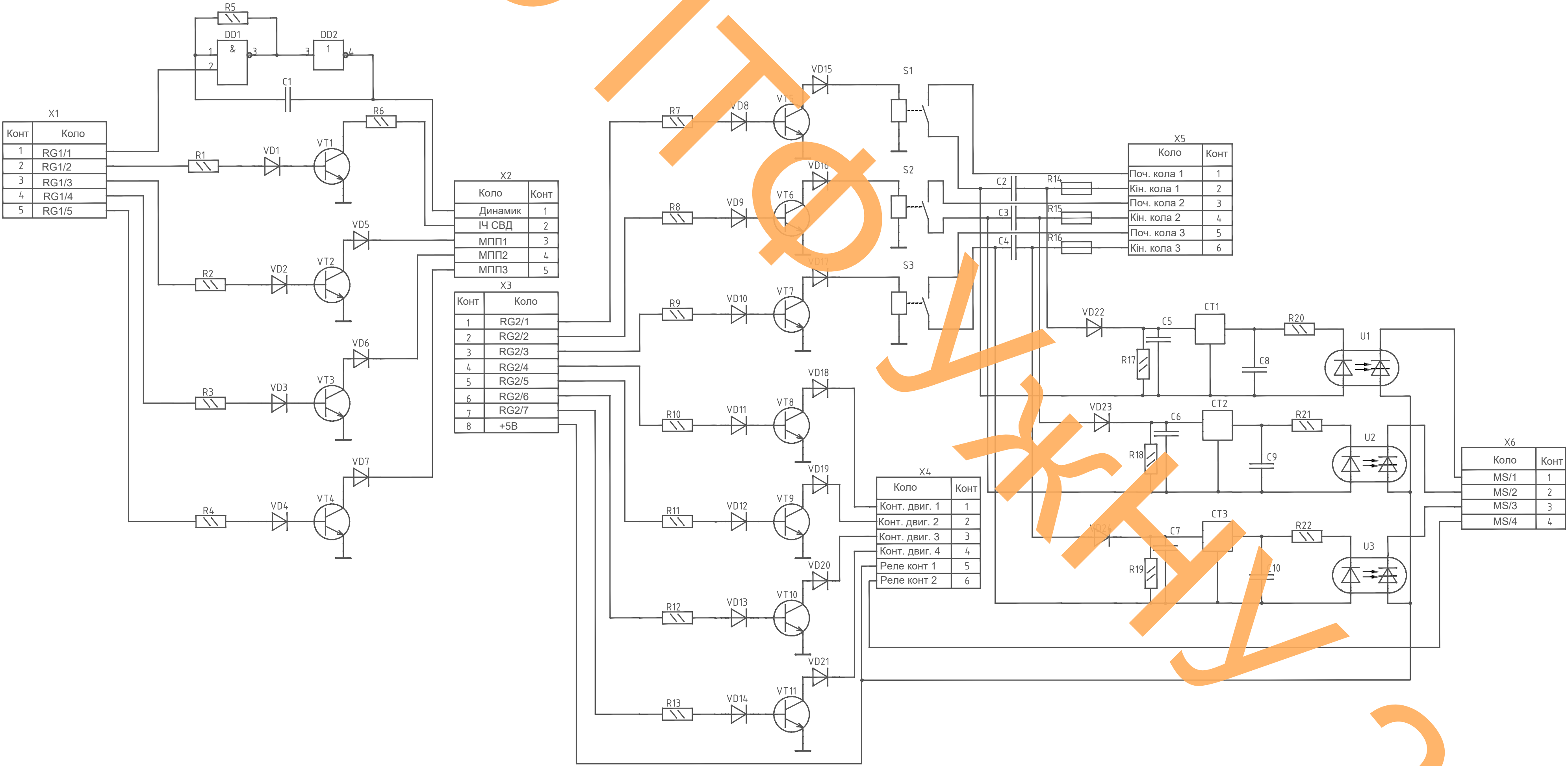
20-22 June 2024

sci-conf.com.ua



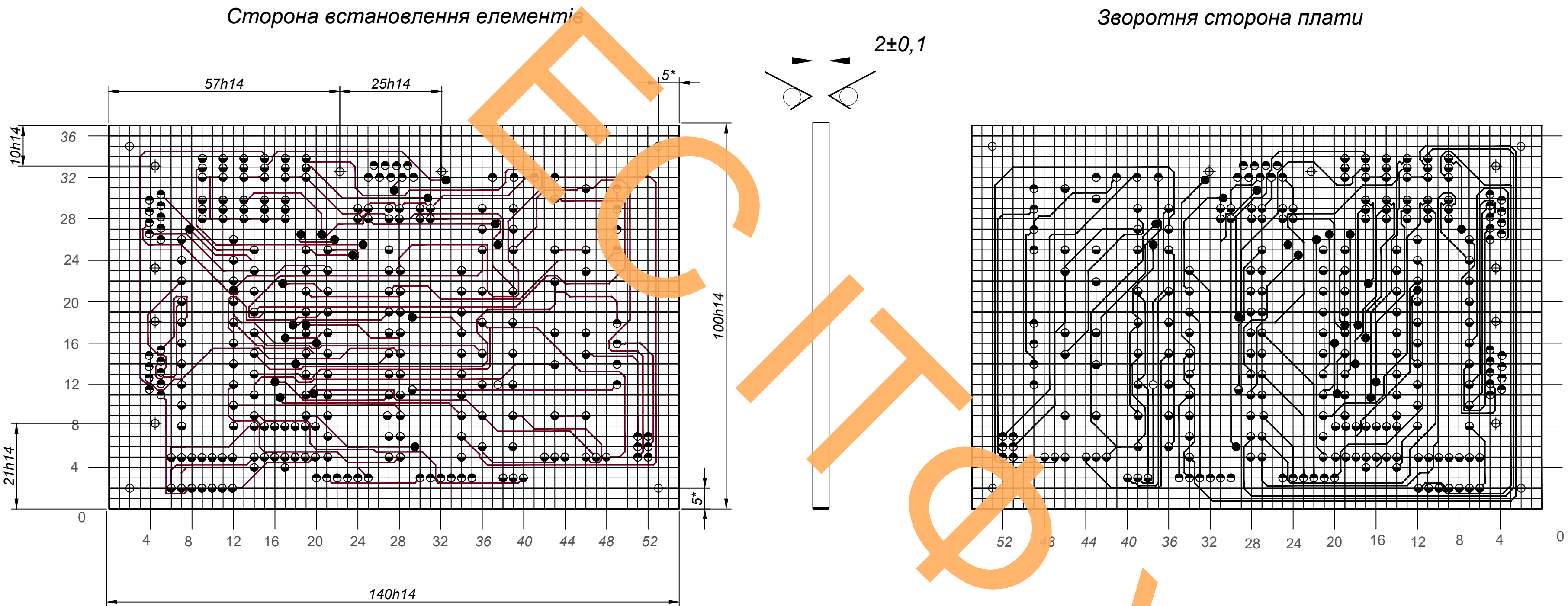


						КРМЕС 11287685.001Е1			
						Інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом	Літера	Маса	Масштаб
							у		1 : 1
							Аркуш 1		Аркушів 1
						Структурна схема	УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 2 курс		
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата					
	Розробив		Щершук В. І.						
	Перевірив		Зяць Т. М.						
	Т. контр.								
		</							



Таблиця живлення ланок мікросхем		
Найменування мікросхем	Номер входів	
	$\perp$	+ 5 В
DD1:1	7	14
DD2:1	7	14

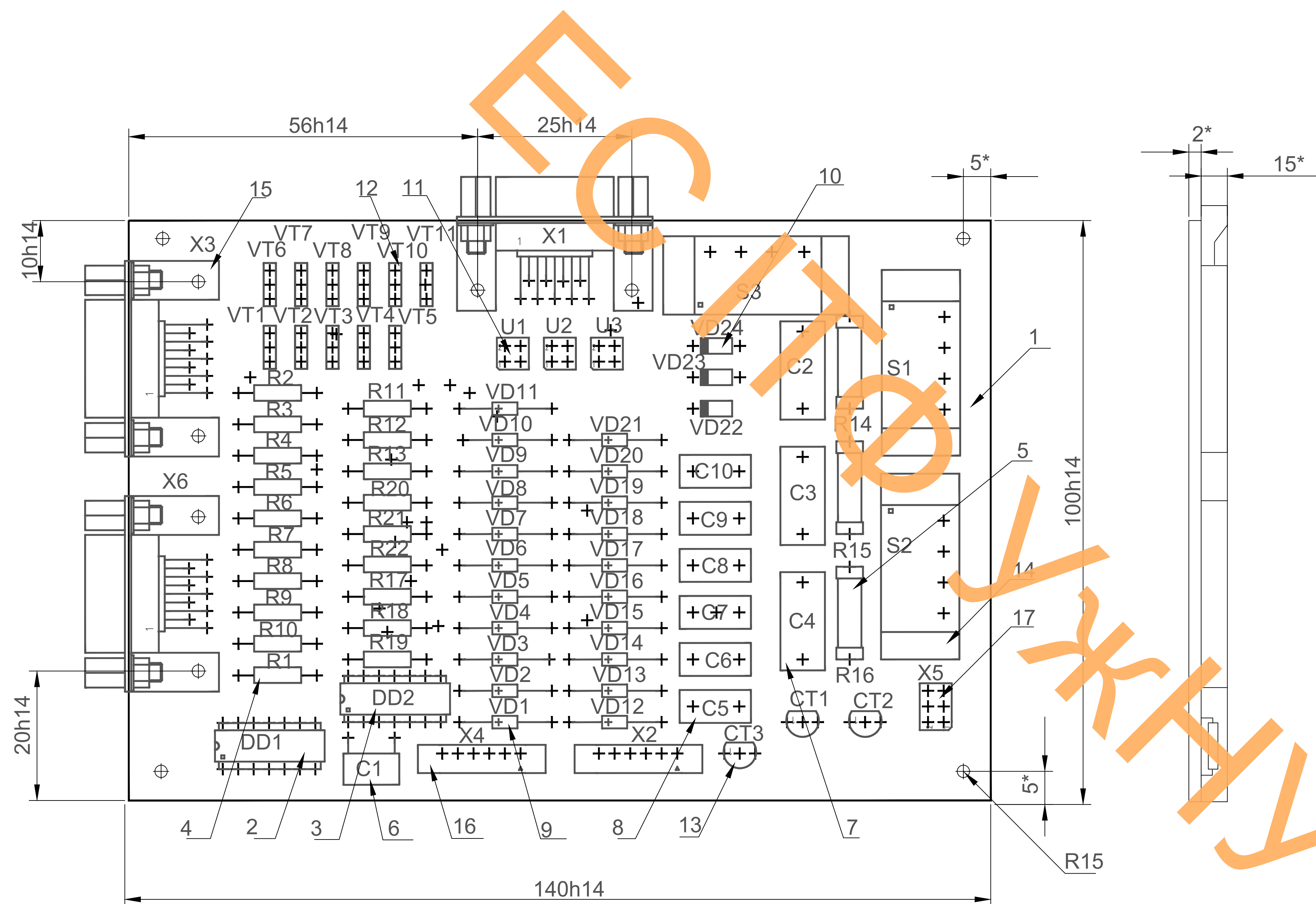
КРМЕС.11287685.001Е2								
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом	Літера	Маса	Масштаб
Розробив	Шершун В. І.					у		1 : 1
Перевірив	Заяць Т. М.					Аркуш 1		Аркушів 1
Т. контр.								
Н. контр.	Попп О.В.				Схема електрична принципова	УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 2 курс		
Ватердайт	Заяць Т. М.							



- Плату виконувати комбінованим методом.
- Крок координатної сітки 2,54 мм.
- Конфігурацію провідників витримувати по координатній сітці.
- Провідники що умовно позначені суцільними лініями, виконувати шириною не менше 0,25±0,1 і 1,5 мм±0,1 відповідно.
- Провідники покрити сплавом "Розе".
- Плата повинна відповідати ГОСТ 23752-79, загальні технічні вимоги згідно ОСТ 4ГО.070.015.

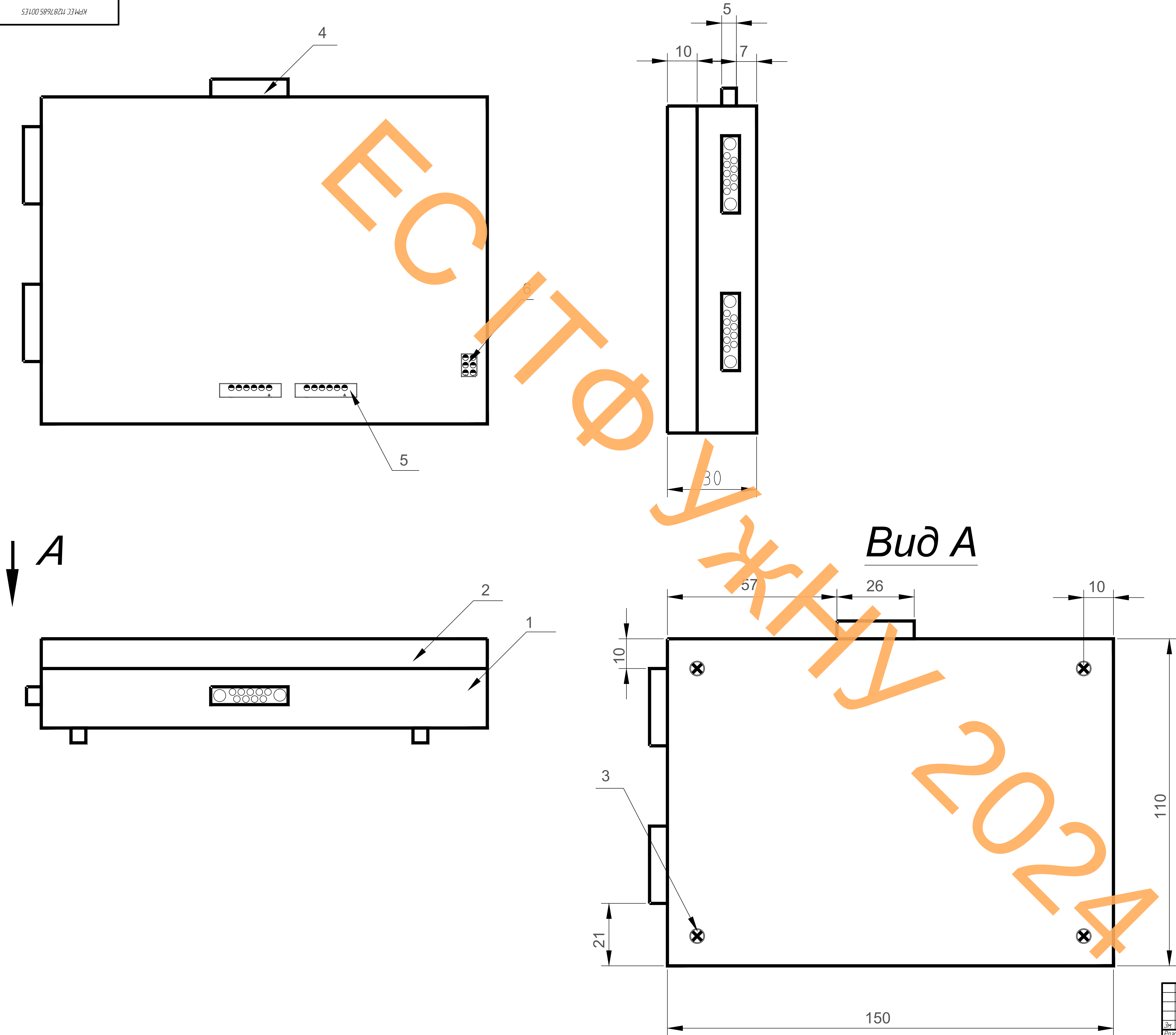
Умовне позначення отворів	Діаметр отворів, мм	Наявність металізації в отворах	Діаметр контактної площадки, мм	Кількість отворів
	0,6 ^{+0,1}	метал.	1,8	188
	0,9 ^{+0,1}	метал.	2.5	57
	0,6	метал.	1,5	23
	3,0 ^{+0,1}	не метал.	—	10

					КРМЕС.11287685.001.ДП			
Зм.	Арх.	№ документа	Підпис	Дата	Інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом	Літера	Маса	Масштаб
Розробив	Шевчук В.І.					у		1:1
Перевірив	Заяць Т.М.					Аркуш 1		Аркушів 1
Т. контр.								
Н. контр.	Палп О.В.				Друкована плата	УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 2 курс		
Затвердив	Заяць Т.М.							



1. Електромонтаж виконувати згідно ДП.ПЕ.970458. 01. 000 ЕЗ.
2. Паяти припоєм ПОС-61 ГОСТ 1499-70.
3. *Розміри для довідок.
4. Друковані провідники умовно не показані.
Плату після зборки покрити емаллю ЭП 572, білий ТУ6-10-1539-76.
5. Елементи встановити R1...R22; C1...C10; VD1...VD24; U1...U3; по варіанту Ia; DD1,DD2; VT1...VT11; S1...S3; CT1...CT3; X1...X5; по варіанту VIIa.
6. Позначення елементів маркувати краскою ЧМ, чорний, БМ, білий, ТУ 029-02 029 -02-859-78. Шрифт 2.5 згідно НО. 010.007.
Місця розміщення маркування показані умовно.

						КРМЕС 11287685.001СК			
Эм. Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Інтер'єйсний стенд для дослідження карудання експериментам		Літера	Маса	Масштаб	
Розробив	Шершун В.І.					У		1 : 1	
Перевірив	Зацьч Т. М.								
Т. контр.						Аркуш 1		Аркушів	
Н. контр.	Попр. О.В.			Складальне креслення		УжНУ, ІТФ, гр. ЕС, 2 курс			
Відповід.	Зацьч Т. М.								



						КРМЕС.11287685.001Е5		
						Інтерфейсний стенд для дослідження керування експериментом		
Зм	Арх	№ документа	Підпис	Дата		Літера	Маса	Масштаб
Разробив		Шершун В.І.				у		1 : 1
Перевірив		Заяць Т. М.						
Т. контр.						Аркуш 1		Аркушів 1
						Габаритне креслення		
Н. контр.		Попт О.В.				УкНЗ, П.Ф, зр ЕС, 2 курс		
Затвердив		Заяць Т.М.						

Поз. Позна-чення	Найменування	Кіл.	Примітки
	<u>Мікросхеми цифрові</u>		
DD1	K555ЛА9	1	
DD1	K555ЛН2	1	
	<u>Резистори</u>		
R1	МЛТ-0.125 – 2K±10%	19	R2- R13, R17- R22
R14	ВП1-1	3	R15, R16
	<u>Ємності</u>		
C1	1017В3R	1	
C2	K11047-5	3	
C5	K1047-3	6	
	<u>Діоди</u>		
VD1	КД522А	21	VD2- VD22
VD22	КД105	3	VD23, VD24
	<u>Транзистори</u>		
VT1	КТ815	11	VT2-VT11
	<u>Оптоніра</u>		
U1	АОД130А	3	U2, U3
	<u>Стабілізатори</u>		
CT1	НТ-7250	3	CT2, CT3
	<u>Реле</u>		
S1	T9A	3	S2, S3
	<u>Роз'єми</u>		
X1	CAN9R, 9 pin	3	X3, X6
X2	FB6, 6 pin	2	X4
X5	WW3-2, 6 pin	1	
</			

[illegible]