

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет інформаційних технологій та електроніки

(повне найменування факультету)

Кафедра _____ електронних апаратів _____

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту (роботи)

освітньо-кваліфікаційного рівня _____ бакалавр _____

(бакалавр, спеціаліст, магістр)

спеціальність 171 «Електроніка» _____

(шифр і назва напрямку підготовки)

на тему

**«РОЗРОБКА ВУЗЛА СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНОЇ ОПЕРАТИВНОЇ ПАМ'ЯТІ
МІКРОПРОЦЕСОРНОГО КОНТРОЛЕРА»**

Виконав: студент групи ЕЛ-
206д _____

І.Д. Швецов

Керівник _____

Ж.Г. Самойлова

Завідувач кафедри _____

Ю.Е. Паєранд

Рецензент _____

І.С. Тюндер

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**імені ВОЛОДИМИРА ДАЛІА**

(повне найменування вищого навчального закладу)

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

Завідувач кафедри ЕА

Ю.Е.Паеранд

“ ___ ” _____ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ
Швецову Івану Дмитровичу**

1. Тема проекту: **Розробка вузла сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера.**
2. Керівник проекту: Самойлова Жанна Георгіївна, доцент, затверджені наказом вищого навчального закладу від . р. № .
3. Строк подання студентом проекту 31 травня 2024 р.
4. Вихідні дані до проекту:
 - 4.1. Виріб ЕА- вузол сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера
 - 4.2. Схема електрична принципова.
 - 4.3. Температура навколишнього повітря від +15 до +50°C; відносна вологість повітря 75% при температурі 30 °C, атмосферний тиск від 84 до 107 кПа.
 - 4.4. Напруга живлення – 8...12±0,25 В, струм – не більше 5,0 А.; тип виробництва – дрібносерійне багатонаменклатурне
5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - 5.1. Вступ.
 - 5.2. Конструкторсько-технологічний аналіз технічного завдання.
 - 5.3 Створення конструкції пристрою.
 - 5.4. Технологія виготовлення пристрою
 - 5.5. Загальні висновки по роботі

7. Дата видачі завдання 10 лютого 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Строк виконання етапів	Примітка
1	Вивчення літератури з теми проекту	15.02.24 – 28.02.24	
2	Формування напрямів і задач дослідження	01.03.24 – 15.03.24	
3	Визначення методів і принципів проведення дослідження	16.03.24 - 30.03.24	
4	Дослідження та модулювання об'єктів або процесів	01.04.24 – 19.04.24	
5	Аналіз та узагальнення отриманих результатів	20.04.24 – 04.05.24	
6	Формування розділів роботи	05.05.24 – 15.05.24	
7	Оформлення пояснювальної записки та презентації	16.05.23 – 31.05.23	

Студент _____

Швецов І.Д.

Керівник проекту _____

Самойлова Ж.Г.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту містить:

71 сторінка , 15 рисунків, 13 таблиць, 16 джерел, мова - українська.

ВУЗОЛ, СЕГНЕТОЕЛЕКТРИЧНА ОПЕРАТИВНА ПАМ'ЯТЬ, МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ КОНТРОЛЕР, ЕЛЕКТРОРАДІОЕЛЕМЕНТ, РЕЗИСТОР, КОНДЕНСАТОР, МІКРОСХЕМА, ДРУКОВАНИЙ ПРОВІДНИК, МОНТАЖНИЙ ОТВІР, КОНТАКТНА ПЛОЩАДКА, КОНСТРУКЦІЯ, ТРАСУВАННЯ

Об'єкт розробки – дослідження процесу розробки вузла сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера, топологічне проектування параметрів вузла сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера.

Мета роботи - дослідити процес розробки вузла сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера, спроектувати топологію плати вузла сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера на основі схеми електричної принципової відповідно до вимог технічного завдання та розрахувати показники безвідмовності.

Метод дослідження - теоретичний із застосуванням комп'ютерної техніки.

У дипломній роботі досліджені процеси розробки вузла сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера, розраховані показники безвідмовності та спроектована топологія плати вузла сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера на основі схеми електричної принципової. Проведені конструктивні розрахунки, розрахунки по постійному та змінному струму. Проаналізовані та узагальнені отримані результати.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ.....	9
1.1. Пам'ять FRAM. Основні поняття і визначення.....	9
1.2. Аналіз призначення і складу проектованого пристрою.....	17
1.3. Аналіз умов експлуатації.....	21
1.4. Аналіз елементної бази.....	25
2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ.....	34
2.1. Вибір конструкції і класу точності друкованої плати.....	34
2.2. Трасування друкованих з'єднань.....	38
2.3. Розрахунок щільності друкованої плати.....	40
2.4. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу.....	43
2.5. Визначення мінімальної ширини друкованих провідників.....	44
2.6. Визначення діаметрів контактних майданчиків.....	47
2.7. Розрахунок надійності.....	50
3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРИСТРОЮ.....	53
3.1. Метод виготовлення друкованої плати.....	53
3.2. Технологія виготовлення блоку.....	57
3.3. Автоматизація при виготовленні пристрою.....	60
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ.....	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	65
Додаток А.....	67
Додаток В.....	70

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ЕРЕ - електрорадіоелемент;
- АСУ ТП - автоматизована система управління технологічним процесом;
- БМП-11 - блок мікропроцесорний БМп-11 467444.062;
- ІРП - інтерфейс радіальний послідовний;
- КМП-33 - контролер мікропроцесорний КМп-33 468332.247;
- МСКК – мікропроцесорного керуючого комплексу;
- МЗО - модуль зв'язку з об'єктом;
- ПЛІС – програмуєма логічна інтегральна схема;
- FLASH ПС – пам'ять програм стартових;
- FLASH ПП – пам'ять програм прикладних;
- ADSP – сигнальний мікропроцесор ADSP-2191;
- ПЕОМ – персонально електронна обчислювальна машина.

ВСТУП

Сегнетоелектрична оперативна пам'ять ([англ.](#) Ferroelectric RAM, FeRAM або FRAM) - оперативна пам'ять, за своїм устроєм схожа з DRAM, але використовує шар сегнетоелектрика замість діелектричного шару для забезпечення енергонезалежності. FeRAM - одна з зростаючого числа альтернативних технологій незалежної пам'яті, що пропонує ту ж саму функціональність, що і флеш-пам'ять

Розробка FeRAM почалася наприкінці 1980-х. У 1991 році проводилася робота в лабораторії реактивного руху [NASA](#) з поліпшення методів читання, включно з новим методом неруйнівного читання за допомогою імпульсів ультрафіолетового випромінювання.

Значна частина нинішньої технології FeRAM була розроблена [fabless-компанією](#) Ramtron International, що спеціалізується в області напівпровідникової промисловості. Одним з головних ліцензіатів стала [Fujitsu](#), що володіє за деякими оцінками найбільшою базою з виробництва напівпровідників, в тому числі виробничої лінії, придатної для випуску FeRAM. З 1999 року вони використовували цю лінію для випуску окремих мікросхем FeRAM поряд зі спеціалізованими мікросхемами (наприклад, мікросхеми для смарт-карт) з вбудованою пам'яттю FeRAM. Це прекрасно вписувалося в плани Fujitsu з виробництва пристроїв, розроблених компанією Ramtron.

Починаючи з 2001 року компанія [Texas Instruments](#) розпочинає співпрацю з Ramtron в області розробки тестових мікросхем FeRAM за оновленим процесу в 130 нм. Восени 2005 року Ramtron оголосила, що їм вдалося значно поліпшити прототипи 8-мегабітних FeRAM-мікросхем, вироблених з використанням потужностей Texas Instruments. У тому ж році Fujitsu і [Seiko-Epson](#) почали співпрацю в області розробки 180-нм FeRAM-техпроцесу.

Про дослідницькі проекти в області FeRAM заявили [Samsung](#), [Matsushita](#), [Oki](#), [Toshiba](#), [Infineon](#), [SK Hynix](#), Symetrix, Кембриджський університет, Торонтський університет і Interuniversity Microelectronics Centre (IMEC, Бельгія).

Функціонально FeRAM схожа на DRAM. Запис відбувається шляхом проникнення поля через сегнетоелектричний шар при заряджанні електродів, примушуючи атоми всередині приймати орієнтацію вгору або вниз (залежно від полярності заряду), за рахунок чого запам'ятовується «1» або «0». Однак, принцип читання відрізняється від реалізації в DRAM. Транзистор переводить клітинку в особливий стан, скажімо «0». Якщо комірка вже містить «0», то на лініях виведення нічого не відбудеться. Якщо комірка містить «1», то переорієнтація атомів в прошарку призведе до короткого імпульсу на виході, так як вони виштовхнуть електрони з металу на «нижній» стороні. Наявність цього імпульсу означатиме, що комірка зберігає «1». Оскільки процес перезаписує вміст комірки, то читання з FeRAM є деструктивним процесом, і вимагає регенерації даних у клітинці у разі їх зміни в ході зчитування.

Взагалі кажучи, функціонування FeRAM вельми нагадує [пам'ять на магнітних осердях](#) - одному з перших видів комп'ютерної пам'яті в 1960-х рр. Крім того, сегнетоелектричний ефект, використовуваний в FeRAM, був відкритий в 1920 році. Але тепер FeRAM вимагає набагато менше енергії для зміни стану полярності (направлення), причому виконує це набагато швидше.

1 АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО ЗАВДАННЯ

1.2. Пам'ять FRAM. Основні поняття і визначення

Потреба в незалежній пам'яті з довільним доступом у цифровій техніці існувала завжди. Однак, протягом десятків років не було комерційно доступної технології масового виробництва таких пристроїв, які запам'ятовують. Розробники апаратного та програмного забезпечення настільки звикли розділяти енергонезалежну та оперативну пам'ять, настільки багато створено програм, що закріплюють такий поділ, що тепер, коли нові технології одна за одною приносять бажане, потрібна перебудова конструкторського мислення. Очікується, що через 4-5 років інженери зможуть вибирати NV-RAM серед безлічі приладів, вироблених за різними технологіями. До добре відомої фероелектричної пам'яті F-RAM корпорації Ramtron додадуться мікросхеми магніторезистивної пам'яті (Magnetoresistive RAM, M-RAM) і фазозмінної пам'яті (Phase-Change RAM, P-RAM), над розробкою та впровадженням яких зараз працює безліч компаній у всьому світі. Спираючись на відомі особливості кожної з цих технологій, можна припустити, що вони будуть застосовуватися в різних областях, що частково перетинаються. З нових, поки що не освоєних технологій, найближча до впровадження в масове виробництво магніторезистивна пам'ять. Не заглиблюючись у фізичні принципи її роботи, можна виділити основні експлуатаційні особливості M-RAM: практично необмежену кількість циклів перезапису, порівняно великий обсяг масиву в одному кристалі, висока швидкодія, порівняно високе енергоспоживання. Окрім завдань розробки та впровадження технології масового виробництва M-RAM, компанії-виробники повинні вирішити технічні проблеми M-RAM, які зараз існують:

- Обмежений діапазон температур експлуатації — зразки, що надаються зараз, працюють у діапазоні температур від 0 до 70 °С. Найбільш близька до вирішення цієї проблеми компанія Freescale — опублікована документація на мікросхеми з діапазоном експлуатаційних температур від -40 до +105 °С.

- Високе енергоспоживання, що у 4–5 разів перевищує споживання F-RAM того ж обсягу; для M-RAM об'ємом 4 Мбіт струм споживання становить близько 55 мА при читанні та більше 100 мА при записі, а в режимі очікування – понад 10 мА.
- Проблема збереження даних в умовах впливу електромагнітних перешкод із рівнем, звичайним для промислових об'єктів та приладів високопродуктивної ВТ — перші зразки мікросхем M-RAM поставлялися споживачеві в корпусах, оснащених металевими екранами, без яких збереження даних не гарантувалося.

Над впровадженням технології M-RAM зараз працюють такі гіганти напівпровідникової індустрії, як NEC, Hitachi, Toshiba, Freescale та ціла низка науково-дослідних компаній. Фазоперемінна пам'ять P-RAM використовує той же принцип зберігання, що і компакт-диски, що перезаписуються — халькогенідні сплави набувають аморфного або кристалічного стану при певних температурах нагріву. Тільки для зчитування з компакт-дисків використовується відмінність у відбивній здатності аморфних і кристалічних ділянок поверхні, а мікросхемах пам'яті — різний електричний опір халькогенідних осередків у різному фазовому стані. Ключова перевага P-RAM — дуже висока стійкість до іонізуючих випромінювань, що дозволило компанії BAE Systems створити мікросхеми пам'яті зі стійкістю 200 тисяч рад і навіть 1 мільйон ради для застосування у військовій авіації та космічних апаратах.

Друга перспективна перевага P-RAM - мінімальний розмір комірки, що є діодом, до одного з електродів якого, як простий резистор, підключений халькогенідний стовп. За такої архітектури осередку можлива побудова масиву пам'яті досить великого розміру в одному кристалі. Над комерціалізацією P-RAM зараз працюють спільно Intel та ST-Microelectronics. Основні проблеми, які мають вирішити розробники перед впровадженням P-RAM у масове виробництво:

- діалектична суперечність — руйнування інформації при нагріванні та необхідність у таких сплавах, які б змінювали фазовий стан при якомога нижчій температурі — для зниження тривалості та струму запису;

- недостатня різниця опорів сплаву в аморфному та кристалічному стані потребує застосування дуже чутливих схем порівняння для розпізнавання логічного «0» та «1». Це знижує стійкість роботи мікросхем за умов електромагнітних перешкод;
- відведення тепла під час інтенсивних операцій запису;
- ресурс за кількістю циклів перезапису хоч і великий, але не достатній для довільного обігу — 10⁸–10¹⁰ циклів.

Перераховані переваги та особливості P-RAM і M-RAM дозволяють припустити, що M-RAM знайде застосування в стаціонарних високопродуктивних пристроях (вже зараз з'явилися повідомлення про прототипи комерційних M-RAM на тактовій частоті до 250 МГц), що вимагають більшого об'єму пам'яті і здатних забезпечити досить велику потребу M-RAM в енергії. Застосування P-RAM, ймовірно, лежатиме в тих областях, де інтенсивність операцій запису не буде настільки велика і буде істотна потреба у стійкості до зовнішніх впливів. На тлі претендентів на звання універсальної пам'яті нового покоління технологія F-RAM виглядає дуже привабливо в поточному стані і продовжує інтенсивно розвиватися:

- Технологія, що зараз застосовується, дозволяє виробляти F-RAM з об'ємом масиву до 64 Мбіт. Ramtron продовжує розробки, спрямовані на зменшення топологічного розміру осередку.
- На зміну логічного стану осередку потрібно менше 1 нс - існує великий потенціал для збільшення швидкодії F-RAM за рахунок застосування швидших схем CMOS-обрамлення масиву.
- Для F-RAM властиво низьке енергоспоживання, однакове в режимах запису та читання. На найвищих тактових частотах, доступних для мікросхем F-RAM, що випускаються зараз, струм споживання не перевищує 25 мА в момент перемикавання фронтів. У періоди логічних рівнів, що встановилися, струм споживання в кілька разів менше. У порівнянні з EEPROM або Flash, для запису

повного масиву мікросхеми F-RAM потрібно майже на 2 порядки менше енергії джерела живлення.

- Інформація, що зберігається в масиві F-RAM, дуже складно спотворити зовнішніми впливами, такими як електричні та магнітні поля, електромагнітні перешкоди, електростатичні розряди. Наприклад, щоб змінити поляризацію осередку F-RAM зовнішнім електричним полем, необхідно додати безпосередньо до корпусу мікросхеми поле напруженістю 130 кВ. Всі відомі проблеми безпеки даних у F-RAM практично випливають з неправильної роботи зовнішніх компонентів і недоліків у забезпеченні EMC. У 2007 році введено технологію виробництва F-RAM з проектною нормою 130 нм та ярусною архітектурою осередку пам'яті (рисунок 1.1.).

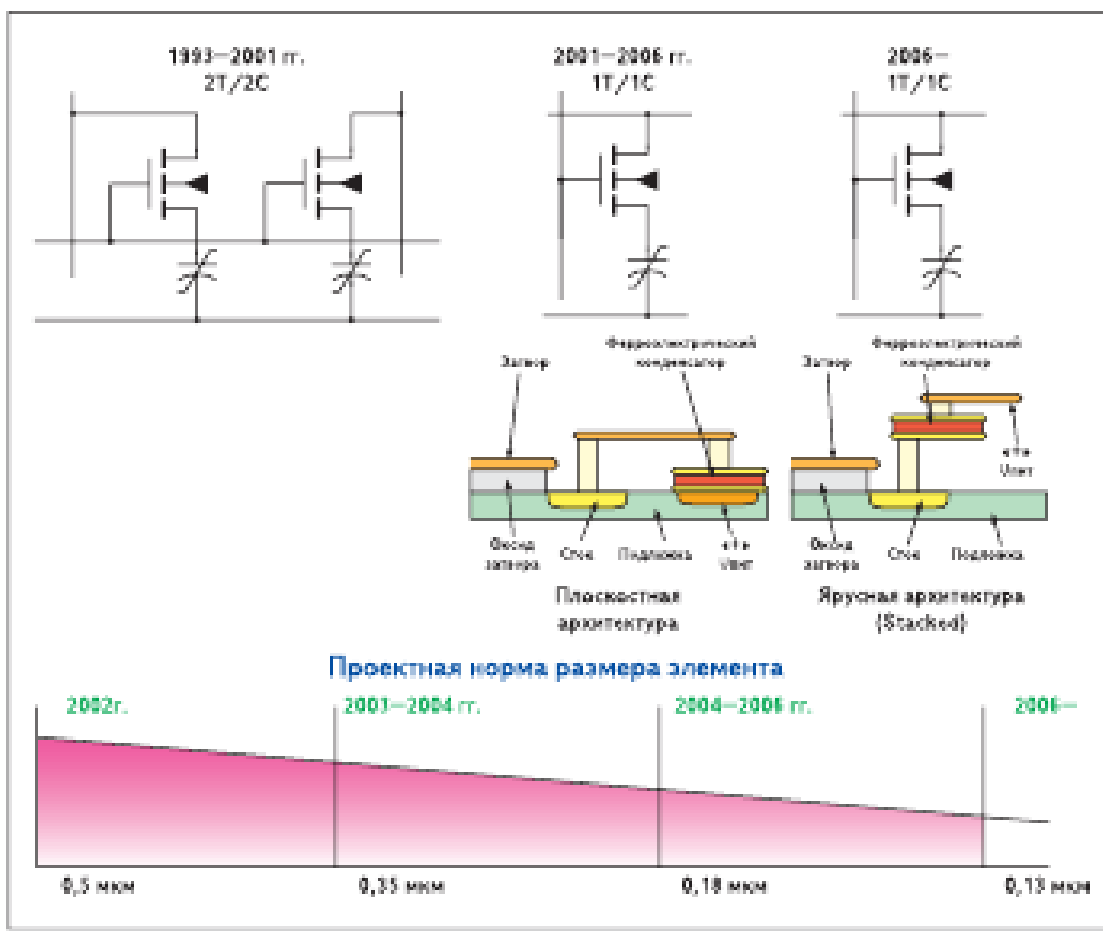
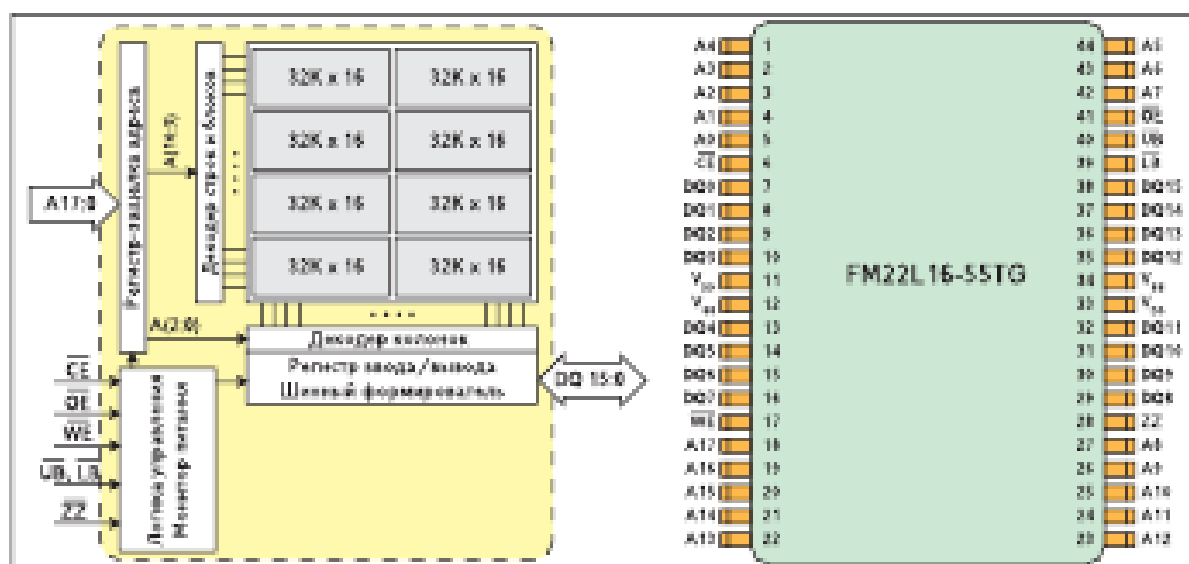


Рисунок 1.1. Етапи вдосконалення архітектури комірки FFRAM(

За рахунок розміщення фероелектричного конденсатора безпосередньо над стоком МОП-ключа, а не в одній площині з ним, вдалося зменшити розмір комірки пам'яті до 0,71 мкм². Ярусна (стекова) архітектура більш технологічна у виробництві, оскільки дозволяє краще ізолювати один від одного погано сумісні між собою хімічні речовини та процеси, які застосовуються для виготовлення елементів схеми на різних стадіях. В результаті загальна кількість інтегральних комірок (ІК) на одній кремнієвій пластині та кількість придатних різко збільшується, що сприятливо відбивається на ціні готової мікросхеми. Першими F-RAM, виробленими за технологічним процесом 130 нм, стали FM22L16-55-TG та FM21L16-60-TG з паралельним 8/16-розрядним інтерфейсом, а також FM25H20-DG (2 Мбіт) з інтерфейсом SPI 40 МГц. FM25H20-DG поки що офіційно не анонсована, але замовлення інженерних зразків зі складу локальних дистриб'юторів можливе. FM22L16 і FM21L16 однакові за структурою та функціональністю, розрізняються тільки обсягом масиву - 4 і 2 Мбіт відповідно (256X16/512X8 та 128X16/256X8). Структура FM22L16-55-TG представлена на рисунку 1.2.



Рисунк 1. 2. Структурна схема та конфігурація виводів FM22L166555TG

У FM2xL16 застосована структура масиву, вперше випробувана в 1-мегабітній FM20L08. Масив розділений на 8 блоків по 32X16, кожен із яких може бути програмно захищений від випадкової модифікації. Таким чином, в одній

мікросхемі F-RAM може зберігатися як стала (коди програм, таблиці перетворення або т. п.), так і оперативна інформація. Алгоритм управління захистом є простою послідовністю декількох операцій читання і запису за заданими адресами. Функції керування захистом виконує блок менеджера доступу (БМД), що входить до складу логіки керування. Протягом звичайної роботи БМД «спостерігає» за типами операцій та адресами осередків, до яких звертається зовнішній пристрій. Якщо в кількох послідовних циклах читання здійснюється звернення до заздалегідь заданої, встановленої виробником, послідовності адрес, БМД "розпізнає" тип операції "модифікація регістру захисту" і відкриває доступ до нього для зовнішнього пристрою. Після модифікації конфігурації блоків БМД, що захищаються, знову блокує його від випадкового доступу. Для надійного збереження даних FM2XL16 вбудований монітор живлення, блокуючий доступ до масиву при низькій напрузі живлення. Це проблема, актуальна для запам'ятовуючого пристрою (ЗП) будь-якого типу (за винятком тільки масочних ЗП та ЗП з перемиканням перемичками). Вона полягає в тому, що деякі типи мікроконтролерів при низькій напрузі живлення видають на шину некеровані, що хаотично змінюються імпульси, які можуть ініціювати випадкові операції запису в ЗП і зіпсувати дані, що зберігаються. Зазвичай, для придушення цього ефекту використовуються зовнішні або вбудовані в мікроконтролер монітори живлення та супервізори. Однак, як показує досвід багатьох інженерів, не завжди вдається уникнути спотворення даних у ЗП, причиною якого є несанкціонований доступ за низької напруги. Тому додатковий рубіж захисту даних у F-RAM FM2XL16 та FM20L08 збільшує надійність збереження інформації. Інтерфейс даних FM2XL16 може бути як 16-розрядним, так і 8-розрядним. Для управління розрядністю інтерфейсу є входи /UB і /LB. Вони визначають доступ до старшої та молодшої половини 16-розрядного слова як додаткова лінія адреси. Щоб організувати 8-розрядний інтерфейс, треба подавати на ці входи взаємно інверсні рівні та об'єднати попарно виводи даних D0-D7 та D8-D15, як показано на рисунку 1.3. За конфігурацією виводів FM2XL16 сумісні з промисловим стандартом SRAM у корпусах TSOP-II з 44 виводами і можуть бути їх апаратною заміною. FM2XL16 підтримують синхронний режим обміну з керуванням виводів/ РС, а також

асинхронний обмін за допомогою простої зміни адреси. В асинхронному режимі забезпечується швидкість обміну понад 16 Мбайт на секунду, у синхронному – понад 64 Мбайт на секунду. Розробку FM2XL16 можна по праву назвати успішною. Завдяки багаторічному досвіду Ramtron з розвитку технології та співпраці з компанією Texas Instruments з інтеграції з технологією CMOS 130 нм, ця розробка привернула широку увагу. Починаючи з другого кварталу минулого року, компанія Ramtron поставила тисячі мікросхем, і до цього часу не було зроблено скільки-небудь істотних зауважень у роботі інженерних зразків. В даний час виробництво FM2XL16 переходить у статус масового.

Майже одночасно з початком постачання інженерних зразків FM22L16 німецька компанія fimicro, яка є виробником одноплатних промислових комп'ютерів (Single Board Computer, SBC), інтелектуальних модулів розширення вводу/виводу та програмного забезпечення реального часу, анонсувала серію active104 у стандартному 104. Серія складається з мережевих та клієнтських модулів SBC (active104host Net та active104host Client) та інтелектуальних контролерів розширення вводу/виводу active104 RAID, Ethernet та USB. Невід'ємною частиною кожного модуля серії є F-RAM, яка використовується як масив універсальної пам'яті для зберігання постійної та оперативної інформації. Інженери fimicro вибрали F-RAM як альтернативу менш надійній Flash і для заміни SRAM та EEPROM. Особливості F-RAM, такі як можливість запису без затримки, практично необмежений ресурс за кількістю циклів перезапису, енергонезалежність та надмале енергоспоживання роблять серію active104, на думку фахівців fimicro, унікальною на ринку PC-104-сумісних пристроїв. Інтелектуальні модулі розширення вводу/виводу active104 підтримують функцію гарячої заміни. Використання F-RAM дозволило спростити реалізацію цієї функції, зробити її більш надійною та безпечною з погляду EMC, ніж при використанні іншого типу пам'яті. На кожному модулі active104 встановлено масив F-RAM загальною ємністю 2 Мбайт, що складається з 4 мікросхем FM22L16. У розробці знаходяться версії модулів зі змінними мікроскладання F-RAM різної ємності, які дозволять надати кінцевому користувачеві можливість

модернізації системи «на місці». Масив F-RAM використовується для зберігання базової системи вводу/виводу (BIOS), операційної системи реального часу aerolithe OSx86 RTOS, додаткового та прикладного програмного забезпечення, а також для критичних системних даних, різних для модулів кожного типу. Наприклад, у модулях active104 RAID, що використовують RAID-масив на NAND Flash накопичувачах, частина масиву F-RAM використовується для зберігання таблиці розміщення файлів, контрольної інформації, а також як енергонезалежний буфер даних, що переносяться. У модулях active104 Ethernet і USB частина масиву F-RAM використовується буферизації пакетів даних, і навіть фіксації статусу обміну у кожен час. Це дозволяє зберігати "на льоту" повну інформацію про стан каналу при раптовому зникненні живлення та відновлювати обмін з точки зупинки, як тільки живлення буде відновлено. У компанії fmicro високо оцінюють переваги, привнесені F-RAM до їхньої продукції. Оскільки основні етапи впровадження у виробництво технології F-RAM 130 нм вже пройдено, очікується, що вже цього року Ramtron істотно розширить лінійку F-RAM великої ємності. За рівнем вартості «ємні» F-RAM зараз успішно конкурують із першими продуктами M-RAM, але Ramtron планує зниження цін цього року з початком їхнього масового виробництва. Це зміцнить конкурентоспроможність технології і однозначно вплине на широке поширення F-RAM в багатьох сферах застосування.

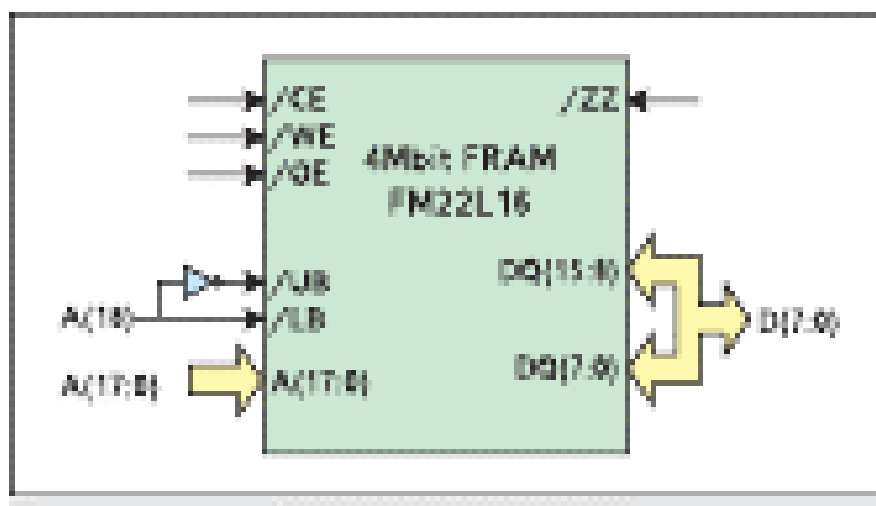


Рисунок 1.3. Підключення FM22L16 до 8-розрядної шини даних

1.2. Аналіз призначення і складу проектного пристрою

Проектований пристрій вузол сегнетоелектричної оперативної пам'яті FRAM КМп-33 призначений для виконання наступних функцій:

управління згідно з алгоритмом керуючої програми;

прийому і обробки інформації, одержуваної від модуля зв'язку з об'єктом (МЗО) через радіальні, послідовні канали зв'язку UART по інтерфейсу радіальному послідовному (ІРП);

прийому і передачі часу;

виходу з двох каналів Fast Ethernet 100BASE-FX на оптоволоконні лінії зв'язку;

виходу за двома буферними каналами послідовного зв'язку UART на оптоволоконні лінії;

виходу з каналу послідовної зв'язку UART в лінію зв'язку RS-422 (повний дуплекс) через каркас монтажний МСКУ;

зберігання інформації і конфігураційних параметрів в друкованій платі (ДП);

введення значень номера шафи і номера версії виконання мікропроцесорного керуючого комплексу (МСКК) з джамперного регістра каркаса монтажного.

КМп-33 виконує операції з приймання, обробки і видачі даних або команд в МЗО згідно реалізованої в МСКК функції управління.

Процесорне ядро КМп-33 було реалізовано на основі мікропроцесорного блоку БМп-11 467444.062 (далі - БМп-11) з процесором Intel Atom E660T і тактовою частотою 1,3 GHz.

КМп-33 має оперативну пам'ять SDRAM об'ємом 512 Мбіт на БМп-11.

КМп-33 має незалежну пам'ять (далі НП) FRAM об'ємом 128 kbyte.

КМп-33 має програмований постійний запам'ятовуючий пристрій (ППЗП) програм:

Flash пам'ять програм стартових (ПС) - 2 Мбіт;

Flash пам'ять програм прикладних (ПП) - 4 Мбіт;

Зв'язок з МЗО здійснюється по 30 напрямам через радіальні канали UART по інтерфейсу ІРП. Швидкість передачі інформації по каналах UART до 230,4 Kbit / s з градацією 115,2 і 230,4 Kbit / s.

Підключення технологічної ПЕОМ до КМп-33 виконується по тридцять другому каналу UART з фізичною реалізацією інтерфейсу RS-422 (повний дуплекс) і використовується в налагоджувальних режимах для перевірки функціонування КМп-33 і його налаштування.

Швидкість передачі інформації по каналу UART на інтерфейс RS-422 до 230,4 Kbit / s з градацією 115,2 і 230,4 Kbit / s.

КМп-33 має два канали ліній зв'язку Ethernet 100BASE-FX на оптоволоконні лінії через оптичні з'єднувачі MT-RJ.

КМп-33 має два виходи по каналах послідовного зв'язку UART в локальні послідовні мережі на швидкості 3,6 Мбіт / с з буферованими областями даних на прийом і на видачу не менше 2 кбіт з підключенням до оптоволоконних ліній зв'язку через з'єднувачі типу ST .

КМп-33 здійснює прийом і передачу часу в центральний процесор з точністю $\pm 15 \mu\text{s}$ при наявності мережі єдиного часу і $\pm 1 \text{ мс} / \text{г}$ після зникнення сигналу мережі єдиного часу за умови попередньої наявності мережі не менше 3 min. Функції прийому і передачі часу і забезпечення необхідної похибки виконуються вузлом на основі ADSP 2191.

Передача часу і даних статистики в центральний процесор виконується за запитами процесора, без використання системи переривань.

КМп-33 забезпечує введення значень номера шафи МСКК і номера версії виконання МСКК з 8-розрядної джамперного регістра, розташованого на каркасі монтажному (далі КМ) МСКК.

КМп-33 має таймер WatchDog, що відслідковує запуск контролера по включенню живлення за 32 с і здійснює контроль виконання програм з функцією перезапуску КМп шляхом апаратного скидання при припиненні підтвердження виконання програм протягом 360 мс.

КМп-33 має два внутрішніх порти PCI Express для підключення пристроїв і виходу на локальну шину.

Локальна 16-розрядна шина має швидкодію не менше 8 Мбіт/с і має перехід в мультиплексну шину для підключення ADSP 2191 вузла прийому часу, та буферованих портів.

Електроживлення КМП-33 здійснюється напругою ($5 \pm 0,25$) В від з'єднувачів КМ МСКК. КМП-33 має додатковий кінцевий контакт у верхньому краю плати для підключення до шини "Земля", що забезпечує попереднє заземлення при установці КМП-33 в КМ.

У КМП-33 забезпечено формування вторинних напруг електроживлення номіналами 1,0; 1,5; 1,9; 2,5; 3,3; В.

Споживаний КМП-33 струм - не більше 3,0 А.

Споживана КМП-33 потужність - не більше $15 \text{ В} \times \text{А}$.

Габаритні розміри КМП-33 - не більше $267 \times 270 \times 41$ мм.

Маса КМП-33 - не більше 0,65 кг.

Середній термін служби КМП-33 з урахуванням відновлювальних робіт не менше 10 років.

Середній час напрацювання на відмову - не менше 100000 г.

Середній час відновлення 1 г.

Гранично допустимі кліматичні умови експлуатації:

температура навколишнього повітря від 0 до 60 °С;

відносна вологість повітря при температурі 35 °С до 95%;

атмосферний тиск від 84 до 107 кПа.

Функціонально вся схема КМП-33 розбита на наступні вузли:

вузол центрального процесора;

вузол шини PCI Express;

вузол виходу в мережу Ethernet 100BASE-FX;

вузол незалежної пам'яті;

вузол постійної пам'яті для програм стартовою і прикладної;

вузол управління;

вузол каналів UART;

вузол прийому часу і буферованих швидких портів;

вузол введення значення джамперного регістра;

вузол електроживлення.

У вузлі FRAM використовується сегнетоелектрична оперативна пам'ять.»[2]

Електрична структурна схема пристрою зображена на рисунку 1.4., а електрична принципова схема зображена на рисунку 1.5.

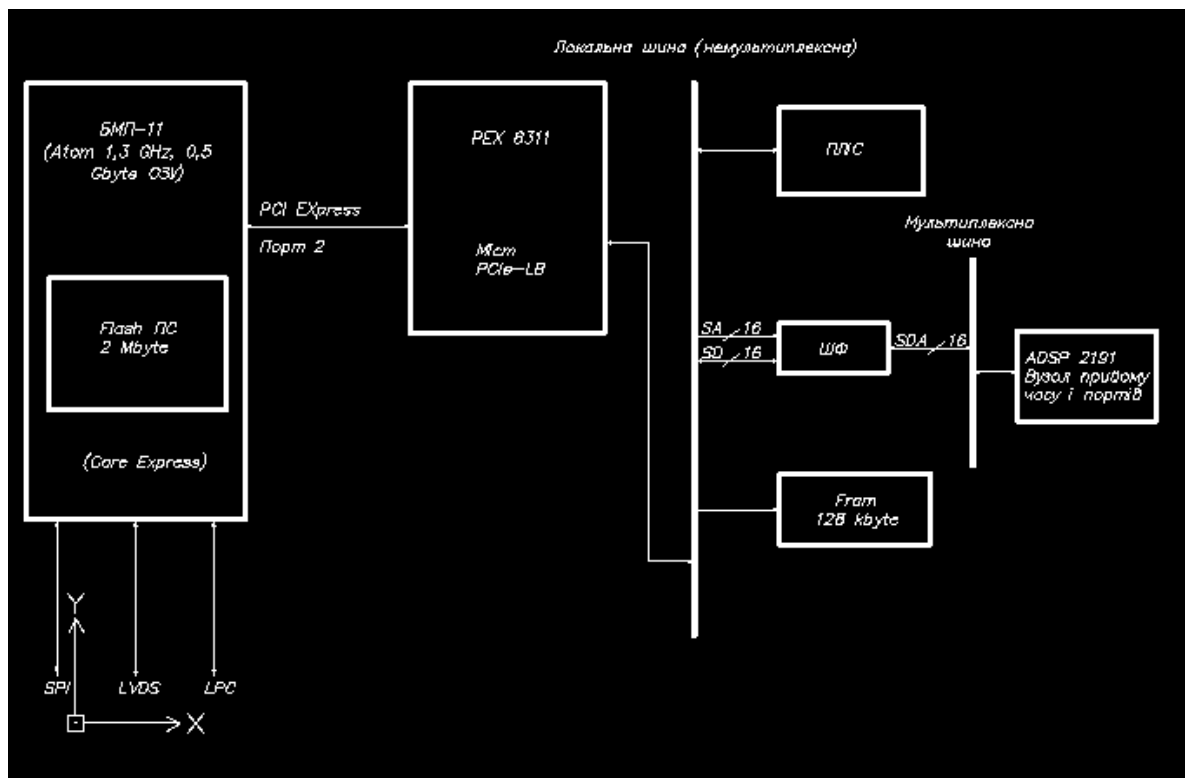


Рисунок 1.4. Структурна електрична схема проектованого пристрою

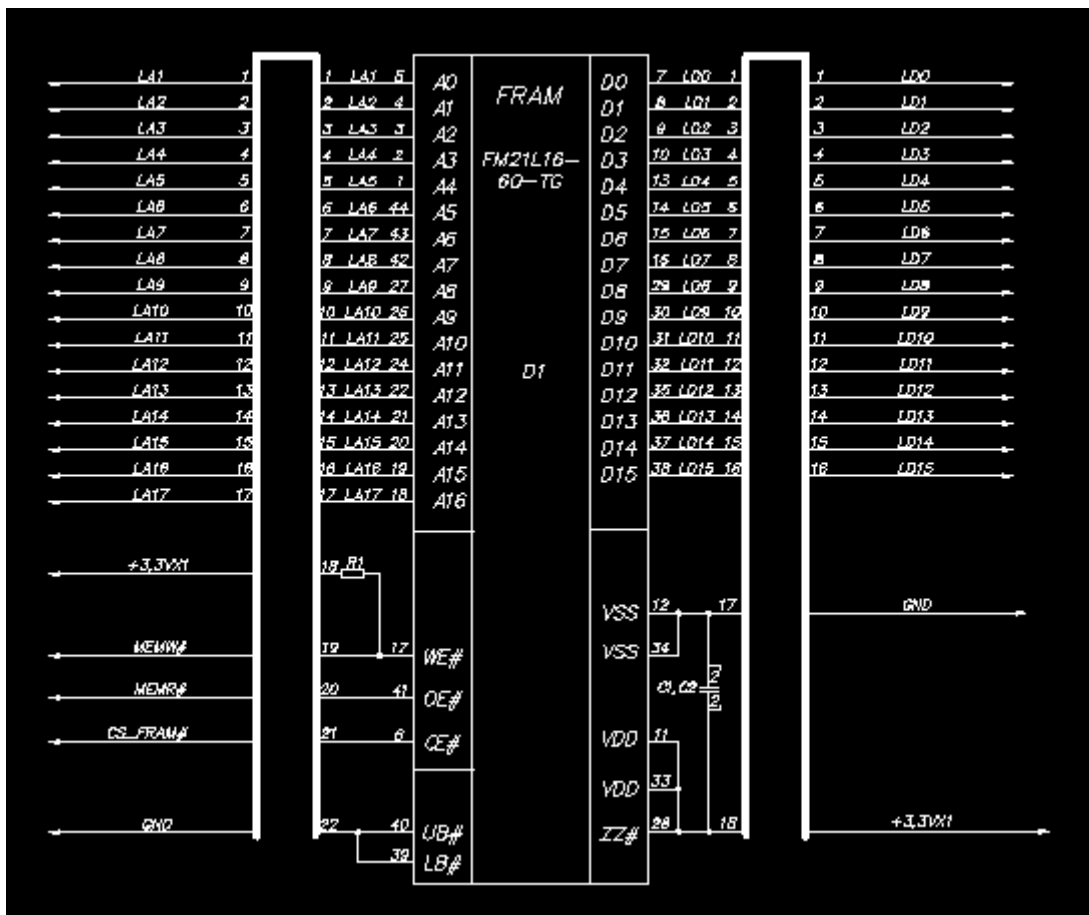


Рисунок 1.5. Електрична принципова схема проектованого пристрою

1.3. Аналіз умов експлуатації

Вузол FRAM КМп-33, згідно завдання, відноситься до наземної професійної апаратури. Категорія розміщення і кліматичне виконання наведені в таблиці 1.1

В залежності від району передбаченої експлуатації електронних апаратів (ЕА) розрізняють дев'ять основних кліматичних виконань виробів.

Вузол FRAM КМп-33 має виконання О – загально кліматичне виконання для суші (крім Антарктиди).

Таблиця 1.1 - Категорія розміщення і кліматичне виконання

Електронні апарати		Кліматичне виконання	Категорія розміщення
Клас використання	Група використання		
Наземна професійна	IV	О	4

Наземна професійна апаратура в залежності від умов експлуатації і категорії розміщення (КР) поділяється на наступні групи: I – апаратура, що працює в житлових приміщеннях, КР - 4.2; II – автомобільні радіомовні приймачі, вбудовані в кузов, КР - 2; III – носима (переносна) апаратура, що працює на відкритому повітрі, КР-1.1; IV – апаратура, що працює на відкритому повітрі в умовах руху, КР - 1.1.

У відповідності із стандартом розроблений блок повинен витримувати нормативні впливи, приведені в таблиці 1.2.

Загальні норми кліматичних впливів на електронні апарати представлені у таблиці 1.4.

Таблиця 1.2 - Норми кліматичних і механічних впливів

Види впливу, характеристика	Норми впливу
	IV група
1	2
Ударна стійкість:	5-10

прискорення, g	40-80
тривалість ударного імпульсу, мс	13000
кількість ударів, не менше	
Ударна міцність:	
прискорення, g	5-10
тривалість ударного імпульсу, мс	15
кількість ударів, не менше	60
Міцність при транспортуванні (в упакованому вигляді):	
прискорення, g	40-80
тривалість ударного імпульсу, мс	5-25
кількість ударів, не менше	13000
Вібростійкість:	
прискорення, g	0,25-1,1
частота, Гц	10-30
Теплостійкість:	
робоча температура, °С	40
гранична температура, °С	60
Понижений атмосферний тиск:	
атмосферний тиск, кПа	84-107
Холодостійкість:	
робоча температура, °С	0
гранична температура, °С	-40

О	2.1	+45	-60	+27	+55	-60	98	При 35°C
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	----	-------------

Аналіз даних, дозволяє зробити висновок, що не потрібна теплоізоляція, конструювання елементів примусового охолодження і забезпечення герметичності пристрою від дій кліматичних чинників.»[3]

1.4. Аналіз елементної бази

У вузлі FRAM використовується сегнетоелектрична оперативна пам'ять у складі якої є наступні елементи:

- конденсатори керамічні X7R-16B-0,1 мкФ±10% Murata (2 шт);
- резистори постійні RC0805FR 10K (1 шт) ;
- мікросхема FM21L16-60-TG Ramtron (1 шт) ;
- PBD з'єднувач (1 шт) .

Конденсатори

Для керамічних конденсаторів поверхневого монтажу фірми Murata параметри наведені в таблиці 1.5. Конструкцію конденсаторів можна подивитися на рисунку 1.6. [4]

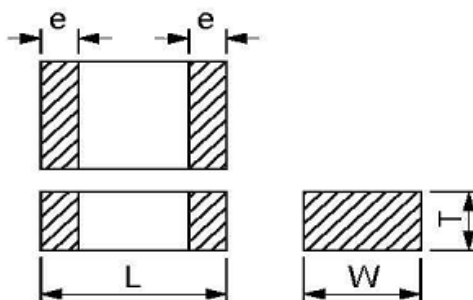


Рисунок 1.6. Конструкція керамічних конденсаторів

Таблиця 1.5 – Параметри керамічних конденсаторів фірми Murata

Тип параметру	Найменування параметру, одиниці вимірювання	Значення параметру
Електричні	Номінальна ємність	0,1 мкФ
	Робоча напруга, В	16
Конструктивні	Ширина, W, мм	0.5
	Довжина, L, мм	1
	Ширина контактних майданчиків, e, мм	0,80
	Висота, T, мм	1,50
Експлуатаційні	Діапазон робочих температур, °С	-50...125

Резистори

Для постійних резисторів параметри наведені у таблиці 1.6. Конструкція резисторів наведена на рисунку 1.7. [4]

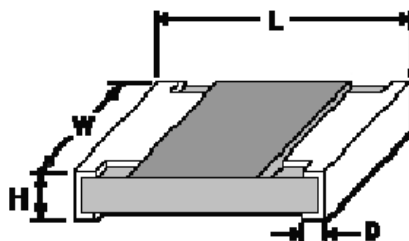


Рисунок 1.7. Конструкція резисторів RC Series

Таблиця 1.6 – Параметри резисторів

Тип параметру	Найменування параметру, одиниці вимірювання	Значення параметру
Електричні	Опір, кОм	10
	Допуск на номінал, %	±1
	Потужність, Вт	0,25
Експлуатаційні	Діапазон робочих температур, °С	±100

Мікросхема: FM21L16-60-TG

«У вузлі FRAM використовується наступна мікросхема: FM21L16-60-TG, виробник Cypress Semiconductor, корпус мікросхеми наведений на рисунку 1.8., технічні характеристики приведені в таблиці 1.7.» [5]



Рисунок 1.8. Корпус мікросхеми FM21L16-60-TG

Таблиця 1.7 – Параметри мікросхеми FM21L16-60-TG

Параметр	Значення
Кількість каналів	41
Частота, МГц	до 40
Вид монтажу	SMD/SMT
Розмір пам'яті, Mbit	2

Тип інтерфейса	Parallel
Напруга живлення - мін., В	2 V
Напруга живлення - макс., В	3.6 V
Час доступу, ns	60
Робоча напруга живлення, В	3.3
Діапазон робочих температур, °C	-40...85

На рисунку 1.9. приведені конструктивні розміри корпусу мікросхеми FM21L16-60-TG.

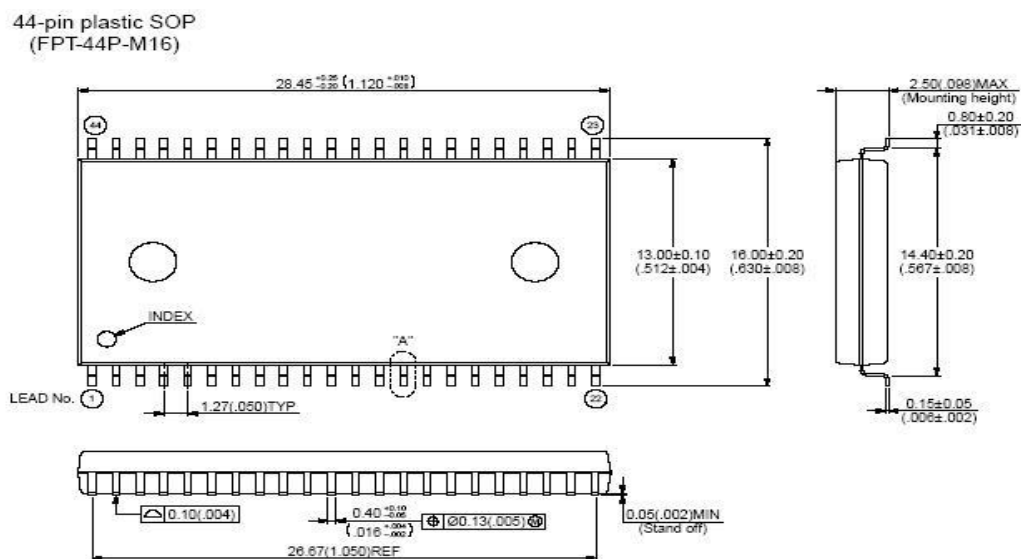


Рисунок 1.9. Конструктивні розміри корпусу мікросхеми FM21L16-60-TG

Принцип роботи мікросхеми FM21L16-60-TG

Пристрій контрольованих параметрів підключається до локальної немультіплексної шини, має обсяг 128 kbyte і реалізован на основі мікросхеми пам'яті типу FRAM об'ємом 128 kbyte FM21L16-60-TG фірми Ramtron з

доступом, виконаним в просторі пам'яті від 2 до 4 Gbyte, базова адреса якої визначається стартовою програмою на етапі ініціалізації. Доступ до FRAM на читання дозволений завжди. Запис в пам'ять FRAM може бути заборонена установкою в "1" розряду D4 регістра управління РУ1 в КМп-33.

На мікросхемі пам'яті по локальній шині адреси поступає інформація для зберігання її в мікросхемі. Вихід мікросхеми підключений до локальної шини даних, які видаються з мікросхеми по запиту центрального процесора АДСП. На виводи мікросхеми надходять сигнали по лінії адреси LA1...LA17. При надходженні сигналів MEMW# та MEMR# відбувається читання та запис інформації мікросхемою D1. При надходженні сигналу CS_FRAM# починається передача даних по шині даних LD0...LD15 на АДСП.

Схема пристрою наведена на рисунку 1.10.

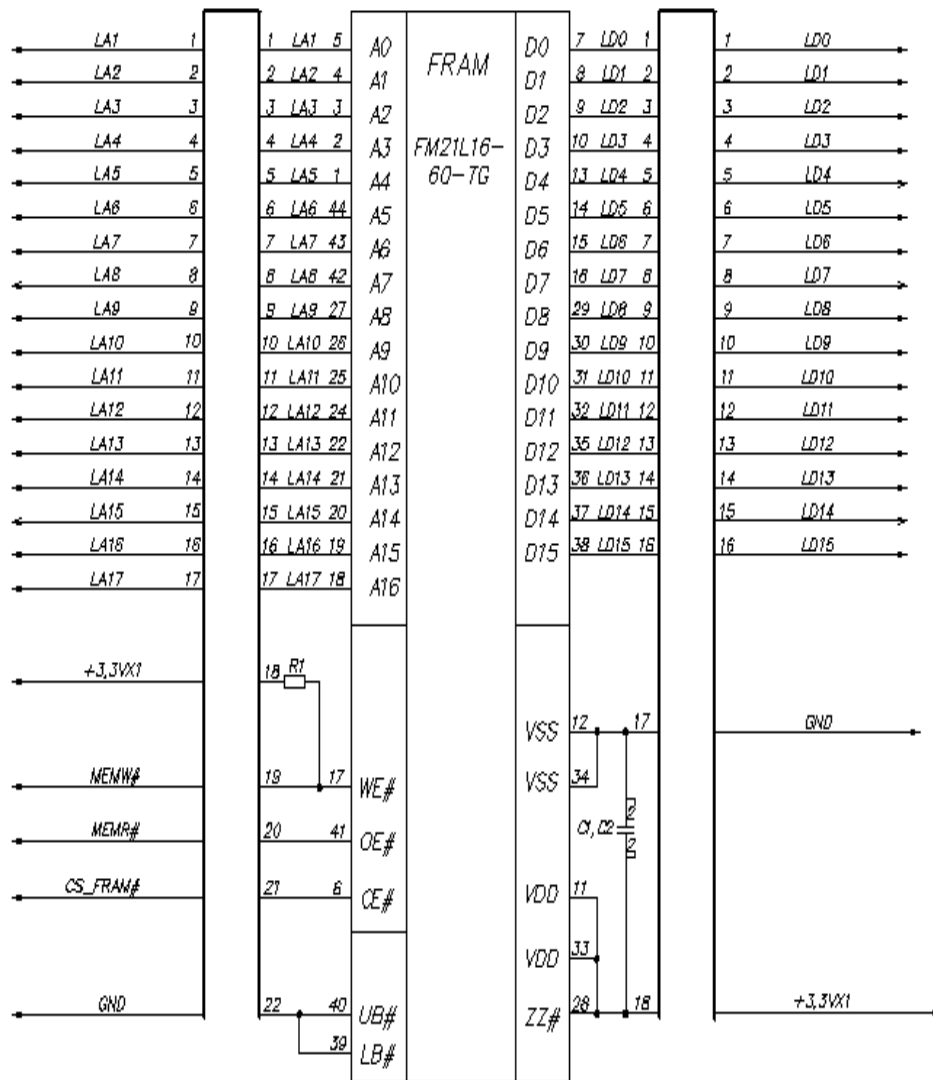


Рисунок 1.10. FM21L16-60-TG

Призначення виводів мікросхеми пам'яті FM21L16-60-TG наведено в таблиці 1.9. [2]

Таблиця 1.9 – Опис виводів FM21116-60-TG

Ім'я контакту	Тип	Опис виводів
LA(17:0)	Вхід	Ввод адреси: Ці 17 адресних шин вибирають одне з 131,072 слів в масиві FRAM. Найнижчі дві адресних шини (1: 0) можуть використовуватися для читання посторінкового режиму і запису операції.
/CE	Вхід	Мікросхема вмикає ввод: вибирається пристрій і вмикається доступ до пам'яті, коли / CE низька і / ZZ висока. Всі адреса фіксують внутрішньо в спадному режимі / CE. Наступні зміни до (1: 0). Ввод адреси дозволяє роботу посторінкового режиму коли / CE низьке.
/WE	Вхід	Дозвіл запису: цикл запису починається, коли /WE відкрито. Щоб записати дані по LD з'єднують шиною до масиву FRAM. Зростаючий фронт /WE фіксує нову адресу стовбця для циклів запису посторінкового режиму
/OE	Вхід	Вивід вмикає: коли / OE низький, FM21L16 управляє шиною даних, коли допустиме читання - дані доступні.
/ZZ	Вхід	Сон: Коли / ZZ низький, пристрій вводить режим очікування низької потужності для найнижчого надання поточного стану. ZZ повиненно бути високим для нормальної роботи читання-запису.
LD(16:0)	Вхід/Вихід	Дані: 16-розрядна двонаправлена шина даних для доступу до масиву FRAM.
/UB	Вхід	Вибір старшого байта: вмикає LD(15: 8) контакти під час читання і записів. Ці контакти вмикають-Z якщо / UB високий.

/LB	Вхід	Вибір молодшого байта: вмикає LD (7: 0) контакти під час читання і записів. Ці контакти вмикаються-Z якщо / LB високий.
VDD	Живлення	Напруга живлення: 3.3 В
VSS	Живлення	Заземлення

З'єднувач PBD 40

З'єднувач PBD 40 приведено на рисунку 1.11., технічні параметри в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Параметри з'єднувача

Вид параметра	Найменування параметра, одиниці вимірювання	Значення
Електричні	Кількість каналів	96
	Довжина підключення, мм	3,0
	Струм, А при 20°C	2
Експлуатаційні	Діапазон робочих температур ,°C	-50...85

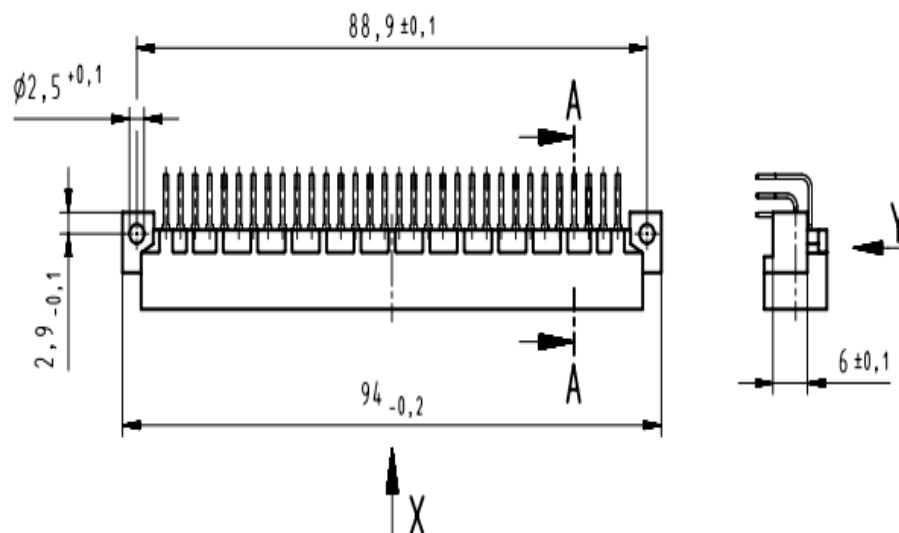


Рисунок 1.11. Конструкційні параметри з'єднувача

2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ПРИСТРОЮ

2.1. Вибір конструкції і класу точності друкованої плати

Міжконтактні з'єднання найчастіше виконуються друкованим монтажем у вигляді ДП або гнучких друкованих кабелів. Основою плат служить діелектрик, на поверхню якого приклеєна металева фольга (найчастіше – мідна). Характеристика матеріалів друкованих плат наведена в таблиці 2.1.

Для того, щоб об'єднати групи електрорадіоелементів у функціональний вузол треба створити комутаційні з'єднання із забезпеченням необхідних механічних та електричних параметрів. Це є основною метою процесу конструювання плат. Основні етапи процесу конструювання ДП:

- вибрати тип друкованої плати (однобічна, двохбічна);
- визначити клас точності;
- встановити габаритні розміри та конфігурацію;

- вибрати матеріал основи;
- розмістити навісні елементи;
- визначити розміри елементів рисунка;
- здійснити трасування;
- забезпечити автоматизацію процесів виготовлення та контролю плати, процесів складання, пайки та контролю вузлів;
- виготовити конструкторську документацію.

Для того щоб визначити розміри та форму друкованої плати (ДП) треба знати відомості про компоновання виробу, який розробляється, способи та точки її кріплення, конфігурацію пазів, вирізів, отворів і т.д. Компоновання електрорадіоелементів (ЕРЕ), а також дані про елементну базу та електричні характеристики принципової схеми визначають, розміщення елементів рисунка ДП і їх параметри, кількість друкованих шарів, клас точності.

Таблиця 2.1– Матеріали для друкованих плат

Марка матеріалу	Товщина фольги, мкм	Товщина матеріалу з фольгою, мм	Міцність зчеплення, гс/мм ²	Область застосування
СФ – 2 – 35	35	0.8; 1; 1.5; 2; 2.5; 3	300	Одно-двобічні плати з гальванічним з'єднанням провідних шарів

Експлуатаційні характеристики виробу визначають вибір типу матеріалу основи та його товщину, тип конструктивного покриття. При виборі типу ДП необхідно звернути особливу увагу на техніко – економічні показники, що залежать від складності друкованого рисунка, числа шарів та типу матеріалу основи. Відстань між елементами друкованого рисунка, а також його складність визначається, шириною та числом провідників, числом, формою і розмірами отворів, допустимими відхиленнями від номінальних значень.

У залежності від складності розрізняють три класи щільності провідного рисунка. Щільність визначається мінімально допустимими значеннями параметрів, наведених у таблиці 2.2. При наявності елементів друкованого рисунка різних класів, ДП необхідно віднести до третього класу щільності

Рекомендується розробляти ДП простої прямокутної форми із співвідношенням сторін не більше 3:1 та розмірами не більше 470×470 мм. Довжину сторони плати вибирають так, щоб вона була кратна 2.5 мм при довжині до 100 мм; 5 мм при довжині від 100 до 350 мм; 10 мм при довжині більшій ніж 350 мм.

Товщина ДП визначається вихідним матеріалом, елементною базою, яка використовується, та механічними навантаженнями, що діють на неї. Рекомендується вибирати плати товщиною 0.8; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0 мм. Якщо в платі застосовують металізовані отвори, то для якісної металізації відношення діаметру металізованого отвору до товщини плати не повинно бути більшим ніж 0.33.

Таблиця 2.2 – Класи щільності рисунку ДП

Параметр	Клас щільності друкованого монтажу
	3
Ширина провідника, мм	0.15
Відстань між провідниками, контактними площинками, провідником та контактною площинкою, провідником та металізованим отвором, мм	0.15
Відношення діаметра металізованого отвору до товщини плати	0.33
Ширина пояска контактної площинки, мм	0.025

Основні конструктивні параметри ДП четвертого класу точності наведені в таблиці 2.3.

У промисловості прийнято ряд діаметрів монтажних, перехідних, металізованих та не металізованих отворів 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6; 1,7; 1,8; 2,0; 2,1; 2,2; 2,3; 2,4; 2,5; 2,6; 2,7; 2,8; 3,0 мм. Не рекомендується на одній платі мати більше трьох отворів різних діаметрів. Тому округлюють значення діаметрів монтажних отворів для різних ЕРЕ до величини з рекомендованого ряду. Надають перевагу круглій формі контактних площинок.

Маркувальні знаки, виконані з провідникового матеріалу, розташовують на вільному полі плати так, щоб сумарна відстань між сусідніми елементами

друкованого рисунка була не менша від мінімально допустимої. Шрифт для маркування повинен мати висоту 2,5 мм.» [7].

Таблиця 2.3 – Основні конструктивні параметри ДП

Параметри	Клас точності
	4
Мінімальне значення номінальної ширини провідника, t , мм	0.15
Номінальна відстань між провідниками, S , мм	0.15
Гарантійний поясok b на зовнішньому шарі, мм	0.05
Те ж на внутрішньому шарі, мм	0.03
Відношення діаметра отвору до товщини плати	>0.33
Допуск на отвір без металізації $d < 1$ мм Δd	± 0.05
Те ж, $d > 1$ мм Δd	± 0.10
Допуск на отвір з металізацією	$+0.05$
$d < 1$ мм Δd	-0.10

2.2 Трасування друкованих з'єднань

Трасування з'єднань є, як правило, заключним етапом конструкторського проектування РЕА і полягає у визначенні ліній, що з'єднують екіпотенціальні контакти елементів і компонентів. Розробляються в основному локально оптимальні методи трасування, коли траса придатна лише на даному кроці при наявності раніше проведених сполук. Основна задача трасування формулюється

наступним чином: за заданою схемою з'єднань прокласти необхідні провідники на площині (платі, кристалі і т.д.), щоб реалізувати задані технічні з'єднання з урахуванням заздалегідь заданих обмежень. Основними є обмеження на ширину провідників і мінімальні відстані між ними. Вихідною інформацією для рішення задачі трасування з'єднань зазвичай є список ланцюгів, параметри конструкції елементів і комутаційного поля, а також дані по розміщенню елементів.

Трасування друкованих провідників виконується згідно наступних вимог:

- рекомендоване співвідношення сторін ДП 1:1; 2:1; 3:1; 4:1; 3:2; 5:2 і т.д.

Розроблювана друкована плата вузла має співвідношення сторін 1:1;

- максимальна довжина однієї сторони має бути не більше 500 мм.

Найдовша сторона розроблюваної ДП має довжину 95 мм;

- рекомендована форма ДП – прямокутна. Розроблювана ДП вузла FRAM має прямокутну форму;

- рекомендується використовувати координатну сітку в прямокутній системі координат для креслення друкованих провідників. Крок координатної сітки дорівнює 2,5 мм;

- по краях ДП необхідно передбачати технологічну зону шириною 1,5...2 мм. В цій зоні не повинно бути друкованих провідників та отворів. На розроблюваній ДП технологічна зона займає 2,5 мм з кожної сторони плати;

- всі отвори ДП повинні бути розташовані в вузлах координатної сітки.

- необхідно передбачати ключі на ДП. Вони визначають розташування першого виводу мікросхеми;

- всі начіпні елементи необхідно розташовувати паралельно лініям координатної сітки;

- відстань між корпусами ІМС повинна бути не менше 1 мм, а відстань між ними по торцю не менше 1,5 мм. Це необхідно для забезпечення тепловідводу;

- координати монтажних з'єднань можна задавати нумерацією отворів з занесенням їх координат в таблицю, нумерацією ліній координатної сітки, вказівкою розмірів координат поза рисунком ДП;
- діаметри монтажних отворів: 0,5; 1,0; 3,0 мм. Діаметри отворів обираються на 0,2..0,5 мм більше діаметра виводу елемента;
- кут згину провідників 45°. Шини дозволено згинати під кутом 45° і 90°;
- друковані провідники, ширина яких на креслені більше 1 мм, необхідно зображати суцільною потовщеною лінією;
- друковані провідники повинні мати мінімальну довжину. Якщо довжина провідника більше 200 мм, необхідно передбачати додаткові монтажні площинки і металізовані отвори;
- креслення ДП виконують в масштабах: 1:1; 2:1; 5:1; 10:1.»[8]

2.3 Розрахунок щільності друкованої плати

Розрахунок щільності ДП виконується з метою визначення ступеня насиченості ДП елементами та провідниками.

Визначаємо площу друкованої плати $S_{\text{дп}}$, мм² за формулою:

$$S_{\text{дп}}=a \times b,$$

(2.1)

де a – довжина ДП;

b – ширина ДП.

$$S_{\text{дп}}=82 \times 67,5=5535 \text{ мм}^2$$

Площа елементів S , мм^2 , визначається за формулою:

$$S = l \times b \times n, \quad (2.2)$$

де l - довжина корпусу, мм ;

b – ширина корпусу, мм ;

n – кількість елементів.

Площа конденсаторів:

$$S_{\text{кон}} = 2,5 \times 2,5 \times 2 = 12,5 \text{ мм}^2$$

Площа резисторів:

$$S_{\text{рез.}} = 2,5 \times 2,5 \times 1 = 6,25 \text{ мм}^2$$

Площа мікросхеми:

$$S_{\text{імс}} = 13,5 \times 13 \times 1 = 175,5 \text{ мм}^2$$

Площа провідників $S_{\text{пров}}$, мм^2 , визначається за формулою:

$$S_{\text{пров}} = l_{\text{ш}} \times h_{\text{ш}} + l_{\text{пр}} \times h_{\text{пр}}, \quad (2.3)$$

де $l_{\text{ш}}$ - ширина шини, мм ;

$h_{\text{ш}}$ – товщина шини, мм ;

$l_{\text{пр}}$ – ширина провідника, мм ;

$h_{\text{пр}}$ – товщина провідника, мм .

Для лицьової сторони площа провідників:

$$S_{\text{пров.л}} = 1921,5 \times 0,15 + 9 \times 1,0 = 297,2 \text{ мм}^2$$

Для дзеркального відображення площа провідників:

$$S_{\text{пров.дз}} = 763,5 \times 0,15 + 154 \times 1,0 = 268,5 \text{ мм}^2$$

Сумарну площу елементів $S_{\Sigma\text{ел.}}$, мм^2 , обчислюють за формулою:

$$S_{\Sigma\text{ел.}} = S_{\text{кон}} + S_{\text{рез}} + S_{\text{імс}} = 12,5 + 6,25 + 175,5 = 194,25 \text{ мм}^2 \quad (2.4)$$

Розраховуємо сумарну площу провідників лицьової сторони та дзеркального відображення за формулою, мм^2 :

$$S_{\Sigma\text{пр}} = S_{\Sigma\text{пр.ш.л}} + S_{\Sigma\text{пр ш дз}}, \quad (2.5)$$

$$S_{\Sigma\text{пр.ш.л}} + S_{\Sigma\text{пр ш дз}} = 297,2 + 268,5 = 565,7 \text{ мм}^2$$

Розраховуємо площу, яку займають елементи та друковані провідники за формулою, мм^2 :

$$S_{\text{ел.,пров}} = S_{\Sigma\text{ел}} + S_{\Sigma\text{пр}}, \text{ мм}^2 \quad (2.6)$$

$$S_{\text{ел.,пров}} = S_{\Sigma\text{ел}} + S_{\Sigma\text{пр}} = 194,25 + 565,7 = 759,95 \text{ мм}^2$$

Розраховуємо коефіцієнт щільності ДП - β , % за формулою:

$$\beta = \frac{S_{\text{ел пров}}}{S_{\text{дп}}} \times 100\% \quad (2.7)$$

$$\beta_{\text{ел}} = (S_{\Sigma \text{ел., пров.}} / S_{\text{д.п}}) \times 100\% = (759,95 / 5535) \times 100\% = 13,7 \%$$

В результаті розрахунку було отримано, що друкована плата насичена націпними елементами та друкованим монтажем на 13,7 %.»[9]

2.4. Конструктивно-технологічний розрахунок друкарського монтажу

Вибираємо четвертий клас точності виготовлення друкованої плати.

Конструктивні обмеження відповідають четвертому класу точності:

- мінімальне значення номінальної ширини провідника $b = 0,45$ мм;
- номінальна відстань між провідниками $S = 0,45$ мм;
- відношення діаметра отвору до товщини плати $\gamma \geq 0,5$;
- допуск на отвори $\Delta d = \pm 0,1$ мм;
- допуск на ширину провідника $b = \pm 0,1$ мм;
- допуск на розташування отворів $d = 0,15$ мм;
- допуск на розташування провідників на односторонній друкованій платі (ДДП) $\delta_1 = 0,1$ мм;
- Відстань від краю просвердленого отвору до краю контактного майданчика $b_m = 0,045$ мм;

2.5. Визначення мінімальної ширини друкованих провідників

Максимальний струм для ланцюгів живлення та шин заземлення, що протікає провідником, допустиме падіння напруги для сигнальних ланцюгів, можливості обраного методу виготовлення та клас точності плати для всіх з'єднань на платі, є трьома факторами, що визначає Ширину друкованих провідників.

Визначаємо мінімальну ширину $b_{\min I}$, мм, друкарського провідника по постійному струму для ланцюгів живлення та шин заземлення за формулою

$$b_{\min I} = \frac{I_{\max}}{I_{\text{доп}}} h_{\phi}, \quad (2.8.)$$

де I_{\max} - максимальний постійний струм у провідниках, А;

$I_{\text{доп}}$ - допустима щільність струму, А/мм²;

h_{ϕ} – товщина друкарського провідника (товщина фольги), мм.

$$b_{\min I} = 0,1 / (20 \cdot 0,035) = 0,14.$$

Визначаємо мінімальну ширину $b_{\min U}$, мм, друкованого провідника виходячи з допустимого падіння напруги на ньому, за формулою

$$b_{\min U} = \rho I_{\max} \frac{1}{h_{\phi} U_{\text{доп}}}, \quad (2.9.)$$

де ρ – питомий опір фольги, Ом·мм²/м;

I - максимальна довжина сигнального друкарського провідника на платі, м;

$U_{\text{доп}}$ - допустиме падіння напруги, В.

$$b_{\min U} = 0,05 \cdot 0,1 \cdot 0,126 / 0,035 \cdot 0,1 = 0,18$$

Мінімальна ширина друкованих провідників для ДДП, виготовлених хімічним методом, визначається за формулою

$$b_{\min} = b + 1,5h_{\phi} + (0,03 \dots 0,08) = 0,45 + 1,5 \cdot 0,035 + 0,03 = 0,53$$

Вибираємо ширину друкованих провідників у сигнальних ланцюгах із умови

$$b \geq b_{\min}, \quad (2.10.)$$

у ланцюгах живлення та шинах заземлення з умови

$$b \geq \max \{ b_{\min}, b_{\min I}, b_{\min U} \}.$$

$$0,5 \geq \max \{ 0,53; 0,14; 0,18 \}, \text{ обираємо } b=0,53$$

Перевіряємо провідники з обраною шириною 0,53 мм на допустимий струм при вибраній товщині фольги 0,35.

$$I_{\max} \leq I_{\text{доп}},$$

$$0,1 \leq 0,35$$

Номінальне значення діаметрів d , мм монтажних отворів за групами виведення елементів визначається за формулою

$$d = d_{\text{э}} + |\Delta d_{\text{н.о.}}| + r, \quad (2.11.)$$

де d_e - максимальний діаметр вивода елемента, що встановлюється на плату, мм; $\Delta d_{н.о.}$ – нижнє граничне відхилення номінального діаметра монтажного отвору, мм; γ - різниця між мінімальним діаметром отвору та максимальним діаметром виведення елемента (в межах 0,1...0,4 мм).

Розраховані значення діаметрів d округляють до найближчого більшого значення ряду: 0,7; 0,8; 0,9; 1,0; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5 ...

Оскільки елементи мають різні діаметри виводів, їх можна розділити на дві групи:

$$d_3 = 0,5 \text{ мм}$$

$$d_3 = 1,5 \text{ мм}$$

$$d_1 = 0,5 + |0,15| + 0,4 = 1,05 \text{ мм}$$

$$d_2 = 1,5 + |0,15| + 0,4 = 2,05 \text{ мм}$$

Перевіряємо найменше значення діаметра монтажного отвору на відповідність

$$d \geq d_{\min} = H \times \gamma . \quad (2.12.)$$

де H - товщина друкованої плати, мм; γ – конструктивне обмеження, пов'язане з розсіювальною здатністю електrolітів, що використовуються при гальванічній металізації монтажних та перехідних отворів; d_{\min} – мінімальний діаметр перехідного отвору, мм.

$$1,5 \geq 1,5 \cdot 0,5 = 0,75$$

Умова (3.5.) виконується, отже, діаметри монтажних отворів обрані правильно.

2.6. Визначення діаметрів контактних майданчиків

Контактна площадка отвору в друкованій платі забезпечує пайку виводів навісних елементів та надійний електричний контакт між ланцюгами, що розташовані на різних сторонах плати. Через особливості процесу травлення фольги бічне підтравлювання зменшуватиме дійсні розміри друкованого малюнка і частково руйнуватиме адгезійний шар між діелектриком і фольгою, що може призвести до відшаровування тонких елементів друкованого малюнка. Тому діаметр контактного майданчика має перевищувати мінімальний діаметр D_{\min} , мм, який залежить від методу виготовлення друкованої плати.

Максимальний діаметр просвердленого отвору d_{\max} , мм визначається по формулі:

$$d_{\max} = d + \Delta d + (0.1 \dots 0.15), \quad (2.13.)$$

де Δd – допуск на отвір.

$$d_{\max 1} = 0,9 + 0,15 + 0,1 = 1,15 \text{ мм}$$

$$d_{\max 2} = 1,5 + 0,15 + 0,1 = 1,75 \text{ мм}$$

Мінімальний ефективний діаметр $D_{1\min}$, мм, контактного майданчика визначається за формулою:

$$D_{1\min} = 2/(b_m + d_{\max} / 2 + \delta d + \delta p), \quad (2.14.)$$

$$D_{1\min 1} = 2(0,045 + 1,15 / 2 + 0,15 + 0,25) = 2,39 \text{ мм}$$

$$D_{1\min 2} = 2(0,045 + 1,75 / 2 + 0,15 + 0,25) = 2,74 \text{ мм}$$

Мінімальний діаметр контактного майданчика для ОДП, виготовленого хімічним методом, визначається за такою формулою:

$$D_{\min} = D_{1\min} + h_{\phi}, \quad (2.15.)$$

$$D_{\min 1} = 2,39 + 0,035 = 2,425 \text{ мм}$$

$$D_{\min 2} = 2,74 + 0,035 = 2,775 \text{ мм}$$

Максимальний діаметр контактної майданчика D_{\max} , мм визначається за формулою:

$$D_{\max} = D_{\min} + (0,02 \dots 0,06) \quad (2.16.)$$

$$D_{\max 1} = 2,425 + 0,06 = 2,485 \text{ мм}$$

$$D_{\max 2} = 2,775 + 0,06 = 2,835 \text{ мм}$$

Визначаємо мінімальні відстані між елементами провідного рисунка.

Мінімальні відстані між провідником та контактним майданчиком визначається за формулою:

$$S_{1 \min} = L_0 - [(D_{\max} / 2 + \delta_p) + (b_{\max} / 2 + \delta_l)], \quad (2.17.)$$

де δ_l – допуск на розташування провідників

L_0 – відстань між центрами елементів рисунка на кресленні, мм.

$$S_{1 \min} = 2,5 - [(2,485/2 + 0,3) + (1,15/2 + 0,1)] = 0,2 \text{ мм}$$

Мінімальні відстані між двома контактними майданчиками визначається за такою формулою:

$$S_{2 \min} = L_0 - (D_{\max} + 2 \delta_p) \quad (2.18)$$

$$S_{2 \min} = 2,5 - (2,775 + 2 * 0,3) = 0,325 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань між двома провідниками визначається за такою формулою:

$$S_{3 \min} = L_0 - (b_{\max} + 2\delta). \quad (2.19.)$$

$$S_{3\min} = 2,5 - (1,15 + 2 \cdot 0,3) = 0,75 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань між центрами двох контактних майданчиків під час прокладання між ними N друкованих провідників визначається за формулою:

$$S_{4\min} = 0,5D_{1\max} + 0,5D_{2\max} + 2\delta p + (b_{\max} + \delta)N + S(N + 1). \quad (2.20.)$$

$$S_{4\min} = 0,5 \cdot 2,485 + 0,5 \cdot 2,775 + 2 \cdot 0,3 + (1,15 + 0,1)2 + 0,45(2 + 1) = 6,35 \text{ мм}$$

Мінімальна відстань центру отвору від краю плати для прокладання N друкованих провідників між контактним майданчиком отвору та краєм плати визначається за формулою:

$$S_{5\min} = 0,5D_{\max} + \delta p + (S + b_{\max} + \delta)N + S_{on}. \quad (2.21)$$

де S_{on} – мінімальна відстань від краю плати до друкарського провідника.

$$S_{5\min} = 0,5 \cdot 2,485 + 0,3 + (0,45 + 0,55 + 0,1) \cdot 2 + 3 = 6,74 \text{ мм}$$

Розрахунок параметрів друкарського монтажу для оцінки стійкості до перешкод.

Проводиться для сигнальних ланцюгів і полягає у визначенні ємнісної та індуктивної складових паразитного зв'язку між елементами друкованого монтажу.

Паразитна ємність C , пФ між двома провідниками визначається за формулою:

$$C = C_{\text{пог}} \cdot L_i, \quad (2.22.)$$

де L_i - Довжина взаємного перекриття провідників, див.

Погонна ємність $C_{\text{пог}}$, пФ/см, визначається за формулою:

$$C_{\text{пог}} = K_n \cdot E, \quad (2.23.)$$

де K_n - коефіцієнт пропорційності $K_n = 0,27$;

E – діелектрична проникність середовища між провідниками визначається за такою формулою:

$$E = (E_n + E_g) / 2, \quad (2.24.)$$

де E_n - діелектрична проникність матеріалу плати (для склотекстоліту СТПА-5-2 ГОСТ 10316 – 78 $E_n = 6$); E_v - діелектрична проникність повітря, $E_v = 1$ (якщо плата покрита лаком, то діелектрична проникність лаку $E_l = 9$).

$$E = (6 + 9) / 2 = 7,5$$

$$C_{noz} = 0,27 \cdot 7,5 = 2,025 \text{ ПФ/см}$$

$$C = 2,025 \cdot 0,21 = 0,425 \text{ ПФ}$$

Креслення друкованої плати і креслення збірки друкованої плати наведено в додатку А і В.

2.7 Розрахунок надійності

Головним фактором роботи цифрової системи виступає її надійність, що визначається ймовірністю безвідмовної роботи $P(t)$.

Надійність - це властивість об'єкта виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у припустимих межах, що відповідають прийнятним режимам і умовам використання, зберігання й транспортування.

Дані для розрахунку надійності представлені в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Інтенсивність відмов елементів

Найменування	Кількість, n_i	Інтенсивність відмов, $\lambda_j \cdot 10^{-6} \Gamma^{-1}$	Інтенсивність відмов, $n_i \cdot \lambda_j \cdot 10^{-6} \Gamma^{-1}$
1.Конденсатор керамічний	2	0,1	0,2
2.Резистор постійний	1	0,016	0,016
3.Мікросхема	1	0,075	0,075
4.З'єднувач	1	0,062	0,062
5.Паянні з'єднання	24	0,01	0,24

Інтенсивність відмов ЕРЕ $\lambda_{н.ум}$, год⁻¹, з урахуванням їх кількості розраховується за формулою (2.8) та результат записується у четверту колонку таблиці 2.4.

$$\lambda_{н.ум} = n_i \times \lambda_j, \quad (2.25)$$

де n – кількість ЕРЕ, шт.;

λ_i – інтенсивність відмов, год⁻¹.

$$n_i \lambda_{j1} = 2 \times 0,1 \times 10^{-6} = 0,2 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

$$n_i \lambda_{j2} = 1 \times 0,016 \times 10^{-6} = 0,016 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

$$n_i \lambda_{j3} = 1 \times 0,075 \times 10^{-6} = 0,075 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

$$n_i \lambda_{j4} = 1 \times 0,062 \times 10^{-6} = 0,062 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

$$n_i \lambda_{j5} = 24 \times 0,01 \times 10^{-6} = 0,24 \times 10^{-6} \text{ год}^{-1}$$

Інтенсивність відмов пристрою λ , год⁻¹, визначається за формулою

$$\lambda_{\Sigma} = (0,2+0,016+0,075+0,062+0,24) \times 10^{-6} = 0,593 \times 10^{-6} \quad (2.26)$$

$$T_{\text{сер}} = 1 / \lambda$$

$$T_{\text{сер}} = 1 / \lambda = 1 / (0,593 \times 10^{-6}) = 1686340 \text{ год}$$

Розраховуємо інтенсивність безвідмовної роботи $P(t)$, %, при значеннях часу напрацювання вузла на відмову $T=100000$; 200000 ; 300000 годин.

$$P(t) = 1 - e^{-\lambda(t)} \quad (2.27)$$

$$P(100000) = 1 - 0,593 \times 10^{-6} \times 10^5 = 0,94 \text{ або } 94\%;$$

$$P(200000) = 1 - 0,593 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^5 = 0,88 \text{ або } 88\%;$$

$$P(300000) = 1 - 0,593 \times 10^{-6} \times 3 \times 10^5 = 1 - 40 \times 10^{-2} = 0,82 \text{ або } 82\%.$$

Розраховуємо інтенсивність відмов $Q(P)$, %:

$$Q(P) = 1 - P(t) \quad (2.28)$$

$$Q(100000) = 1 - 0,94 = 0,06 \text{ або } 6\%$$

$$Q(200000) = 1 - 0,88 = 0,12 \text{ або } 12\%$$

$$Q(300000) = 1 - 0,82 = 0,18 \text{ або } 18\%$$

Графік ймовірності відмови приведений на рисунку 2.1.

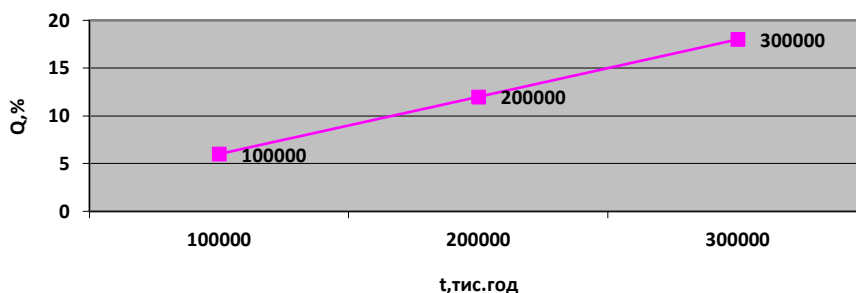


Рисунок 2.1- Графік ймовірності відмов

В результаті виконаного розрахунку надійності отримано що після 300000 годин безперервної роботи кількість відмов складе 18%.»[10]

3 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРИСТРОЮ

3.1 Метод виготовлення друкованої плати

Виготовлення друкованої плати (ГОСТ 2.417-91) здійснюється хімічним, електрохімічним або комбінованим способом. Комбінований спосіб є поєднанням перших двох способів. Вихідним матеріалом служить фольгований з двох сторін діелектрик, тому провідний рисунок одержують витравленням міді, а металізація отворів здійснюється за допомогою хімічного міднення з подальшим електрохімічним нарощуванням шару міді. Паяння виводів електрорадіоелементів проводиться за допомогою заповнення припоєм монтажних отворів в платі.

При комбінованому негативному методі захисний шар фоторезисту наносять на провідники і контактні майданчики, тому фотошаблон має негативне зображення плати (прозорі провідники на темному тлі).

Недоліки негативного методу :

- при металізації отворів відкриті ділянки діелектричної основи насичуються хімічними розчинами і отримують за рахунок цього підвищену провідність. Надійність ізоляції, що реалізовується цим методом - низька;

- при гальванічній металізації отворів виникають великі утруднення для організації електричного контакту стінок отворів з катодом гальванічної ванни.

- при відділенні лакового покриття можливе часткове руйнування підшару, що проводить, в отворах. Умови для електрохімічної металізації порушуються.

Проаналізувавши усі методи для виготовлення друкованої плати індикатору напруги обирається метод комбінований позитивний.

Технологічний процес виготовлення друкованої плати комбінованим позитивним методом складається з наступних операцій:

- нарізка заготовок;
- створення базових отворів;
- створення отворів під металізацію;
- хімічна металізація діелектрика;
- нанесення маски;
- гальванічна металізація плати;
- нанесення припою на малюнок;
- видалення маски;
- травління міді з незахищених припоєм місць;

- оплавлення припою;
- обробка плати по контуру;
- маркування плати;
- нанесення захисного покриття;
- остаточний контроль плати [7].

Різання листового діелектрика, штампування, свердління отворів є основними операціями механічної обробки.

Для виготовлення плати розроблюваного пристрою використовувалася різка на роликкових ножицях. Це дозволяє підвищити продуктивність, виключити засмічення приміщення пилом і скоротити відходи матеріалу.

Поверхня пробитих отворів має погану якість. Тому пробиті отвори майже неможливо металізувати. Тому для виготовлення отворів використовувалось свердління.

Далі при виготовленні друкованої плати треба було одержати друковану структуру.

Для того, щоб створити провідний шар на поверхні фольгованого діелектрику проводиться хімічна металізація. Далі друковані плати занурюють у ванну, яка містить солі матеріалу, що осаджується (міді). Потім друковані плати витримують в ванні певний час. З метою зменшення часу контакту діелектрика з використовуваним розчином шар міді нарощують товщиною 5...8 мкм.

Найбільш поширеним методом створення захисної маски є застосування фоторезистів - чутливої до світла речовини, яка під впливом освітлення змінює свої властивості. Суть застосування фоторезистів полягає в наступному: на плату з нанесеним на неї шаром фоторезисту накладається фотошаблон і проводиться її засвічення, після чого засвічені (чи незасвічені) ділянки фоторезисту змиваються спеціальним розчинником, яким, зазвичай, виступає їдкий натр (NaOH). Усі фоторезисти діляться на дві категорії: позитивні і негативні. Для

позитивних фоторезистів доріжці на платі відповідає чорна ділянка на фотошаблоні, а для негативних, відповідно, прозора. Найбільшого поширення набули позитивні фоторезисти, як найбільш зручні у застосуванні.

Далі отвори металізують гальванічним способом. Плати закріплюють на спеціальних підвісках – струмопідводах. Потім плати опускають у гальванічну ванну з електролітом між анодами. Аноди виконані з металу необхідного для покриття. Також аноди є захищеними чохлами зі спеціальної хлоринової тканини, у запобіганні утворення шламу. Підвіска з платами виконує функції катода. Для плат необхідна ретельна підготовка для електролітичного осадження металу. Для цього забезпечують повне змочування електролітом поверхні підлягаючої металізації. Це дозволяє створити надійний електричний контакт з платами, катодами, анодами. Місце електричного контактування з анодами повинне знаходитися вище рівня електроліту у ванні. Електролітичне осадження здійснюють при напрузі 6 В, щільності струму 1,5...5 А/дм, швидкості 0,5...1,0 мкм/хв.

В залежності від якості підготовки поверхні для металізації, тривалості перерви між підготовкою поверхні і нанесенням покриття і дотримання заданих режимів процесу визначають адгезію гальванічного покриття.

Аналогічним методом наноситься шар сплаву олово – свинець. Цей шар захищає доріжки від окислення та відіграє роль маски при наступній операції травління.

Після зняття шару захисної маски здійснюють травління в розчині хлорного заліза.

Далі відбувається оплавлення припою як у металізованих отворах, так і по площині. Вирівнювання припою здійснюється гарячим повітрям. Наноситися ПОС-61 товщиною 8...10 мм.

Потім роблять контроль ДП після одержання друкованого рисунка для визначення якості виробу. Під якістю виробу можна розуміти ступінь його

відповідності вимогам креслення, технічним умовам, галузевим і державним стандартам. [11]

3.2 Технологія виготовлення блоку

Відповідно до технічного аналізу виробу, у виборі типу виробництва слід орієнтуватися на серійне багатомономенклатурне виробництво. Це накладає певні обмеження на вибір способів виготовлення і застосовуваного технологічного устаткування.

Технологічна схема виготовлення блоку представлена на рисунку 3.1.

Усі технологічні процеси та операції при виготовленні блоку можна розбити на наступні групи операцій:

- виготовлення ДП;
- установка і монтаж ЕРЕ на ДП;
- загальна зборка блоку.

Технологічні операції виготовлення ДП у відповідності з послідовністю їх виконання діляться на наступні три основні групи:

- підготовчі операції;
- основні операції;
- заключні операції.

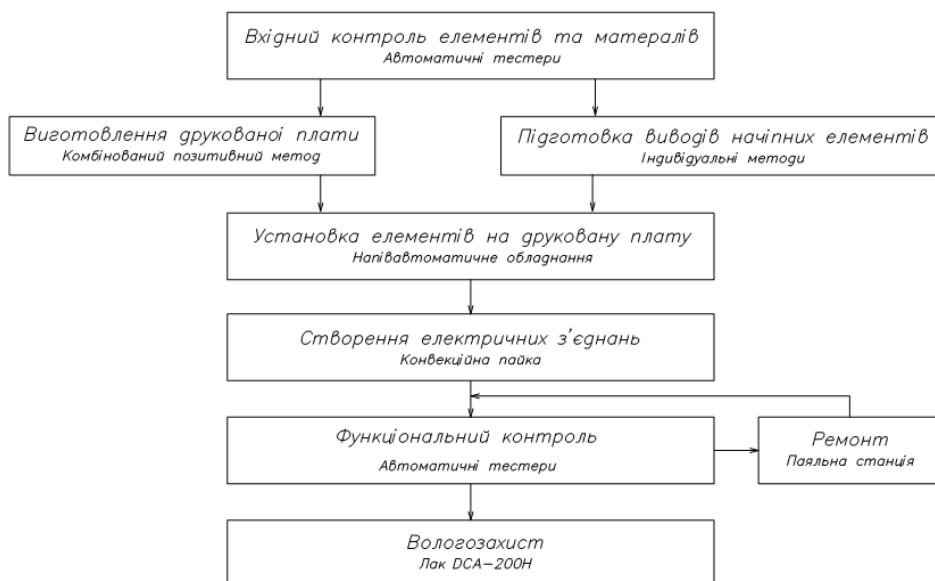


Рисунок 3.1. Узагальнена структура технологічних процесів виготовлення блоку

Безпосередньо перед зборкою блоку, необхідна підготовка комплектуючих елементів до монтажу. Підготовка ЕРЕ та ІС загалом включає наступні операції:

- вивантаження із заводської тари;
- завантаження в технологічну тару;
- вхідний контроль параметрів і відбраковування;
- підготовка виводів НЕ;
- рихтування;
- формування;
- обрізка за розміром;
- лудіння;
- завантаження в технологічну тару для встановлення НЕ.

Необхідність вхідного контролю викликана впливом різних факторів при транспортуванні і зберіганні, які призводять до погіршення якості показників готових виробів. Витрати на проведення вхідного контролю значно менше витрат,

пов'язаних з випробуванням і ремонтом зібраних плат. Вхідний контроль здійснюється вибірково.

У серійному виробництві підготовка НЕ здійснюється поопераційно з автоматичною подачею компонентів.

Більшість елементів електронного запобіжнику – це компоненти поверхневого монтажу, які не потребують попередньої підготовки виводів. Підготовка виводів таких начіпних елементів як кнопки, світлодіод, індикатор буде виконуватися вручну.

Після підготовки елементів виконується зборка блоку.

Отримання контактних з'єднань виводів елементів з друкованим монтажем здійснюється переважно паянням.

Після пайки на поверхні плати залишається деяка кількість флюсу та продуктів його розкладання. У зв'язку з цим передбачається очищення та відмивання змонтованої ДП за допомогою установки ELMA.

Функціональний контроль блоку виконується на спеціальному стенді. На стенді є світлодіоди і змінні резистори. Для функціонального контролю використовуються стандартні прилади для забезпечення необхідного напруги, а також вимірювальні пристрої для контролю вихідних сигналів. Оператор контролює блок відповідно до інструкції, яка є для нього програмою і обробляє результати контролю.

Якщо після функціонального контролю винесено позитивний результат, то плата покривається вологозахисним шаром. В якості такого покриття візьмемо кремнійорганічний лак DCA-200H, він має гарні вологозахисні властивості. Це є основним способом захисту від вологи.» [12]

3.3 Автоматизація при виготовленні пристрою

При виготовленню блоку автоматизованими операціями є встановлення елементів на плату, пайка елементів.

Пайка елементів виконується за допомогою конвекційної печі X-Reflow 306, зображення якої наведено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 - X-Reflow 306

Висока рівномірність нагріву без тіньових ефектів. Оглядове вікно для спостереження і підбору режимів. Можливість пайки в інертному середовищі. Конвекційна мікропроцесорна піч нагріву X-Reflow 306, призначена для пайки друкованих вузлів радіоелектронної апаратури із застосуванням паяльних паст в умовах дрібносерійного і одиничного виробництва, і при виготовленні дослідних зразків. Може використовуватися також для затвердіння клею, конвекційний метод передачі тепла забезпечує рівномірний, щадний нагрів плат, що виключає появу тіньових ефектів. Нагрівання в печі здійснюється з обох сторін. П'ять типових режимів пайки, які перебувають в пам'яті печі, полегшують підбір і відпрацювання технологічного процесу пайки нових друкованих вузлів.

Налагодження режимів пайки і затвердіння керується легко і швидко за допомогою пульта управління. До 255 налагоджених користувачем програм, технологічних режимів (профілів), може одночасно зберігатися в пам'яті печі і швидко змінюватися оператором при переході з одного типу на інший. Технічні характеристики конвекційної печі X-Reflow 306 приведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики

Тип нагріву ПУ	Конвекційний
Кількість стадій нагріву	4
Діапазон регулювання температури в зонах, ° С	150 - 350
Габарити робочої зони, мм	305 × 305
Напруга живлення, В	~220
Струм споживання мах, А	22
Габаритні розміри, мм	790 × 520 × 310
Вага, кг	40

Параметри техпроцесу контролюються вбудованим мікропроцесором і виводяться на матричний алфавітно-цифровий рідкокристалічний дисплей пульта управління, за бажанням оператора в текстовій або графічній формі. Вбудована система самодіагностики постійно контролює стан печі і повідомляє оператору про її несправності. Система захисту від несанкціонованого доступу виключає можливість випадкового або навмисного зміни режимів пайки. Є можливість через вікно у верхній кришці печі візуально спостерігати за ходом технологічного процесу і при необхідності вносити коригування в режим пайки. Після

відпрацювання профілю проводиться автоматичне охолодження друкованого вузла до заданої температури. Додатково на замовлення піч може оснащуватися системою для пайки в інертному середовищі.

Монтаж здійснюється напівавтоматичним способом шляхом нанесення паяльної пасти за допомогою пневматичних дозаторів Fritsch.

Компоненти встановлюються за допомогою маніпулятора SM902 professional, який забезпечує надійну, швидку і акуратну установку компонентів поверхневого монтажу (як зі стрічок і пеналів, так і з розсіпу) на друковану плату методом перенесення від живильників за допомогою вакуумного пінцета. Для підвищення точності встановлення компонентів маніпулятор може бути оснащений системою технічного зору на основі відеокамери.

Маніпулятор SM902 наведений на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 . Маніпулятор SM902 professional

Для забезпечення максимального виключення людського фактора напівавтомат SM 902 professional оснащується спеціальною системою Locator Eye. Принцип роботи даної системи полягає в наявності моторизованого вловлювача руки напівавтомата, що переміщається над друкованим вузлом.

Оператору лише необхідно потрапити штирем на настановній голівці в уловлювачі і отримати точне місце установки компонента. Крім того, світлодіодна індикація необхідного живильника і блокування вакууму при спробі захопити компонент з неправильного живильника, роблять напівавтомат SM 902 professional найбільш ефективним рішенням для багатомноменклатурних виробництв зі складними виробами, де ціна кожної помилки при складанні надзвичайно висока.»[13]

У ході виконання дипломної роботи було освоєно теоретичні основи конструювання, надійності та аналізу радіоелектронних систем; вивчено основні етапи та методи проектування; вивчені загальні вимоги до апаратури щодо надійності, вивчено стадії розробки конструкторської документації, її види та комплектність. Освоєно принципи та методи системного підходу процесу проектування радіоелектронних пристроїв роботи; проведено обґрунтований вибір принципової електричної схем вузла сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера; виконано розрахунок елементів електричної принципової схеми; виконано конструкторську документацію з ЄСКД.

Розглянутий у цій вузол сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера; надійніше і потужніше, ніж існуючі аналоги.

За результатами розрахунків параметрів друкованого монтажу з урахуванням технологічних можливостей виробництва був обраний четвертий клас точності плати. Тип друкованої плати був обраний односторонній. Кріплення друкованої плати були обрано на чотири точки опори.

Конструкторсько-технологічний розрахунок був уточнений перевірочними розрахунками по постійному та змінному струму.

В результаті проведеної роботи був розроблений вузол сегнетоелектричної оперативної пам'яті мікропроцесорного контролера; з необхідною надійністю.

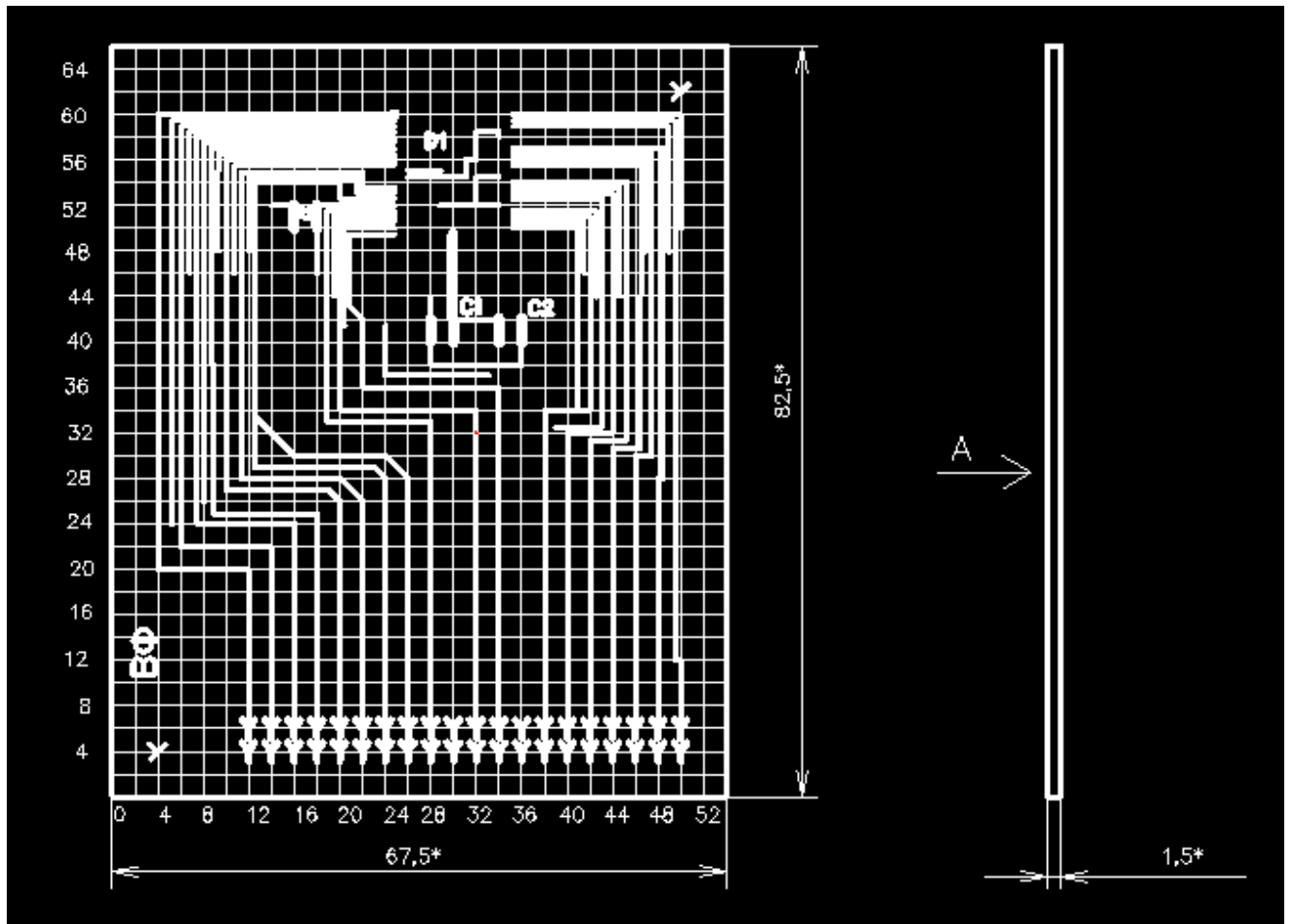
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Фрумкин Г. Д. Расчет и конструирование радиоэлектронной аппаратуры. – М: Высшая школа, 1977 г.
2. Кириченко И. А., Тарасов С. П. Программа, методические указания и варианты заданий по курсовому проектированию по курсу “Теория, расчет и проектирование приборов и систем”. – Таганрог: ТРТУ, 1998 г.
3. <http://detalinadom.narod.ru/nabor/nabTDA2030.htm>
4. <http://schematic.by.ru/65/6502.htm>
5. <http://detalinadom.narod.ru/stats/UMZ200IV.htm>
6. Иванов Б. С. В помощь радиокружку – М: Радио и связь, 1990 г.
7. Назаров Н. Ф. В помощь радиолюбителю, выпуск 93. – М: «ДОСААФ», 1986 г.
8. Гуревич Б.М., Иваненко Н.С. Справочник по электронике для молодого рабочего: 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1987. – 272 с.: ил.
9. Н.А. Шишенок, В.Ф. Репкин, Л.Л. Барвинский. Основы теории надёжности и эксплуатации радиоэлектронной техники. – Москва: «Советское радио», 1964. – 551 с.: ил.
10. Резисторы, конденсаторы, трансформаторы, дроссели, коммутирующие устройства РЭА. Справочник Н.Н. Акимов, Е.П. Ващуков, В.А. Кодоренах, Ю.П. Кодоренах – Мн.: Беларусь, 1994. – 591 с.: ил.
11. Роткоп Л. Л., Спокойный Ю. Н. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Сов. радио, 1976. – 232 с.
12. Скрипников Ю.Ф. Радиаторы для полупроводниковых приборов. М.- Энергия, 1973.-48с.
13. Голенкевич Т. А. Прикладная теория надежности. – М.: Высшая школа, 1985. – 168 с.
14. Яншин А. А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА. – М.: Радио и связь, 1983. – 312 с

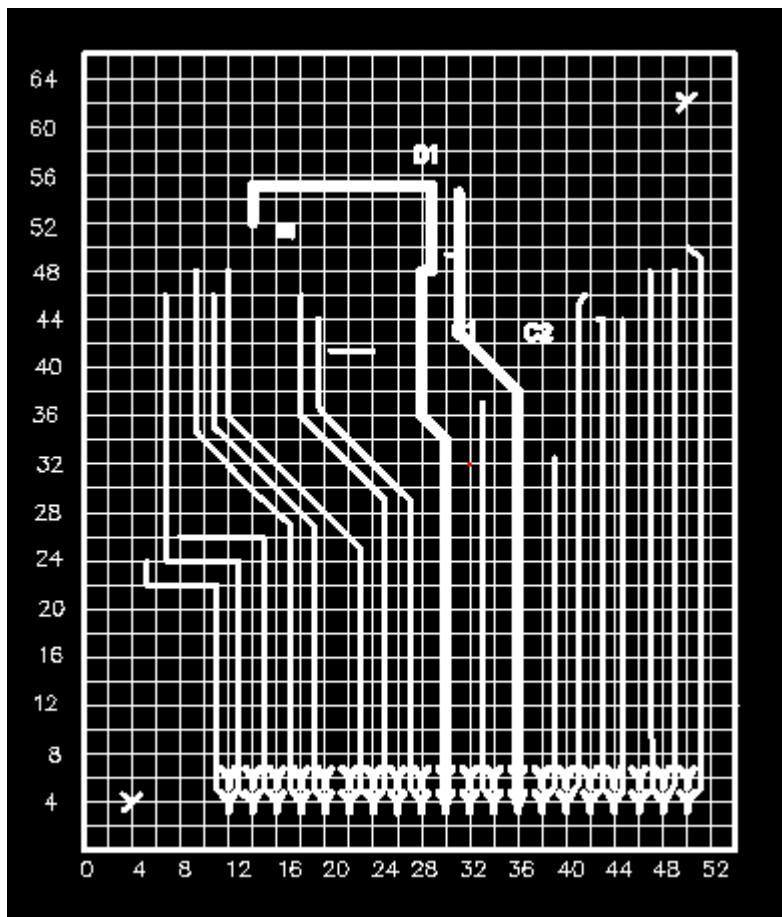
15. Конструирование радиоэлектронной и электронной вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А.Д.Князев, Л.Н.Кечиев. –М.:Радио и связь,1989. –224с.
16. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры: Справочник / Э. Т. Романычева и др.; Под ред. Э. Т. Романычевой. – М.: Радио и связь, 1989. – 448 с.

Додаток А.

Креслення лицьової сторони друкованої плати



Креслення дзеркального відображення плати



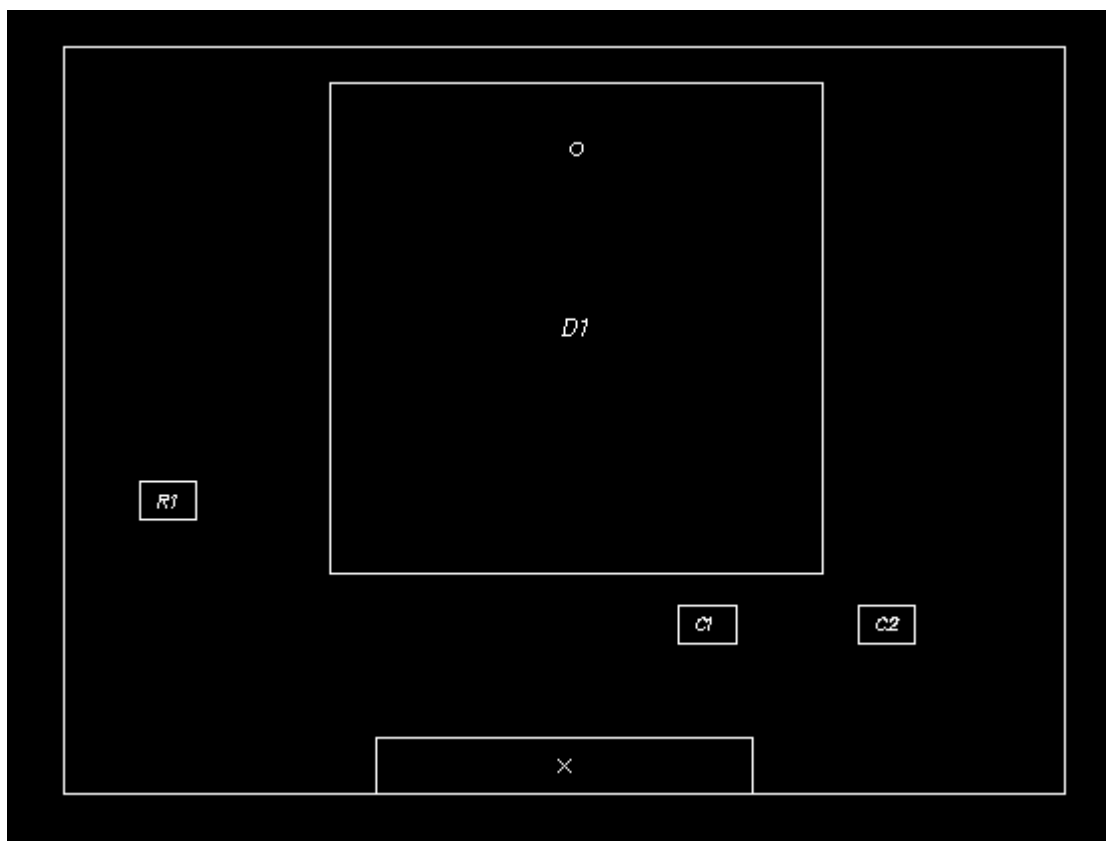
Таблиця отворів

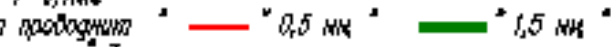


Умовне позначення	Діаметр отвору	Наявність металізації	Кількість, шт.
○	0,5	е	24
Υ	1,0	е	40
У	3,0	—	2

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

Додаток В

Складальне креслення друкованої плати



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