

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Інститут інноваційних технологій і змісту освіти
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”

М.Д. КОШОВИЙ, В.О. КНИШ, О.В. ЗАБОЛОТНИЙ,
М.В. ЦЕХОВСЬКИЙ, О.М. КОСТЕНКО

**ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ
ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ**

Затверджено Міністерством освіти і науки України
як підручник для студентів вищих навчальних закладів

Харків “ХАІ” 2010

УДК 621.3.08 (075.8)

Основи конструювання засобів вимірювальної техніки: підруч./ М.Д. Кошовий, В.О. Книш, О.В. Заболотний та ін. – Х.: Нац. аерокосм. ун-т “Харк. авіац. ін-т”, 2010. – 234 с.

ISBN 978-966-662-211-5

Наведено методи створення сучасних засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Велику увагу приділено методам пошуку нових конструктивних рішень, питанням стандартизації, показникам якості вузлів і приладів ЗВТ. Викладено рекомендації щодо конструювання електромеханічних і електронних приладових пристроїв з урахуванням впливу механічних, електромагнітних, кліматичних, біологічних, теплових і радіаційних факторів. Розглянуто питання конструювання основних деталей та вузлів ЗВТ. Описано автоматизацію таких етапів конструкторського проектування, як компонування електронної апаратури, розташування конструктивних елементів, трасування електричних з'єднань.

Для студентів приладобудівних і радіотехнічних спеціальностей. Може також бути корисним для працівників радіоелектронної й приладобудівної промисловості.

Іл. 152. Табл. 26. Бібліогр.: 36 назв

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. П.О. Качанов,
д-р техн. наук, проф. О.М. Крюков,
д-р техн. наук, проф. Л.М. Блохін

Гриф надано Міністерством освіти і науки України
(лист № 1/II-62-71 від 27.07.2010)

ISBN 978-966-662-211-5

© Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”, 2010

© Автори, 2010

ВСТУП

Розроблення і створення засобів вимірювальної техніки (ЗВТ) з високими техніко-економічними показниками потребують від інженера глибоких теоретичних знань, практичних навичок їх застосування, знань і вмінь використання перспективних засобів конструювання. Конструктор цих комплексів мусить мати:

- широту поглядів, правильне сприйняття критики, завзятість у здійсненні задумів і подоланні труднощів, працелюбність;
- глибокі знання логіки й електроніки;
- добре розвинену просторову уяву;
- гарну зорову пам'ять;
- практичний досвід створення креслень і випуску конструкторської документації.

Крім того, розробник сучасних ЗВТ повинен володіти методами математичного аналізу та синтезу складних систем, знати основні вимоги технічної естетики й інженерної психології, вміти користуватися стандартами, провідними технічними матеріалами, виробничими інструкціями та іншими нормативними документами.

Сучасні ЗВТ конструюють з урахуванням можливості їх експлуатації в широкому діапазоні зміни температури навколишнього середовища, під впливом вологи, пилу, вібрації, ударів, радіації, електромагнітних і біологічних факторів. Тому конструктор мусить добре знати умови їх експлуатації та вміти вибирати необхідні способи забезпечення перешкодостійкості, теплового режиму, захисту конструкції від зовнішнього впливу.

Велика кількість різноманітних вимог щодо конструкції ЗВТ приводить до необхідності дослідження декількох варіантів конструкції, їх порівняльної оцінки й вибору найраціональнішого варіанта. При цьому конструювання являє собою ітераційний процес, що реалізується за схемою "синтез - аналіз - синтез". Ступінь наближення конструкції до досконалого зразка зумовлюється досвідом, ерудицією й інтуїцією конструктора. Професійним досягненням конструктора є така розробка, яка забезпечить стійкий компроміс при задоволенні вимог щодо призначення, мініатюризації, надійності й технологічності конструкції.

Оскільки конструкція ЗВТ містить типові складові одиниці різних рівнів ієрархії, конструктор повинен вміти розробляти основні деталі й вузли ЗВТ, типові складальні одиниці й компонувати з них конструкцію комплексу, що проектується.

Конструкторське проектування характеризується чималою трудомісткістю. Тому ряд задач вирішується за допомогою ЕОМ. До них

Відносяться задачі компонування електронної апаратури, розміщення конструктивних елементів на монтажній площі, трасування електричних з'єднань, розрахунку теплових режимів, надійності, міцності та інші розрахунки, а також видачі конструкторської документації. Це, у свою чергу, потребує від конструктора знання алгоритмів вирішення цих задач, алгоритмічних мов, вміння працювати з ЕОМ і вибирати кращі рішення із безлічі варіантів, які ми бачимо на екрані дисплея, тобто конструктор має бути кваліфікованим користувачем ЕОМ, які застосовуються в системах автоматизованого виробництва, наприклад САПР.

1 ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ ЗВТ

1.1 Методи пошуку нових конструктивних рішень

Конструювання - це багатокрокова процедура наближення до оптимальної конструкції за схемою “синтез - аналіз - синтез” [1, 2] (рис. 1.1). Від успішного вирішення задач конструювання залежать такі характеристики виробу, як швидкодія, надійність, ремонтпридатність, габаритні розміри, маса, технологічність, зручність при експлуатації. Якість розробленої конструкції визначається мірою її відповідності технічним вимогам.

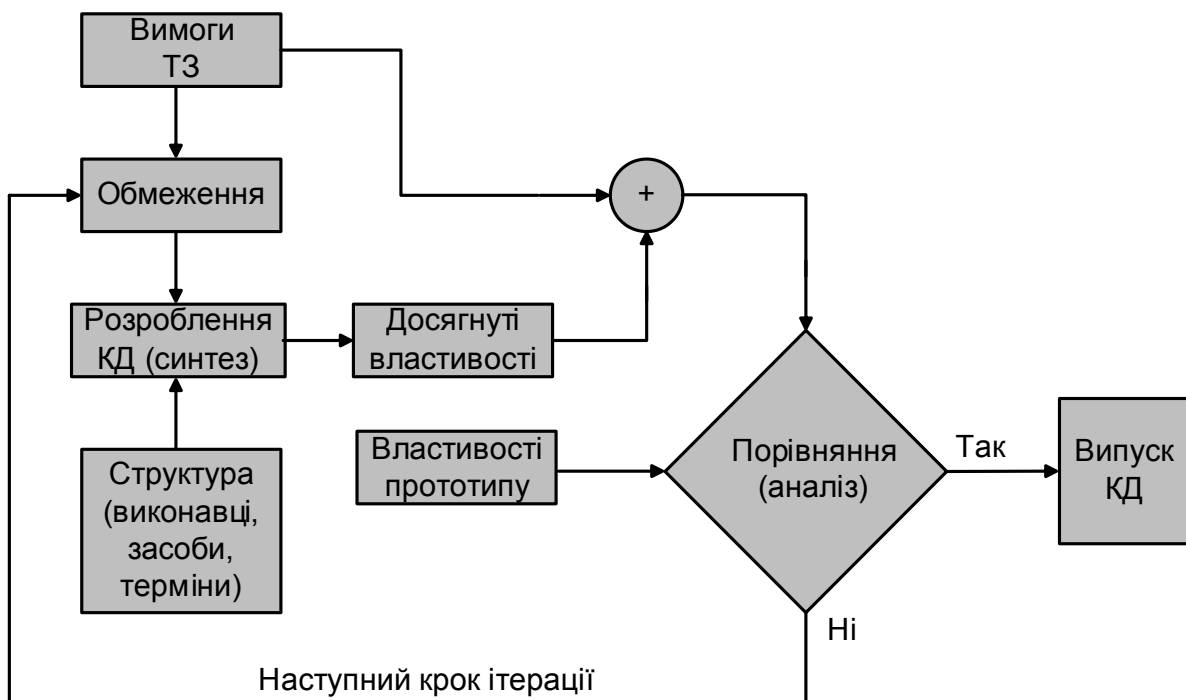


Рисунок 1.1 – Схема багатостадійного процесу конструювання

На початку процесу конструювання – стадії технічної пропозиції – формується первинний варіант конструкторського рішення, основою якого є конкретний прототип, тобто кращий виріб серед існуючих аналогів. Під час синтезу конструкції з урахуванням обмежень, що впливають з вимог технічного завдання (ТЗ), властивостей прототипу, досвіду, ерудиції й інтуїції конструктора, встановлюють структуру та з'єднання конструкції, що проектується, розробляють конструкторську документацію. При аналізі порівнюються досягнуті властивості конструкції з вимогами ТЗ і властивостями прототипу і за необхідності вносять корективи в продукт синтезу, одержаного на попередньому кроці процедури. Кількість кроків процедури пошуку за схемою “синтез - аналіз - синтез” залежить від структури підрозділу (виконавці,

засоби, терміни), а також від досвіду, ерудиції й інтуїції виконавців.

При цьому застосовують чотири основні способи інтенсифікації інтелектуального процесу пошуку нових конструктивних рішень: аналогію, інверсію, емпатію, мозковий штурм.

Спосіб аналогії використовується як для збільшення інерції мислення, так і для її подолання. Насамперед, стоїть задача повторення з найбільшою точністю конструктивного рішення, знайденого раніше в прототипі, вносячи при цьому суто кількісні зміни (змінити один-два розміри та ін.). Для виключення інерції мислення конструктивне рішення необхідно знайти як аналогію з будь-якої далекої галузі. Наприклад, ідея розкриття герметичного корпусу модуля шляхом надри-ву паяного шва закладеним у ньому лудженим сталевим дротом узята з конструкції консервної банки. Ідея створення цифрової камери базується на основі будови людського ока, де є багато рецепторів – чарунок, які чутливі до світла й здатні розрізняти колір. Ідея випаровувальної системи охолодження базується на фізичних законах, що існують у природі. Волога, що випаровується з будь-якої поверхні, здатна її швидко охолоджувати.

Спосіб інверсії передбачає погляд на явище з іншого, часто протилежного, боку. Наприклад, попадання фарби на різь перешкоджає розбиранню нарізного з'єднання, але саме це може бути використано для усунення самовідгвинчування таких з'єднань.

Спосіб емпатії (вживання в образ) дозволяє конструкторові, який уявляє себе вузлом конструкції або процесами, що проходять в останньому, відчувати найменші подробиці в роботі цього вузла, виявити й усунути недоліки в його конструкції, які раніше не помічались. Наприклад, відчуття себе тепловим потоком, що надходить від потужного встановленого на печатній платі транзистора, дозволяє конструкторові образно уявити, відчувати, а потім зменшити перешкоди.

Спосіб мозкового штурму спрямований на колективне подолання безвихідної ситуації, що виникла в процесі вироблення рішення при створенні конструкції. Мозковий штурм здійснюється таким чином: з різних підрозділів підприємства призначають тимчасову (на 2 – 3 години) групу фахівців (5 - 8 осіб), які зарекомендували себе здатними до творчості робітниками. Перед групою, що зібралася в окремій кімнаті, обладнаній магнітофоном для запису висловлювань, ставиться чітко сформульована конкретна задача для подолання технічної суперечності, що виникла. Потім члени цієї групи по черзі стисло (1 - 3 хв) висловлюють будь-які, навіть абсурдні, ідеї. Раніше висловлені пропозиції дозволяється розвивати наступним учасникам мозкового штурму, але без слів критики або схвалення. На цьому робота групи закінчується, а магнітофонний запис виступів передається для

подальшого аналізу в підрозділ, що зробив заявку на мозковий штурм.

У результаті ретельного аналізу можна або знайти вдалі ідеї, які потребують більш детального оброблення за схемою “синтез - аналіз - синтез”, або подолати інерцію мислення, а в подальшому продуктивні ідеї будуть висунуті саме конструкторами цього підрозділу. Наприклад, при розробленні конструкції електричного контакту в зоні герметичного шва між кришкою і корпусом СВЧ-модуля виникла безвихідна ситуація через те, що застосовувана ущільнювальна гумова прокладка з електропровідної гуми має підвищений електричний опір, що, у свою чергу, спричиняє погіршення екранування в зоні вказаного шва.

У процесі мозкового штурму було запропоновано обгорнути гумову прокладку тонкою металеву фольгою, яка забезпечує добрий електричний контакт між кришкою і корпусом. Аналізуючи цю пропозицію, у конструкторському підрозділі вирішили замінити прокладку з електропровідної гуми прокладкою з ізоляційної гуми, вкритої тонким шаром металізації (хімічним або вакуумним способом). Це дозволило забезпечити герметичність ущільнення, яка порушувалась у “штурмовій” пропозиції через вплив фольги на еластичну деформацію гумової прокладки.

1.2 Стандартизація як основа підвищення продуктивності праці конструктора

Стандартизація – встановлення й застосування правил з метою упорядкування діяльності в певній галузі на користь і за участю усіх зацікавлених сторін [2, 3]. Вона спрямована на розроблення таких обов’язкових правил, норм і вимог, які необхідні для забезпечення оптимальної якості продукції, підвищення продуктивності праці, економних витрат матеріалів, енергії, робочого часу й гарантування безпеки умов праці.

Стандартизація передбачає встановлення єдиних фізичних величин, термінів і позначень, вимог до продукції і виробничих процесів, а також вимог, що гарантують безпеку людей і збереження матеріальних цінностей.

Стандарт - нормативно-технічний документ зі стандартизації, що встановлює комплекс норм, правил, вимог до об’єкта стандартизації і затверджений компетентним органом. Залежно від сфери дії, змісту й рівня затвердження стандарти поділяються на категорії і види. Як приклад можна навести такі категорії стандартів: державний стандарт (ГОСТ), галузевий стандарт (ОСТ) і стандарт підприємства або

об'єднання (СТП).

Стандарти всіх категорій за змістом і призначенням поділяють на стандарти таких видів: технічних умов і вимог; параметрів, розмірів, типів, конструкцій, марок і асортиментів різної продукції; правил приймання й методів контролю; правил маркування, упакування, транспортування й зберігання; правил експлуатації і ремонту, типових технологічних процесів. Під час розроблення стандартів ураховують такі науково-технічні принципи [2]: системності; переваги; прогресивності й оптимізації стандартів; функціональної взаємозамінності; взаємозв'язку стандартів; науково-дослідний; мінімальної питомої витрати матеріалів; патентної чистоти стандартів.

Стандартизація сприяє скороченню термінів проектування й впровадження нової техніки, значною мірою полегшує увесь процес створення нової конструкції. Підвищення продуктивності праці конструктора за рахунок застосування стандартизації зумовлено широким використанням у нових конструкціях стандартних, уніфікованих і купуваних виробів, скороченням обсягу робіт з проектування технологічного оснащення та пристроїв, розробленням і розмноженням робочих креслень та іншої технічної документації, зменшенням часу на погодження й затвердження заново випущеної технічної документації. У минулому було переважно індивідуальне проектування, коли заново проектували всі механізми, вузли й деталі, навіть дуже широковживані, і не враховували досвід проектування виробів аналогічного призначення. Це потребувало великих витрат часу й високої кваліфікації конструкторів, збільшувало терміни й вартість виготовлення і ремонту нової конструкції. Успішно усунути ці недоліки дозволяє саме стандартизація.

1.3 Схемна документація

Фактично основне місце в процесі розроблення виробу займає КД. Розглянемо класифікацію схемної документації для розробника електронної апаратури (ЕА) [4, 5]. Умовно вся КД поділяється на два види: графічна документація (схеми електричні принципів, складальне креслення, креслення деталі тощо); текстова документація (перелік радіокомпонентів, специфікація, ТУ, ТЗ, пояснювальна записка тощо).

Схема – графічна конструкторська документація, на якій у вигляді умовних графічних зображень або позначень показано складові частини виробу й зв'язки між ними.

Схеми застосовують при вивченні принципу дії механізму, при-

ладу при їхньому виготовленні, налагодженні й ремонті для розуміння зв'язку між складовими частинами виробу без уточнення особливостей їхньої конструкції. Схеми є вихідним базисом для наступного конструювання окремих частин і всього виробу в цілому.

За видом елементів, що входять до складу виробу, зв'язків між ними й призначення схеми поділяють на види й типи (табл. 1.1). Відповідно до позначень, наведених у таблицях, встановлюється код схеми. Так, схема ЕЗ - схема електрична принципова, схема К2 - схема кінематична функціональна тощо.

Таблиця 1.1 – Види й типи схем

Види схем		Типи схем	
Найменування схеми	Позначення	Найменування схеми	Позначення
Електричні	Е	Структурні	1
Гідравлічні	Г	Функціональні	2
Пневматичні	П	Принципові	3
Газові	Х	З'єднань (монтажні)	4
Кінематичні	К	Підключення	5
Вакуумні	В	Загальні	6
Оптичні	Л	Розташування	7
Енергетичні	Р	Об'єднані	0
Комбіновані	С	–	

Складовими частинами схем є:

– **елемент схеми** — складова частина схеми, що не може бути поділена на частини, що мають самостійне значення (мікросхема, резистор, трансформатор та ін.);

– **пристрій** — сукупність елементів, що являє собою єдину конструкцію (блок, модуль). У ряді випадків пристрій може не мати певного функціонального призначення;

– **функціональна група** — сукупність елементів, що виконують певну функцію й не об'єднані в єдину конструкцію;

– **функціональна частина** — елемент, пристрій або функціональна група, що мають строго певне функціональне призначення;

– **функціональний ланцюг** — лінія, канал на схемі, що показують наявність зв'язку між функціональними частинами виробу;

– **лінія взаємозв'язку** — відрізок лінії на схемі, що свідчить про наявність зв'язку між функціональними частинами виробу;

– **лінія електричного зв'язку** — лінія на схемі, що показує шлях проходження струму, сигналу та ін.

При проектуванні електронної апаратури ЕА використовуються такі види схем:

– **структурні схеми (Е1)**, що визначають основний склад (ЕА) і її функціональні частини, їхнє призначення й взаємозв'язки. Їх розробляють на початкових стадіях проектування ЕА й використовують як для розроблення схем інших типів, так і для загального ознайомлення з ЕА;

– **функціональні схеми (Е2)**, що пояснюють процеси, які відбуваються в окремих функціональних частинах і вузлах ЕА. Вони є основою для розроблення принципів схем і застосовуються при налагодженні, ремонті й експлуатації ЕА;

– **принципові схеми (Е3)**, що визначають повний склад елементів і зв'язків між ними й надають інформацію про принцип роботи окремих вузлів і пристроїв ЕА. Ці схеми є основою для розроблення повного комплексу конструкторської документації на ЕА;

– **схеми з'єднань (Е4)**, що показують з'єднання складових частин ЕА й визначають джгути, кабелі та інші сполучні вироби, а також місця їхнього приєднання. Їх використовують як при випуску КД на ЕА, так і при її ремонті й експлуатації;

– **схеми підмикань (Е5)**, що показують зовнішні вимкнення ЕА. Ці схеми використовують при монтажі ЕА на місці експлуатації й при її ремонті;

– **загальні схеми (Е6)**, що визначають складові частини ЕА й з'єднання їх між собою на місці експлуатації;

– **схеми розташування (Е7)**, що встановлюють взаємне розташування окремих пристроїв ЕА, а також з'єднувальних джгутів, кабелів та ін.

При проектуванні схем будь-яких видів необхідно дотримуватися правил, викладених у відповідних стандартах. Так, для схем цифрової техніки схеми електричні виконуються за правилами, встановленими Державними стандартами з використанням умовних графічних позначень (УГП). УГП елементів будують на основі прямокутника. У загальному вигляді УГП може містити основне й два додаткових поля (рис. 1.2). Розмір прямокутного поля по ширині залежить від наявності додаткових полів і кількості поміщених у них знаків (відміток, позначення функцій елемента), а по висоті - від кількості виводів, інтервалів між ними й кількості рядків інформації в основному й додатковому полях. Відповідно до стандарту ширина основного поля має бути не менше 10 мм, додаткових - не менше 5 мм (при великій кількості знаків у мітках і позначенні функцій елемента ці розміри відповідно збільшують), відстань між виводами - 5 мм, між виводом і горизонтальною стороною позначення - не менше 2,5 мм і кратне цій величині.

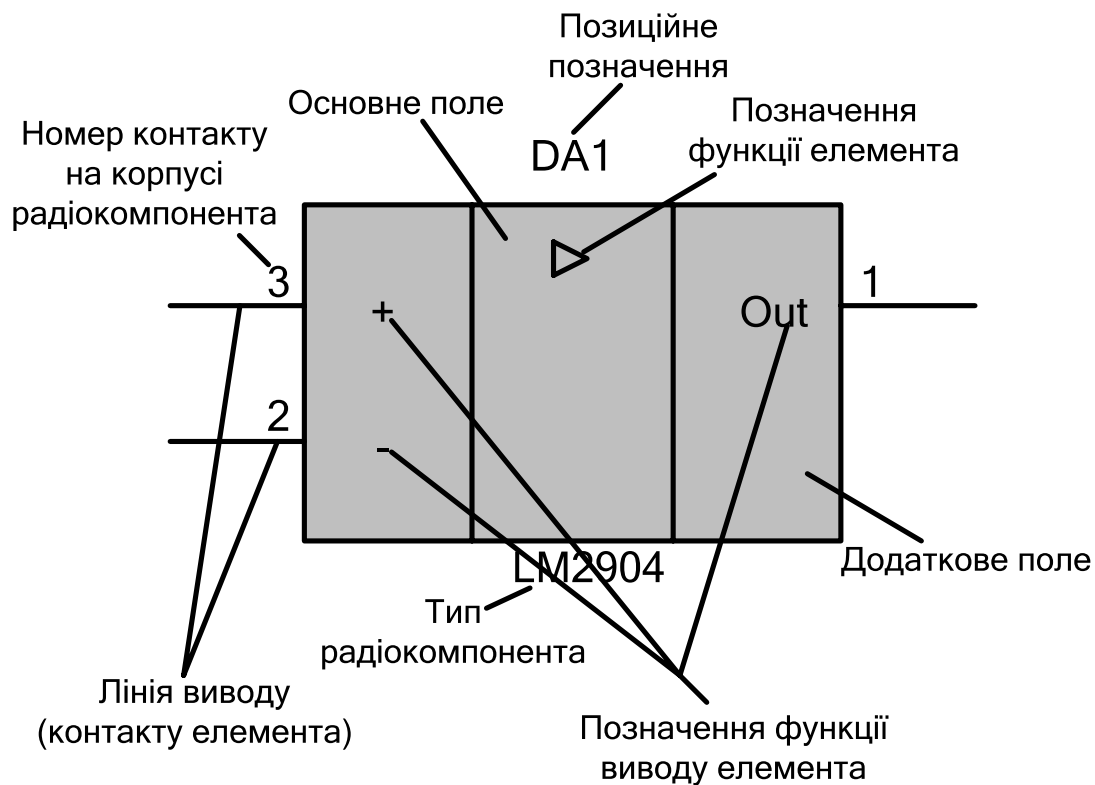


Рисунок 1.2 – Вигляд елемента

При розділенні груп виводів інтервалом величина останнього повинна бути не менше 10 мм і кратна 5 мм.

Виводи елементів поділяють на входи, виходи, двоспрямовані входи-виходи, що не несуть інформації. Входи зображують ліворуч, виходи - праворуч, інші виводи – з будь-якої сторони УГП. За необхідності дозволяється повертати УГП на 90° за годинниковою стрілкою, розташовуючи вхід зверху, а виходи знизу.

Функціональне призначення елемента вказують у верхній частині основного поля УГП. Його складають із прописних букв латинського алфавіту, арабських цифр і знаків, що записуються без пропуску (кількість знаків у позначенні функції не обмежується). Позначення основних функцій наведено в табл. 1.2.

У додаткових полях умовного графічного позначення елементів цифрової техніки дається інформація про функціональні призначення виводів, показники, мітки (табл. 1.3).

Для вказівки складної функції допускається побудова складеної мітки, утвореної з основних міток. Наприклад, функція «дані контрольні» відображується як DCH, «ввімкнути синхронізацію» - ESYN, «строб зчитування» - RDC.

Таблиця 1.2 – Позначення основних логічних елементів

Найменування функції	Позначення	Найменування функції	Позначення
I	&, И	Регістр	RG
АБО	1	Регістр зі зрушенням вправо	RG →
Додавання за модулем 2	M2	Регістр зі зрушенням уліво	RG ←
Еквівалентність	=	Регістр із реверсним зрушенням	RG ↔
Що виключає АБО	-1	Одновібратор	S
«n і тільки n»	-n	Граничний елемент	TH
Логічний поріг	≥n	Формувач сигналу	F
Мажоритарність	≥M	Обчислювач	CP
Дешифратор	DC	Процесор	CPU
Шифратор	CD	Пам'ять	M
Порівняння	- -	Керування	CO
Півсуматор	HC	Перенос	CR
Суматор	SM	Переривання	INR
Монтажне I	&, ◇	Передача	TF
Монтажне АБО	1, ◇	Прийом	RC
Кодовий перетворювач	X/Y	Ввід-вивід	IO
Тригер	T	Арифметика	A
Тригер двоступінчастий	TT	Мультиплексор	MUX
Лічильник:	CT	Демультимплексор	DMX
двійковий	CT2	Селектор	SL
десятковий	CT10	Дискримінатор	DIC
Затримка	DL	Ключ	SW
Генератор	G	Нелогічний елемент	*
Підсилювач	►	–	–
Підсилювач потужності	►►	–	–

Таблиця 1.3 – Позначення виводів елементів

Найменування	Позначення	Найменування	Позначення
Установлення:		Зчитування	RD
у стан «n»	S _n	Умовний біт (прапор)	FL
стан «1»	S	Умова	CC
стан «0»	R	Шина	B
Скидання	SR	Інверсія	IN
Дозвіл на установлення універсального RS-тригера:		Байт	BY
		Біт	BIT
у стан «1»	S	Заборона	DE
стан «0»	R	Буфер	BF
скидання	SR	Вибір	SE
Дозвіл установлення		Готовність	RA
JK-тригера:		Дані	D
у стан «1»	J	Позика	BR
стан «0»	K	Запис	WR
Адреса	A	Запит	RQ
Перенос	CR	Знак	SI
Переповнення	OF	Кінець	END
Повтор	RP	Команда	INS
Пріоритет	PR	Контроль	CH
Пуск	ST	Маркер	MR
Дозвіл	E	Молодший	LSB
Розширення	EX	Початок	BG
Зрушення	→> ←<	Емітер:	
Синхронізація	SYN	загальне позначення	E
Строб, такт	C	NPN	E→ або E >
Очікування	WI	PNP	E← або E <
Відповідь	AN	База	B
Вивід живлення від джерела напруги	U	Вивід для вимикання:	
Показчик живлення цифрової частини елемента	U #	ємності	C
Колектор	K	резистора	R

Продовження таблиці 1.3

Найменування	Позначення	Найменування	Позначення
Стан	SA	Індуктивності	L
Середній	ML	Вивід зі станом високого імпедансу	◇ або L
Старший	MSB		
–	–	Відкритий вивід	◇ або α

Як для логічних елементів, так і для інших елементів вказівки складної функції допускаються побудовою складеної мітки, яка утворена з основних міток. Також допускається як мітку виводу застосовувати позначення функції, порядковий номер, а також вагові коефіцієнти розрядів.

Для нумерації розрядів у групах виводів до значення мітки додають номери розрядів. Позиційне позначення елемента схеми в загальному випадку складається з типу, номера й функції елемента, що записуються посліпль. Тип і номер елемента є обов'язковою частиною його буквено-цифрового позначення й присвоюються всім елементам і пристроям.

Буквені коди груп елементів схем наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Буквені коди груп елементів

Група видів елементів	Перша буква коду	Група видів елементів	Перша буква коду
Мікросхеми, схеми інтегральні, мікрозборки, чіпи, процесори, мікроконтролери	D	Резистори	R
Елементи різні	E	Прилади електровакуумні	V
Запобіжники	F	Інтелектуальні	I
Прилади вимірювальні	P	Котушки індуктивності, дроселі	L
Пристрої комутаційні	S		
Трансформатори	T	Реле	K

Продовження таблиці 1.4

Група видів елементів	Перша буква коду	Група видів елементів	Перша буква коду
З'єднувачі контактні	X	Пристрої індикації й сигналізації	H
Конденсатори	C	Генератори	G

Відповідно до моделі САПР, таких, як PCAD [6] бібліотечного елемента – радіокомпонента УГП обов'язково має два види атрибутів: атрибути УГП (позиційне позначення, тип радіокомпонента, номінал); атрибути контактів (выводів) УГП – найменування контактів, позиційне призначення контактів або номер контакту на корпусі радіокомпонента. На рис. 1.3 зображено фрагмент схеми електричної принципової, яка складається із різних цифрових мікросхем, а для поліпшення сприйняття схеми провідники мікросхем об'єднані в шини (товсті лінії), де кожному провіднику присвоюється унікальна назва, наприклад VCC, GND, SCK, яка обов'язково повинна мати мінімум два позначення на схемі.

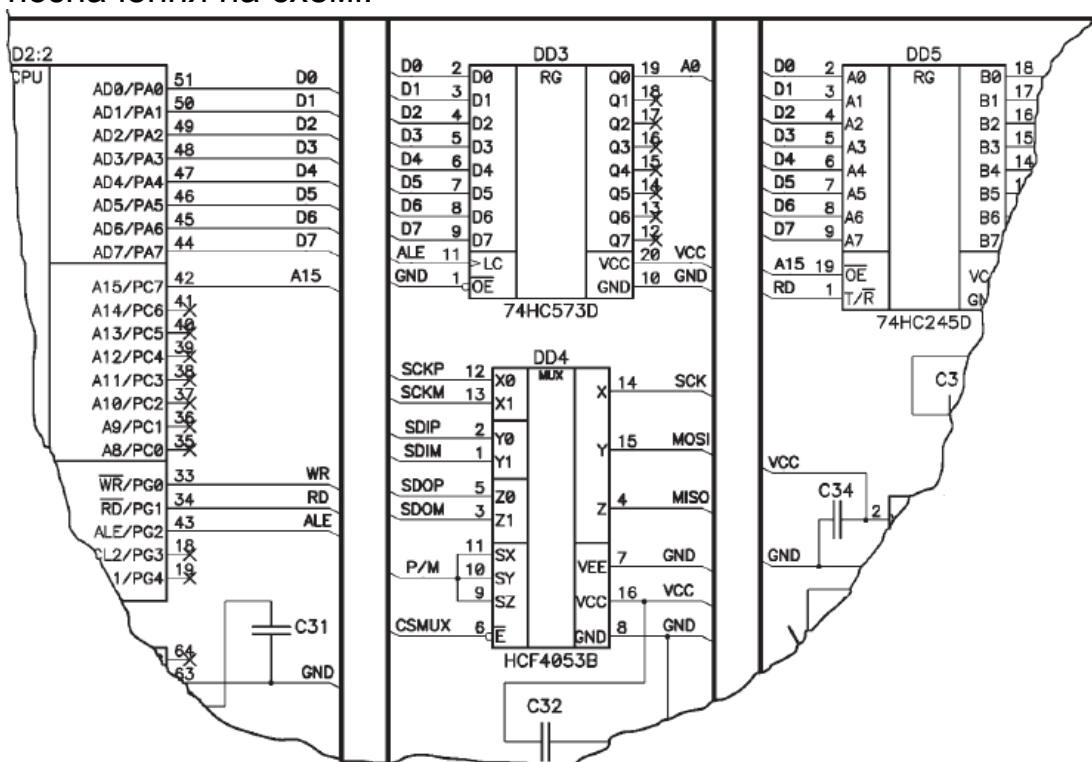


Рисунок 1.3 – Фрагмент схеми електричної принципової
1.4 Показники якості вузлів і приладів ЗВТ

Конструкція, яка розробляється, має задовольняти вимоги технічного завдання і за своїми характеристиками перевищувати властивості прототипу.

Оцінювання якості зазначених виробів здійснюється за такими показниками: призначення, надійність, ремонтпридатність, безпека, ергономіка, естетика, технологічність, уніфікація, патентно-правові й комплексні показники якості. До того ж порівняння якості нової конструкції з базовим виробом (кращий виріб з числа аналогів) може проводитись або за окремими показниками, або за узагальненим показником якості.

1.4.1 Показники призначення

Показники призначення конструкції характеризують властивості, що визначають основні функції, для виконання яких вона призначена, і зумовлюють галузь її застосування.

До розроблюваної конструкції ставляться такі вимоги за призначенням:

1) функціональне призначення, наприклад, приймання передачі, оброблення сигналів, індикація та ін.;

2) значення параметра, що визначає конструктивне рішення вузла чи приладу (частота, смуга пропускання, швидкодія, чутливість, випромінювальна потужність та ін.);

3) клас, до якого відноситься об'єкт установки (бортовий, морський, наземний для пересувних об'єктів, наземний стаціонарний та ін.);

4) кліматичне виконання;

5) категорія розміщення на об'єкті;

6) масогабаритні характеристики, до яких належать маса, габаритні та приєднувальні розміри, показники, що характеризують рівень мініатюризації конструкції;

7) закріплення на об'єкті, яке може бути жорстким, швидкознімним, на віброізоляторах та ін.;

8) комутаційні мережі на об'єкті, до яких належать мережі постачання, мережі антенних кабелів, шин заземлення, вентиляційні мережі та ін.;

9) електромагнітний захист на об'єкті, який залежить від наявності одночасно працюючих електронних приладів на об'єкті встановлення і їх взаємного впливу й містить екранування, усунення наведень, заземлення та ін.

Перелік цих вимог залежить від особливостей замовлення на розроблення, які зазначені в технічному завданні.

Групу перелічених показників призначення можна поділити на три підгрупи: класифікаційні, експлуатаційні й конструктивні. При цьому до класифікаційних належать показники 1, 2, 3, до експлуатаційних – 2, 4, 5, до конструктивних – 6, 7, 8, 9.

Розглянемо докладніше кліматичне виконання приладів, категорії їх розміщення на об'єкті та показники, які характеризують рівень мініатюризації конструкції.

Згідно з ГОСТ 15150-69 вироби виготовляють в кліматичних умовах, наведених в табл. 1.5, до того ж залежно від місця розміщення при експлуатації у повітряному середовищі на висоті до 4300 м, за категоріями розміщення 1(1.1); 2(2.1); 3(3.1); 4(4.1, 4.2); 5(5.1), описаними в табл. 1.6 (у дужках наведено додаткові категорії).

У табл. 1.7 дано допустимі значення параметрів факторів зовнішнього середовища, що впливають на вироби, для основних категорій розміщення, а для додаткових – у ГОСТ 15150-69.

Вироби літальних апаратів з висотною стелею понад 1000 м виготовляють за групами залежно від зниженого атмосферного тиску відповідно до табл. 1.8.

Необхідність урахування зміни атмосферного тиску з набиранням висоти зумовлена зниженням електричної міцності повітряних проміжків для конструкції електронної апаратури, розташованої поза герметичним відсіком або корпусом (табл. 1.9), а також можливістю виникнення розривних зусиль усередині корпусу приладу.

Сполучення кліматичного виконання, категорії розміщення та групи за зниженим тиском називається видом кліматичного виконання, наприклад, види кліматичного виконання УХЛ4, УХЛ204а.

В умовне позначення типу (марки) виробу, яке застосовується в усіх видах документації, а також на заводській табличці (етикетці) після всіх позначень, що стосуються модифікації виробу, додають букви та цифри, які характеризують вид кліматичного виконання виробу. Наприклад, електродвигун типу А02-21-4 у виконанні Т для категорії розміщення 2 позначають А02-21-4Т2.

Найважливішим показником конструкції сучасної електронної апаратури є рівень мініатюризації, який ураховує ефективне використання об'єму й маси конструкції при забезпеченні її необхідних характеристик.

У разі оптимізації цього показника необхідно ретельно проаналізувати значення інших показників, а у разі погіршення характеристик вжити додаткових заходів (екранування, температурний режим, тощо).

Таблиця 1.5 – Умовні позначення кліматичних умов експлуатації

Кліматичне виконання	Умовне позначення	Характеристика клімату
Для макрокліматичних районів з помірним кліматом	У	Температура: tmax= + 40°С; tmin= - 45°С
Для макрокліматичних районів з помірним і холодним кліматом	УХЛ	Температура: tmin нижче - 45°С
Для макрокліматичних районів з вологим тропічним кліматом	ТВ	Температура t = +20°С і вище, вологість - 80 % і вище
Для макрокліматичних районів із сухим тропічним кліматом	ТС	Температура tmax= + 40°С і вище
Для макрокліматичних районів як із сухим, так і з вологим тропічним кліматом	Т	Температура: tmax= + 55°С; tmin= - 10°С; верхнє значення вологості: 100% при 35°С; 80% - при 25°С
Для макрокліматичних районів на суші, крім районів з дуже холодним кліматом (загальнокліматичне виконання)	О	Температура: tmax= + 55°С; tmin= - 60°С; верхнє значення вологості: 100% при 35°С; 80% - при 25°С
Для макрокліматичних районів з помірно холодним морським кліматом	М	Клімат, характерний для морів і океанів північніше 30° північної широти або південніше 30° південної широти
Для макрокліматичних районів з тропічним морським кліматом	ТМ	Клімат, характерний для морів і океанів між 30° північної широти і 30° південної широти

Продовження таблиці 1.5

Кліматичне виконання	Умовне позначення	Характеристика клімату
Для макрокліматичних районів з тропічним і помірно холодним кліматом (загальнокліматичне морське виконання)	ОМ	Клімат, характерний для необмежених районів плавання суден і кораблів
Для всіх макрокліматичних районів на суші і морі, крім районів з дуже холодним кліматом (всекліматичне виконання)	В	Температура: t _{max} = + 55 °С; t _{min} = - 60 °С; верхнє значення вологості - 98% при 35 °С

Таблиця 1.6 – Категорії розміщення

Укрупнені категорії		Додаткові категорії	
Характеристика	Позначення	Характеристика	Позначення
Вироби зовнішнього монтажу апаратури, яка розміщується на відкритому повітрі	1	Вироби, які зберігаються і працюють у приміщенні категорії 4 і для короткочасної роботи в інших умовах, у тому числі й на відкритому повітрі	1.1
Вироби зовнішнього монтажу апаратури, яка розміщується під навісом, і внутрішнього монтажу апаратури, розміщеної на відкритому повітрі	2	Вбудовані елементи усередині комплектих виробів категорій 1; 1.1; 2, конструкція яких виключає можливість конденсації на них вологи	2.1

Продовження таблиці 1.6

Укрупнені категорії		Додаткові категорії	
Характеристика	Позначення	Характеристика	Позначення
Вироби, які розміщуються у приміщеннях без регулювання кліматичних умов	3	Вироби, які експлуатуються у нерегулярно опалюваних приміщеннях	3.1
Вироби, які розміщуються у приміщеннях з регулюванням кліматичних умов	4	Вироби, що експлуатуються у приміщеннях з кондиційним або частково кондиційованим повітрям	4.1
		Вироби, що експлуатуються всередині промислових опалюваних будівель	4.2
Вироби, які розміщуються в приміщеннях з підвищеною вологістю, що призводить до часткої конденсації вологи на стінах і стелі	5	Вбудовані елементи всередині виробів категорії 5, але за умови виключення конденсації на них вологи	5.1

Таблиця 1.7 – Категорії розміщення

Фактори впливу	Допустимі значення параметрів для категорій розміщення виробів											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Клімат у зоні експлуатації											
	помірний				холодний				тропічний			
Температура повітря, °C												
Верхнє значення	+40	+40	+40	+35	+40	+40	+40	+35	+45	+45	+45	+45
Нижнє значення	-40	-40	-40	+1	-60	-60	-60	+1	-10	-10	-10	+1

Продовження таблиці 1.7

Фактори впливу	Допустимі значення параметрів для категорій розміщення виробів											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Клімат у зоні експлуатації											
	помірний				холодний				тропічний			
Температура повітря, °С												
Верхнє значення сполучення відносної вологості повітря, %, з температурою, °С	$\frac{100}{25}$	$\frac{100}{25}$	$\frac{98}{25}$	$\frac{80}{25}$	$\frac{100}{25}$	$\frac{100}{25}$	$\frac{98}{25}$	$\frac{80}{25}$	$\frac{100}{35}$	$\frac{100}{35}$	$\frac{98}{35}$	$\frac{98}{35}$
Верхнє значення інтегральної густини потоку сонячної радіації, Вт/м ²	1125	-	-	-	1125	-	-	-	1125	-	-	-
Максимально можлива температура нагріву чорної матової поверхні, °С	+80	-	-	-	+80	-	-	-	+90	-	-	-
Коливання температури повітря за 8 годин, °С	+40	+30	+20	-	+40	+30	+20	-	+40	+30	+20	-
Верхнє значення інтенсивності дощу, мм/хв ⁻¹	3	-	-	-	3	-	-	-	5	-	-	-
Динамічний вплив пилу та піску	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Випадання інею	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-

Примітка: “+” – фактор присутній; “-” – фактор відсутній.

Таблиця 1.8 – Групи зниженого тиску

Позначення групи зниженого тиску	Атмосферний тиск				Висота над рівнем моря, тис. м
	Нижнє значення		Середнє значення		
	кПа	мм рт. ст.	кПа	мм рт. ст.	
а	70,0	525	75,6	567	2,4
б	60,0	450	65,8	493	3,5
в	53,3	400	59,3	445	4,3
г	26,7	200	29,0	218	9,4
д	12,0	90	13,3	100	14,4
е	4,4	33	5,5	41	20,0
і	2,0	15	2,2	16	26,0
й	0,6	5	0,6	5	34,0
ж	$1,3 \cdot 10^{-1}$	1	$1,3 \cdot 10^{-1}$	1	45,8
з	$1,3 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	$1,3 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	63,6
к	$1,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$1,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	91,7
л	$1,3 \cdot 10^{-7}$	10^{-6}	$1,3 \cdot 10^{-7}$	10^{-6}	200 (близький космос)
м	$1,3 \cdot 10^{-10}$	10^{-9}	$1,3 \cdot 10^{-10}$	10^{-9}	Середній космос
н	$1,3 \cdot 10^{-13}$	10^{-12}	$1,3 \cdot 10^{-13}$	10^{-12}	Далекий космос
о	$1,3 \cdot 10^{-14}$	10^{-13}	$1,3 \cdot 10^{-14}$	10^{-13}	Далекий космос

Таблиця 1.9 – Відносна електрична міцність повітря

Висота над рівнем моря, тис. м	1	3	5	10	20	30
Відносна електрична міцність	1,00	0,80	0,62	0,35	0,10	0,03

Розрахунок рівня мініатюризації базується на обчисленні двох коефіцієнтів: коефіцієнта використання мініатюрних елементів нової техніки (МЕНТ), до яких віднесені інтегральні схеми, мікропроцесорні комплекти, мікроборки і гібридно-інтегральні багатоформатні вузли, і коефіцієнта густини компонування.

Коефіцієнт використання МЕНТ K_3 визначають за формулою

$$K_3 = \frac{N_E}{N_E + N_D} = \frac{\sum_{i=1}^L n_i N_i}{\sum_{i=1}^L n_i N_i + N_D}, \quad (1.1)$$

де N_E - загальна кількість елементів у еквівалентних схемах МЕНТ; N_D - загальна кількість дискретних корпусних електрорадіоелементів (транзистори, тиристори, діоди, резистори, конденсатори, котушки індуктивності, дроселі, трансформатори та ін.) у виробі; n_i - кількість елементів у еквівалентній схемі i -го МЕНТу; N_i - кількість i -го МЕНТу у виробі; L - кількість усіх типів МЕНТу у виробі.

Коефіцієнт густини компонування еквівалентних елементів Π_K розраховується за виразом

$$\Pi_K = \frac{N_E + N_D}{V}, \quad (1.2)$$

де V - габаритний об'єм виробу, см^3 .

Показник рівня мініатюризації K_M обчислюють за формулою

$$K_M = \frac{N_E}{V} = K_3 \Pi_K. \quad (1.3)$$

Сучасний рівень мініатюризації радіоелектронної апаратури (РЕА) характеризується такими мінімальними значеннями показника K_M (табл. 1.10).

Таблиця 1.10 – Визначення типу РЕА за коефіцієнтом K_M

Тип радіоелектронної апаратури	Мінімальне значення K_M
БЦВМ ракетної і авіаційної техніки	200
Літакова РЕА	50
Наземна РЕА близької навігації	5
Наземна РЕА далекої навігації	1... 2
Радіолокаційні станції великої потужності наземної і морської техніки	0,1... 0,2

До показників призначення, які характеризують мініатюризацію конструкції, належить також показник заповнення об'єму K_{ZO} , який розраховують за виразом

$$K_{ZO} = \frac{V_{\Sigma EPK}}{V}, \quad (1.4)$$

де $V_{\Sigma EPK}$ - сумарний об'єм корпусів електрорадіокомпонентів (ЕРК), який визначається за габаритними розмірами, см^3 ; V - габаритний об'єм виробу, см^3 .

При цьому сумарний об'єм, який займає ЕРК, обчислюють так:

$$V_{\Sigma EPK} = \sum_{q=1}^E m_q V_q,$$

де m_q - загальна кількість корпусів ЕРК q-го типу; V_q - габаритний об'єм корпусу ЕРК q-го типу; E - кількість типів корпусів ЕРВ.

1.4.2 Показники надійності

Надійність конструкції - це властивість зберігати протягом певного часу в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують її здатність виконувати потрібні функції у заданих режимах і умовах застосування, технічного обслуговування, ремонтів, зберігання й транспортування.

З усіх показників надійності, регламентованих нормативами системи стандартів надійності [7], що відносяться до 27-го класу, найповніше характеризує надійність конструкції комплексний показник надійності - коефіцієнт готовності виробу. Це ймовірність того, що виріб виявиться працездатним у будь-який момент часу, крім планованих періодів, протягом яких використання виробу не передбачається. Якщо припустити, що працездатність виробу відновлюють тільки при відмовах, то коефіцієнт готовності виробу можна визначити так:

$$K_{\Gamma} = \frac{T_{\text{серед}}}{T_{\text{серед}} + T_{\text{в}}}, \quad (1.5)$$

де $T_{\text{серед}}$ - середнє напрацювання на відмову, год; $T_{\text{в}}$ - середня тривалість відновлення працездатності виробу, год.

На етапі конструювання надійність електронної апаратури можна підвищити шляхом виконання таких основних заходів:

- використання більш надійних комплектуючих елементів, більш міцних і зносостійких матеріалів;
- поліпшення схемних або конструктивних рішень;
- виключення конструкційних відмов (помилки в розрахунках, у виборі режимів і матеріалів, помилки в кресленнях, текстових документах та ін.);
- застосування надмірності;
- правильне призначення конструктором технології виготовлення виробу;
- застосування технологічних прогонів виробу й випробування комплектуючих елементів;
- організація системи контролю (вхідного, вихідного, поопераційного).

1.4.3 Показники ремонтпридатності

Ремонтпридатність - це здатність конструкції щодо запобігання та виявлення причин виникнення відмов, підтримання й відновлювання її працездатності шляхом проведення технічного обслуговування та ремонтів. Основний показник ремонтпридатності конструкції - час відновлення, тобто час, який витрачається на виявлення, пошук причин і усунення наслідків відмови. Для складної електронної апаратури час відновлення не повинен перевищувати, як правило, 15...30 хв. Усі заходи щодо підвищення ремонтпридатності зводяться до зниження часу відновлення. Можна виділити такі конструктивні заходи із забезпечення і підвищення ремонтпридатності виробу:

– забезпечення можливості максимально швидкого доступу до всіх вузлів, розміщених усередині конструкції, що досягається розкриттям несучої конструкції (рис. 1.4) або висуванням складових частин (рис. 1.5), застосуванням рознімного (рис. 1.6) або книжкового (рис. 1.7) варіантів конструкції блока;

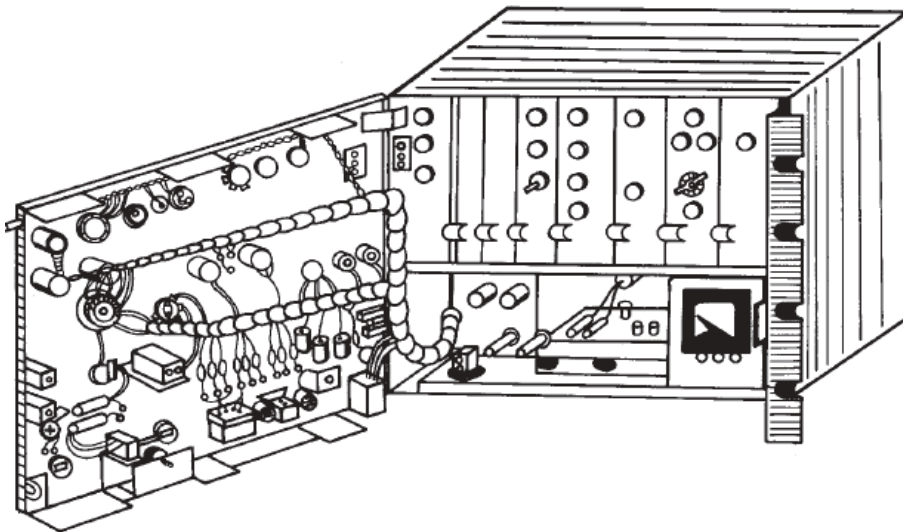


Рисунок 1.4 – Конструкція блока, що розкривається

– досягнення єдності варіанта складання, яка запобігає неправильному з'єднанню частин, наприклад, при врубному з'єднанні блока з відповідною колодкою на каркасі стояка з'єднувачі повинні мати механічну фіксацію, яка не дозволяє виконувати з'єднання з неправильною відповідною частиною;

– для зменшення часу пошуку несправності в електронній апаратурі жили кабелів, наконечники мусять мати чіткі позначення, а також такі, що не стираються;

– рекомендується використовувати таблички на апаратурі із зображенням електричних схем з'єднань;

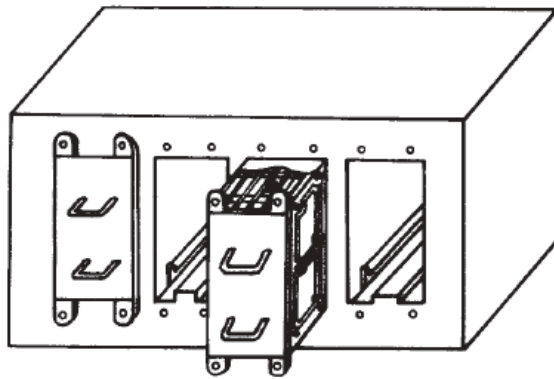


Рисунок 1.5 – Конструкція блока, що висувається

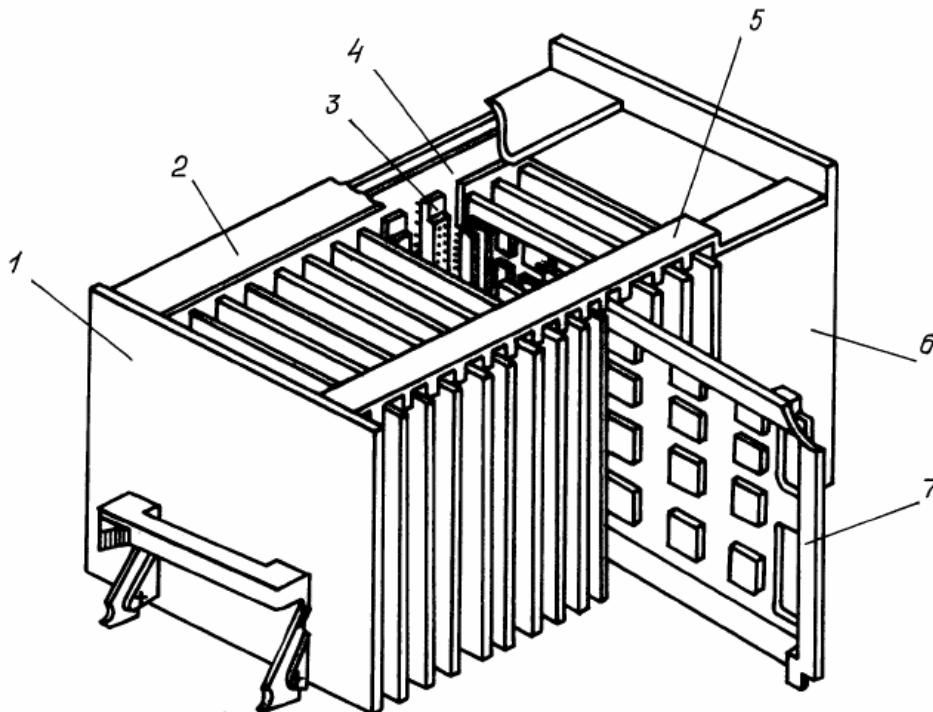


Рисунок 1.6 – Блок різноміної конструкції літакової апаратури:
 1 - передня панель; 2 - кутовик; 3 - розетка з'єднувача РППМ26;
 4 - об'єднувальна печатна плата; 5 - напрямна; 6 - задня панель;
 7 - чарунка із з'єднувачем РППМ26

- використання в конструкції взаємозамінних частин, які не потребують пригонки при заміні;
- застосування в складній апаратурі вбудованого контролю;
- компонування електронної апаратури необхідно виконувати таким чином, щоб розбирання й складення частин конструкції проводилось без демонтажу сусідніх частин;
- забезпечення доступу до всіх з'єднувачів, віброізоляторів та

інших елементів конструкції;

– комплектування ЗІП (запасних частин, інструментів, приладів і матеріалів) виконувати, виходячи з таких міркувань:

– чим вище інтеграція функціонального вузла, який потрібно замінити, тим менший час відновлення апаратури;

– комплектувати ЗІП тільки тими вузлами, ймовірність відмови яких найбільша;

– створення повного комплекту експлуатаційної і ремонтної документації.

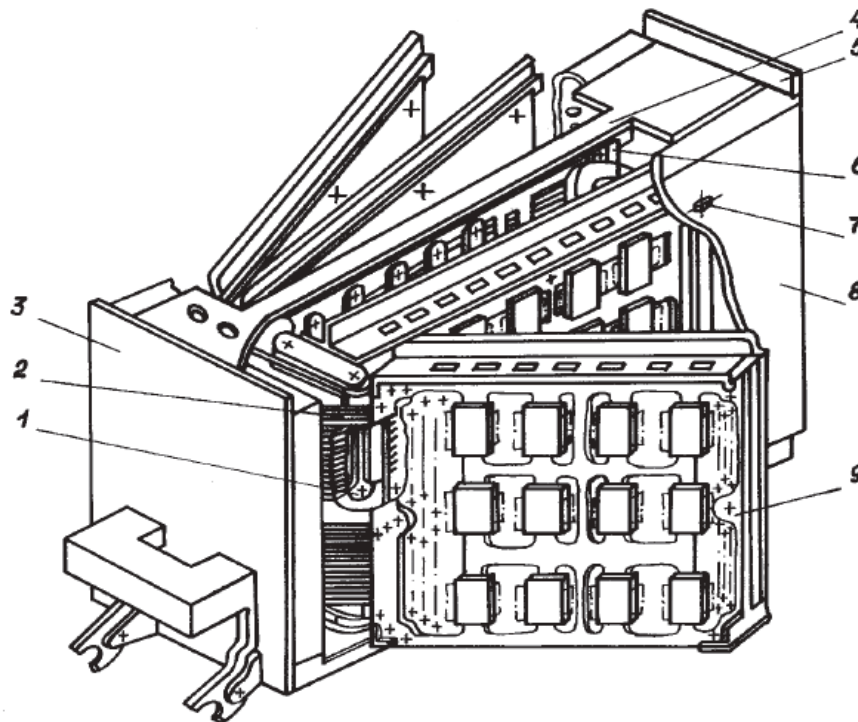


Рисунок 1.7 – Блок книжкової конструкції на мікросхемах і мікрозборках: 1 - з'єднувальна колодка; 2 - гнучкий печатний кабель; 3 - передня панель блока; 4 - рама; 5 - задня панель; 6 - з'єднувальна печатна плата; 7 - стяжний гвинт; 8 - бокова стінка; 9 - чарунка

1.4.4 Показники безпеки

Вимоги безпеки визначають безпеку праці обслуговуючого й ремонтного персоналу. До шкідливих фізичних факторів, які впливають на оператора з боку апаратури, належать: температура повітря робочої зони поза нормою, підвищені рівні шуму та вібрації, рухомість повітря поза нормою, підвищений рівень іонізуючих випромінювань

у робочій зоні, освітленість і світова індикація, які не належать нормам.

До небезпечних фізичних факторів належать: небезпечний рівень напруги в електричному ланцюгові, замикання якого можливе через тіло людини, небезпечний рівень іонізуючих випромінювань у робочій зоні, небезпечний рівень електромагнітних випромінювань.

Основними показниками безпеки є: ймовірність безпечної роботи людини протягом певного часу; швидкодія при вмиканні захисних пристроїв; опір ізоляції струмопровідних частин, з якими можливо зіткнення людини; електрична міцність високовольтних ланцюгів; ефективність блокування й аварійної сигналізації. Для розроблення безпечної електронної апаратури конструктору необхідно використовувати такі методи: заземлення вузлів конструкції; застосування блокувальних пристроїв, аварійної сигналізації, захисних автоматів вимкнення; наявність на струмонесучих частинах повної ізоляції з високим опором і запасом електричної міцності; застосування узгоджених навантажень і поглиначів НВЧ-потужності; екранування робочого місця; віддалення робочого місця від джерела електромагнітних перешкод; раціональне розміщення випромінюючого обладнання в робочому приміщенні; раціональний режим роботи обладнання і персоналу; застосування засобів індивідуального захисту та ін.

При оцінюванні рівня якості конструкції з урахуванням показників безпеки необхідно виходити з норм безпеки, які визначені стандартами системи безпеки праці (СБП), наприклад, ГОСТ 12.0.002-2003, ГОСТ 12.2.007.14-75.

1.4.5 Показники ергономіки

Ергономічні вимоги поділяють на антропометричні й психофізіологічні. Антропометричними називаються вимоги щодо конструкції, які забезпечують відповідність розмірів конструкції розмірам частин тіла та робочій позі оператора. Психофізіологічні вимоги характеризують відповідність конструкції властивостям людини, особливостям її органів чуття і психіки.

При конструюванні виробів і пультів керування орієнтуються на модель людини, яка має такі параметри: зріст - 170 см, маса - 68 кг, відстань від плечового суглоба до центра долоні витягнутої руки - 700 мм, максимальний діаметр пальців - 20 мм, у рукавицях - 30 мм. При цьому необхідно враховувати такі антропометричні вимоги:

1) форма рукояток вмикачів і перемикачів має бути досить простою і зручною в роботі (ГОСТ 22613-77);

2) вимикач типу “тумблер” не слід установлювати в зоні дії рук оператора, щоб запобігти випадковому вмиканню або вимиканню електричного ланцюга;

3) кнопки й клавіші, розраховані на багаторазове використання або зусилля 8...35 Н, повині мати ввігнуту робочу поверхню і виступати над панеллю на 5...10 мм, а кнопки, розраховані на зусилля натиснення до 1 Н і на використання їх не більше двох разів на хвилину, повинні мати діаметр 3...5 мм і опуклу робочу поверхню. Основні параметри кнопок і клавішних перемикачів вибирають за ГОСТ 22614-77;

4) конструкцію пульта керування вибирають залежно від робочого положення оператора (сидячи, сидячи-стоячи, стоячи);

5) при роботі оператора у положенні сидячи всі органи керування й індикації необхідно розташовувати, виходячи з таких міркувань (рис. 1.8):

- зона А - найважливіші органи керування й засоби відображення інформації ;

- зона Б - прилади й органи керування, які нечасто використовуються оператором;

- зона В - прилади й органи управління і контролю, що використовуються рідко;

- зона Г - допоміжні органи керування;

6) найважливіші й часто використовувані засоби відображення інформації й органи управління повинні розташовуватись у межах оптимальної зони (розміри зазначеної зони при повороті очей показано на рис. 1.9);

7) аварійні сигналізатори не можна розміщувати в оптимальній зоні;

8) усі органи керування, настроювання і підстроювання мають бути розташовані з урахуванням товщини пальців оператора, а при роботі в рукавицях відстань між рукоятками не може бути меншою за 30 мм.

До підгрупи психофізіологічних показників входять: розміри знаків, форма, яскравість, контраст, колір, просторове положення та ін. Оскільки можливості оператора сприйняття інформації обмежені (15...20 біт/хв), то при проектуванні виробів конструктор повинен враховувати такі психофізіологічні вимоги:

1) у найвідповідальніших режимах роботи обладнання, наприклад посадка літака, необхідно віддавати перевагу пристроям, які відображають інформацію в якісному, а не в кількісному вигляді;

2) підсвічування шкал і написів рекомендується виконувати червоним кольором, щоб око оператора не змінювало свою чутливість

при переведенні погляду з освітлених шкал і написів на затемнений простір, і навпаки, оскільки змінювання чутливості призводить до додаткового стомлювання очей;

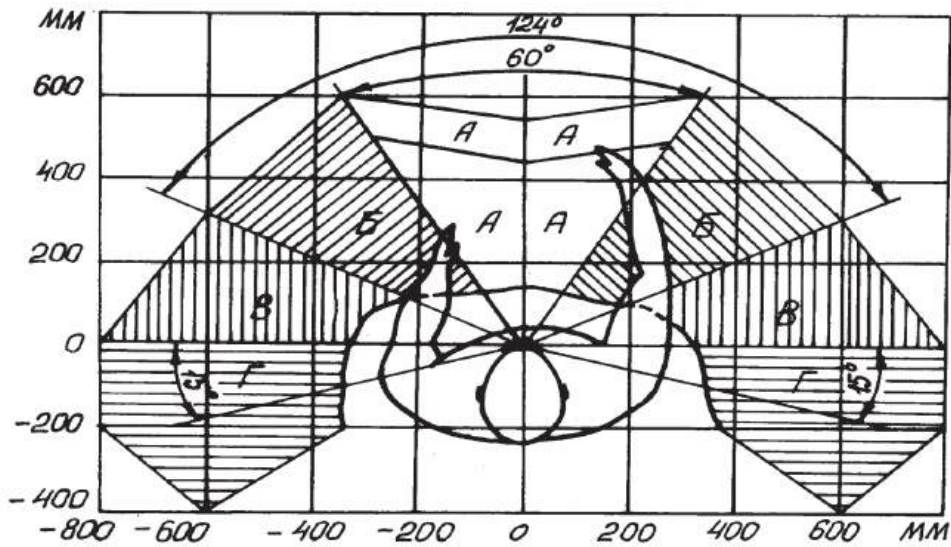


Рисунок 1.8 – Зона досяжності рук і зона огляду при роботі оператора сидячи

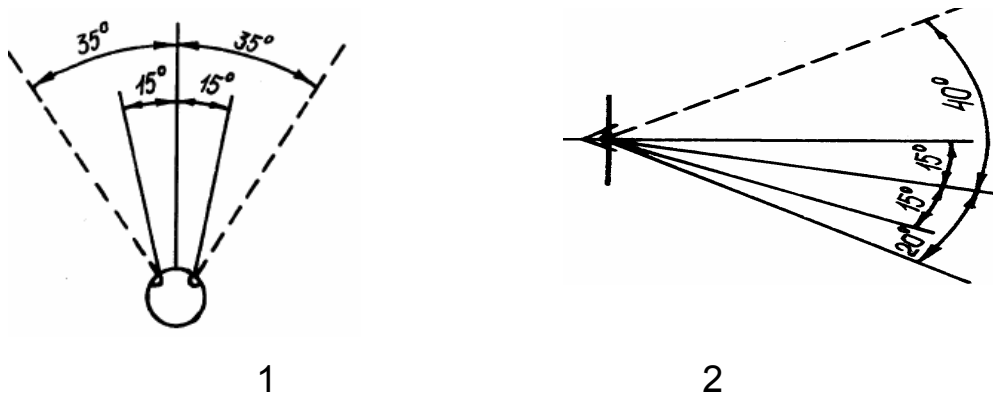


Рисунок 1.9 – Оптимальні й максимальні кути огляду при повороті очей: 1 - у горизонтальній площині; 2 - у вертикальній площині огляду

3) показники, призначені для роботи в затемнених умовах, повинні мати чорний фон і білі цифри;

4) у пристроях відображення інформації показання мусять зніматися оператором з необхідною точністю, але при цьому не можна намагатися досягти надмірної точності, яка викликає додаткову стомлюваність оператора;

5) кількість різних індикаторів має бути мінімальною, і вони повинні забезпечувати швидке й надійне сприйняття оператором інформації, що передається;

6) під час вибору органів керування слід виконувати такі рекомендації:

- рукоятки типу “дзьобик” встановлювати у випадках, коли необхідно швидко визначити положення перемикача, наприклад, перемикач режимів роботи, вибір системи та ін.;

- клавішні перемикачі обов’язково повинні суміщуватися з підсвічуванням, що дозволить оператору легко визначити встановлені режими роботи обладнання;

- рукоятки центрування променя по осях X і Y необхідно розміщувати по ліву і праву руки для забезпечення одночасного центрування променя за двома напрямками;

- з метою скорочення часу навчання оператора й вироблення в нього автоматизму напрями руху рукояток і очікувані зміни вимірюваної величини повинні знаходитись у певній відповідності, тобто переміщення важелів або рукояток уверх, від себе, вправо, за годинниковою стрілкою, натиснення верхніх, передніх, правих кнопок має відповідати положенням “Увімкнено”, “Пуск”, “Збільшення”, “Відкриття”, або руху “Вперед”, “Вправо”, “Вверх”, а переміщення важелів або рукояток вниз, на себе, вліво, проти годинникової стрілки, натиснення нижніх, задніх, лівих кнопок - положенням “Стоп”, “Зменшення”, “Закриття” або руху “Назад”, “Вліво”, “Вниз”;

7) показники авіаційних приладів слід розміщувати на приладовій дошці так, щоб з окремих показань легко було визначити загальну картину польоту; при цьому існує дві раціональні стратегії їх розміщення:

- віддалення приладу від центра дошки має бути обернено пропорційним інформаційній продуктивності процесу, який вимірюється зазначеним приладом;

- прилади, що контролюють параметри поздовжнього руху, розміщують уздовж горизонтальної прямої, яка проходить через центр приладової дошки, а прилади, що контролюють параметри бокового руху, - вздовж вертикальної прямої [8, 9];

8) доцільно застосувувати інтегральні прилади, які з’єднують ряд взаємозв’язаних параметрів;

- при розміщенні кольорових індикаторів на приладовій дошці необхідно враховувати розміри області, в якій оператор упевнено відрізняє даний колір від усіх інших (на рис. 1.10 вказані кутові розміри областей нормальної диференціації кольору).

Оцінення ергономічних показників здійснюється шляхом зіставлення одержаних і базових показників ергономіки, за які приймають ергономічні вимоги, наведені вище, а також у спеціальних довідниках. Частіше за все оцінка дається експертами у вигляді “Відповідає”

або “Не відповідає“, а також за п’ятибальною шкалою.

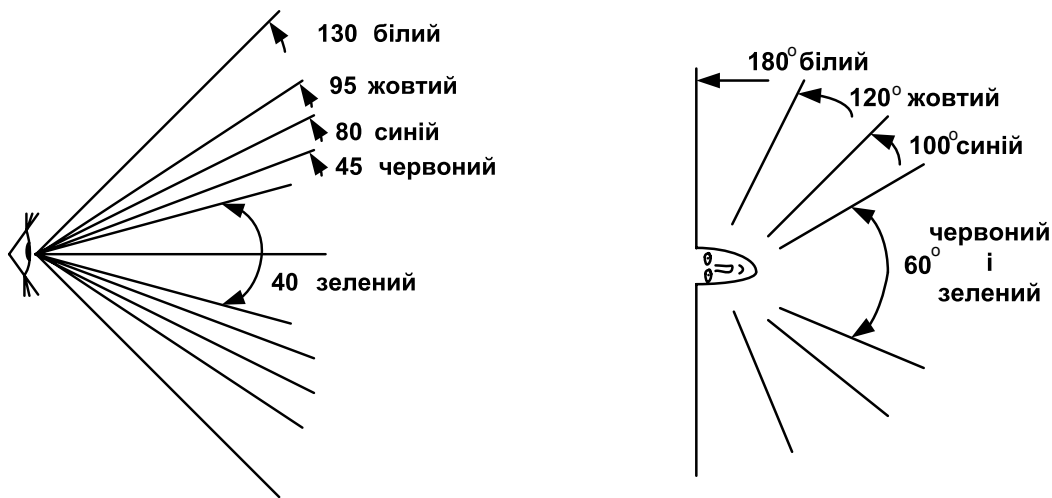


Рисунок 1.10 – Кутіві розміри областей нормальної диференціації кольору

1.4.6 Естетичні вимоги

Естетична підгрупа вимог [10] містить чотири основні вимоги щодо зовнішнього вигляду конструкції: виразність, раціональність форми, цілісність композиції, досконалість виробничого виконання.

Виразність характеризує здатність виробу своїм зовнішнім виглядом відобразити сформовані у суспільстві естетичні уявлення та культурні норми: лаконізм і компактність форми; оригінальність композиційного й кольорового рішення, фірмовий стиль і моду.

Раціональність форм характеризує функціональну логіку взаємодії частин і ергономічну зумовленість.

Цілісність композиції характеризує гармонійну єдність частин і цілого: композиційну логіку; пластичність (впорядкованість контурів і взаємопереходів площин); супідрядність графічних елементів загальній композиції; колорит і декоративність (взаємозв’язок кольорових сполучень, використання декоративних властивостей матеріалу).

Досконалість виробничого виконання визначає: чистоту виконання сполучень; чіткість виконання знаків і експлуатаційної документації, ретельність покриттів і оздоблення; стійкість до пошкоджень поверхні.

Естетичність показників якості оцінюється експертною комісією, при цьому застосовуються експертні методи до кожного з розглянутих вище показників з присвоюванням балів.

1.4.7 Показники технологічності й уніфікації

Виробнича технологічність конструкції виробу - це пристосованість до обмеженого витрачання трудових, матеріальних та енергетичних ресурсів при підготовці виробництва і промислового випуску виробів у заданій кількості за вищою категорією якості. Вона характеризується трьома складовими частинами: трудомісткістю, матеріаломісткістю, собівартістю.

Загальна трудомісткість конструкції виробу визначається кількістю часу, який витрачається виконавцями на її виробництво (один виріб), і виражається в норма-годинах:

$$T_{заг} = \sum_{i=1}^k t_i, \quad (1.6)$$

де t_i - трудомісткість окремих видів робіт, які входять до технологічного процесу виготовлення даного виробу; k - кількість видів робіт.

Порівняльна трудомісткість - відношення загальної трудомісткості до базової:

$$t_c = T_{заг} / T_б, \quad (1.7)$$

де $T_б$ - базова трудомісткість, вибрана для порівняння при оцінюванні технологічності.

Відносна трудомісткість характеризує частку трудомісткості даного виду робіт, наприклад складально-монтажних, у загальній трудомісткості:

$$t_{відн} = t_i / T_{заг}, \quad (1.8)$$

де t_i - трудомісткість i -го виду робіт.

Загальну матеріаломісткість конструкції визначають загальною масою конструкції:

$$M_{заг} = \sum_{i=1}^h m_i, \quad (1.9)$$

де m_i - матеріаломісткість i -ї складової частини конструкції; h - кількість складових частин.

Порівняльну матеріаломісткість обчислюють так:

$$m_n = M_{заг} / M_б, \quad (1.10)$$

де $M_б$ - базова матеріаломісткість, вибрана для порівняння при оцінюванні.

Відносну матеріаломісткість, яка дозволяє виявити застосування в даній конструкції найпрогресивніших видів, сортів, марок матеріалів, визначають як

$$m_{відн} = m_i / M_{заг}, \quad (1.11)$$

де m_i - маса даного матеріалу.

Загальна собівартість містить вартість матеріалів і комплектуючих виробів, заробітну плату працівників і непрямі, у тому числі накладні витрати. Порівняльну собівартість обчислюють відносно базового показника:

$$C_c = C_{заг} / C_б. \quad (1.12)$$

Показники уніфікації характеризують насиченість конструкції стандартними, уніфікованими й оригінальними складовими частинами, а також рівень уніфікації її порівняно з іншими виробами аналогічного призначення. Деталь або складальну одиницю, яка застосовується в специфікації кількох виробів, називають уніфікованою, на відміну від оригінальної, яка використовується тільки в одному виробі.

До показників уніфікації належать коефіцієнти застосовності й повторюваності. Коефіцієнт застосовності визначають як

$$K_{зас} = (n - n_0) / n, \quad (1.13)$$

де n - загальна кількість типорозмірів складових частин конструкції; n_0 - кількість типорозмірів тільки оригінальних складових частин.

Коефіцієнт повторюваності складових частин конструкції обчислюють так:

$$K_n = N / n, \quad (1.14)$$

де N - загальна кількість складових частин.

Щоб посилити питому вагу основних складових частин при визначенні показників уніфікації, із розрахунків необхідно виключити найпоширеніші деталі й складальні одиниці (кріпильні деталі, заглушки, наконечники, прокладки та ін.).

1.4.8 Патентно-правові показники

Патентно-правові вимоги регламентують умови, за яких технічні рішення стають промисловою власністю. Охороноздатним є технічне рішення, яке має новизну, суттєві відмінності, корисність та оформлене юридично. Охороноздатність складається з двох видів захисту: вітчизняними авторськими свідоцтвами й патентами даної країни в країнах передбачуваного експорту. Патентна чистота характеризує непідпадання технічного рішення під дію патентів тієї країни, де воно використовується. До патентно-правових показників, що дозволяють оцінити конкурентоспроможність конструкції і її новизну, належать

показники патентного захисту й патентної чистоти. Показник патентного захисту обчислюють за формулою

$$P_{ПЗ} = P'_{ПЗ} + P''_{ПЗ}, \quad (1.15)$$

де $P'_{ПЗ}$ - показник патентного захисту вітчизняними авторськими свідоцтвами; $P''_{ПЗ}$ - показник патентного захисту патентами за рубежом. При цьому

$$P'_{ПЗ} = \frac{\sum_{i=1}^s k_i N'_i}{N}, \quad (1.16)$$

де k_i - коефіцієнт вагомості складових частин за групами значущості: особливо важлива, основна, допоміжна; N'_i - кількість складових частин, захищених вітчизняними авторськими свідоцтвами (за групами значущості); N - загальна кількість складових частин у виробі; S - кількість груп значущості;

$$P''_{ПЗ} = \frac{m \sum_{i=1}^s k_i N''_i}{N}, \quad (1.17)$$

де m - коефіцієнт вагомості, який залежить від кількості країн, в яких одержано патенти, і від важливості цих країн для експорту виробу; P''_i - кількість складових частин, захищених патентами (за групами значущості).

Коефіцієнти вагомості k_i і m визначають методом експертних оцінок.

Показник патентної чистоти кількісно характеризує можливість реалізації виробу в даній країні й за рубежом. Цей показник розраховують за формулою

$$P''_{ПЧ} = \frac{N - \sum_{i=1}^s k_i N''_i}{N}, \quad (1.18)$$

де N_i - кількість складових частин виробу, які підпадають під дію патентів у даній країні (за групами значущості); k_i - вагомий коефіцієнт складових частин, які підпадають під дію патентів у даній країні (за групами значущості).

Показник патентної чистоти слід визначати окремо для даної країни і для кожної країни передбачуваного експорту, причому цей показник для виробів, які мають патентну чистоту відносно даної країни, дорівнює одиниці.

1.5 Умови експлуатації і їх вплив на вузли й прилади вимірювально-обчислювальних комплексів

Усю різноманітність всяких впливів зовнішніх факторів на електричну апаратуру можна звести до таких видів:

1) механічні впливи, причиною яких є сили ваги, постійно діючі прискорення й сили інерції, вібрація від роботи двигунів, ударні впливи при експлуатації й транспортуванні та комбінації цих сил;

2) вплив електричних і магнітних полів, які виникають через електризацію тертям, іскріння електрообладнання, перешкоди від роботи розташованих у літальному апараті інших радіоелектронних пристроїв великої потужності та ін.;

3) кліматичні впливи, пов'язані зі станом атмосфери: її температурою, вологістю, опадами, тиском, радіацією, забрудненням пилом, солями, парами, газами, радіоактивними речовинами, мікроорганізмами;

4) температурні впливи, спричинені внутрішніми та зовнішніми джерелами тепла.

Граничні значення параметрів навколишнього середовища, які впливають на електронну апаратуру з кожної групи (наземної, літакової і корабельної), встановлено ГОСТ 16019-2001, ГОСТ 17692-89 і ГОСТ 22579-86. Про ці значення у кожному випадку оговорюють у технічних умовах на заново розроблювану апаратуру. Узагальнені параметри зовнішніх впливів для проведення типових випробувань розроблюваної наземної, літакової й ракетної радіоелектронної апаратури наведено в табл. 1.11.

Таблиця 1.11 – Параметри зовнішніх впливів

Фактори й параметри впливу	Режими випробувань для кожної групи		
	наземна	літакова	ракетна
Вібрація частоти, Гц	10...70	5...2000	0...5000
Прискорення, g	1...4	до 20	До 20
Ударні струси:	-	-	40...80 ударів/хв
прискорення, g	10...15	6...12	5...10
тривалість, мс	5...10	до 15	10...12
Одиничні удари:			
прискорення, g	5...1000	-	-
тривалість, мс	0,5...10	-	-

Продовження таблиці 1.11

Фактори й параметри впливу	Режими випробувань для кожної групи		
	наземна	літакова	ракетна
Температура максимальна:			
робоча, К	323	333...473	323...473
гранична, К	333	353...523	-
Температура мінімальна:			
робоча, К	233	213	223
гранична, К	223	213	-
Вологість відносна:			
насиченість, %	80...93	93...100	-
температура, К	213	320...330	-
Акустичні шуми:			
рівень, дБ	85...125	130...150	130...170
частота, Гц	50...1000	50...1000	50...1000
Вітрове навантаження:			
робоче, м/с	до 50	-	-
граничне, м/с	до 70	-	-
Тиск атмосферний:			
максимальний, Па	$10,6 \cdot 10^4$	$10,6 \cdot 10^4$	До 13,3
мінімальний, Па	$5,7 \cdot 10^4$	$0,2 \cdot 10^4$	
Лінійне прискорення:			
сповільнене, g	2...4	4...6	Від 5 до 50
відцентрове, g	2...5	4...10	

До механічних впливів належать вібрації, випадкові вібрації, удари, лінійні та відцентрові прискорення, акустичний шум. На літаках вібрація створюється тяговими двигунами, зустрічним потоком повітря та іншими причинами, а випадкові вібрації виникають під час руху літака на злітно-посадочній смузі. Вплив вібрації призводить до механічного пошкодження виводів мікросхем, мікрозборок, напівпровідникових приладів та інших радіоелементів, а також механічного пошкодження різних вузлів та елементів. Удари виникають внаслідок зіткнення рухомих об'єктів, впливу вибухової хвилі, зльоту й приземлення літака. При впливі удару на апаратуру самі спрацьовують рухомі й

неврівноважені частини механічних систем, що обертаються (реле, муфти, фіксатори), самовідкручуються кріпильні деталі, порушується регулювання, руйнується конструкція та ін.

При зміні швидкості літального апарата на прямолінійній ділянці руху або при криволінійному русі прилади, встановлені на об'єкті, зазнають прискорення. Практично перевантаження в частках прискорення сили тяжіння у цих випадках може досягати 10...12 g і більше й спричинити різні механічні пошкодження апаратури.

Акустичний шум створюється літальним апаратом і його елементами, що сприяє виникненню значних коливань звукової частоти, небажаних явищ, які порушують нормальне функціонування апаратури. Наприклад, збуджується вібрація керуючих реле, посилюється процес обгоряння контактних пар, явища резонансних коливань в області звукових частот можуть спричинити різні несправності й пошкодження чутливих елементів тощо.

Слід пам'ятати, що вібраційні впливи при однакових прискореннях небезпечніші, ніж ударні, а лінійні перевантаження завдають меншого впливу порівняно з вібраційними й ударними.

Електричні й магнітні поля спричиняють виникнення паразитних наводок усередині електронної апаратури. Причинами перешкод можуть бути струми, які проходять по проводах, а також струми наведені у сусідніх провідниках, паразитні сигнали, електромагнітні поля від зовнішніх і внутрішніх джерел випромінювання і блукаючі струми в конструкціях, що виникають у зв'язку з дією цих полів.

Основними джерелами зовнішніх перешкод при польоті літака є грози, електризація літака пилом, сухим снігом та іншими частинками, а внутрішніх - працююче літакове електро- і радіообладнання, яке скупчене в невеликому об'ємі літака і функціонує, як правило, одночасно. Шляхи, якими ці перешкоди проникають в електронну апаратуру, різні: це ланцюги постачання, антенні пристрої, ланцюги контролю, індикації і керування, які можуть проходити поряд з проводами й кабелями, що несуть значні напруги перешкод. Спектральний склад перешкод дуже широкий і займає область від найнижчих до надвисоких частот. Недостатнє послаблення паразитних зв'язків і наводок сприяє різкому зниженню надійності електронної апаратури, оскільки значні зміни зовнішніх умов можуть призвести до значних змін параметрів приладу. Отже, для надійної роботи цієї апаратури необхідно, щоб рівень зростаючих перешкод не перевищував припустимих норм.

Кліматичні впливи на вироби спричиняють корозійне руйнування металевих поверхонь і деталей, виникнення плісняви на функціональних вузлах печатного монтажу.

Внаслідок розрідження повітря зі збільшенням висоти польоту відбувається зниження його електричної міцності. При цьому на ділянках конструкції, які мають гострі кути й знаходяться під високим потенціалом, можливе коронування. Герметизована електронна апаратура, розташована поза гермовідсіком, зазнає розривних зусиль.

Радіаційний вплив може спричинити суттєві зміни характеристик електронної апаратури, оборотні й необоротні порушення її працездатності.

Температура корпусу літака змінюється в широких межах (від $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$), до того ж верхня межа залежить від типу літального апарата. Внаслідок цього електронна апаратура, розташована поза гермовідсіком, зазнає теплових ударів. Більшість електронних пристроїв лише невелику частку енергії, яка споживається від джерел постачання, видає у вигляді корисної енергії сигналів, решта перетворюється на теплову енергію й передається у навколишнє середовище. При цьому теплові режими апаратури мають бути такими, щоб температура кожного з її елементів дорівнювала заданій або не виходила за допущені межі. Перевищення температури гранично допустимих значень спричиняє перегрів, а потім і перегорання найуразливіших у тепловому відношенні частин деталей, елементів, приладів (наприклад, р-п переходів напівпровідникових приладів, обмоток трансформаторів та ін.).

Наступні підрозділи присвячено правилам конструювання вузлів і приладів ІВС, спрямованим на їх захист від шкідливого впливу розглянутих вище факторів.

1.6 Конструювання електромеханічних та електронних приладів, стійких і міцних при механічних впливах

Найширше застосовуються засоби захисту приладових електронних пристроїв від механічних впливів, спрямовані на зменшення або усунення резонансних коливань. Для повного усунення резонансних коливань треба, щоб перша власна частота коливань була не менш ніж на октаву вища за максимальну частоту збурювальних коливань:

$$f_{01} / f'_B \geq 2, \quad (1.21)$$

де f_{01} - перша власна частота коливань, яка для деталей типу пластини розраховується за методикою, наведеною у праці [2]; f'_B - максимальна частота збурювальних коливань.

При цьому використовуються такі способи захисту вузлів і блоків електронної апаратури від механічних впливів:

1. Заливання вузлів і блоків апаратури легкими й жорсткими піноматеріалами з досягненням бажаного результату для захисту від механічних впливів, але при цьому значно погіршуються тепловий режим роботи й ремонтпридатність виробів. Цей спосіб доцільно застосовувати у випадку, коли діапазон вібрацій не перевищує 400...500 Гц.

2. Поліпшення демпфівувальних властивостей конструкції, наприклад, додавання в конструкцію печатних плат спеціальних демпфівувальних покриттів з вібропоглинальних матеріалів (ВП), внутрішнє тертя яких у десятки й сотні разів більше, ніж матеріалів із стеклотекстоліту.

Ефективність цього способу дуже висока. Так, наприклад, застосування плати, складеної з трьох шарів стеклотекстоліту зі стиснутими між ними тонкими шарами з ВП матеріалу, знижує коефіцієнт передачі при резонансі у вісім разів. Заливання плати зі сторони радіокомпонентів (рис. 1.11) вібропоглинальним пінополіуретаном дозволяє знизити амплітуду резонансних коливань більше ніж у десять разів.

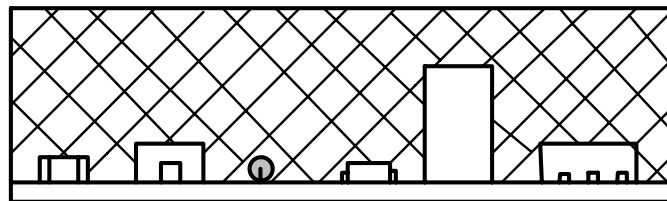


Рисунок 1.11 – Печатний вузол, залитий з боку радіоелементів вібропоглинальним пінополіуретаном: 1 - радіоелементи; 2 - пінополіуретан; 3 – плата

Для захисту від впливу механічних факторів ефективно також приклеювання мікросхем на плату або металеву раму демпфівувальним компаундом КТ 102.

3. Підвищення жорсткості конструкції, наприклад для печатних плат, впливає на спектр власних частот коливань можна зміною геометричних розмірів плати, способів її кріплення, матеріалу, конфігурації і маси конструкції. При цьому характерні такі особливості впливу. Зменшення площини плати зміщує увесь спектр власних частот коливань у більш високу область, але у цьому випадку конструктор стикається з небажаним зменшенням монтажного простору, необхідного для розміщення конструктивних елементів і трасування електричних

з'єднань між ними. Збільшення товщини плат змінює у бік підвищення власну частоту коливань, але при цьому збільшується вага плати, що небажано, особливо для апаратури літальних апаратів.

Можна навести такі характерні приклади [11] впливу способів кріплення плати на власну частоту їх коливань: зміна вільного опирання квадратної плати на жорстке затиснення збільшує першу власну частоту коливань приблизно у 1,8 рази; збільшення точок кріплення з чотирьох до семи підвищує власну частоту коливань приблизно у три рази (рис. 1.12).

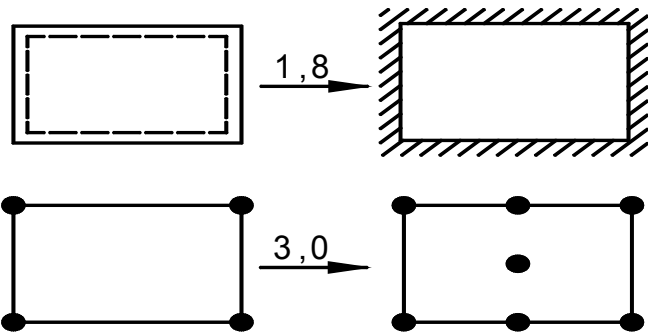


Рисунок 1.12 – Вплив способів кріплення плат на власну частоту їхніх коливань

При використанні ребер жорсткості необхідно виконувати такі вимоги: ребра жорсткості повинні жорстко кріпитися не тільки до плати, але й до опор конструкції (рис. 1.13).

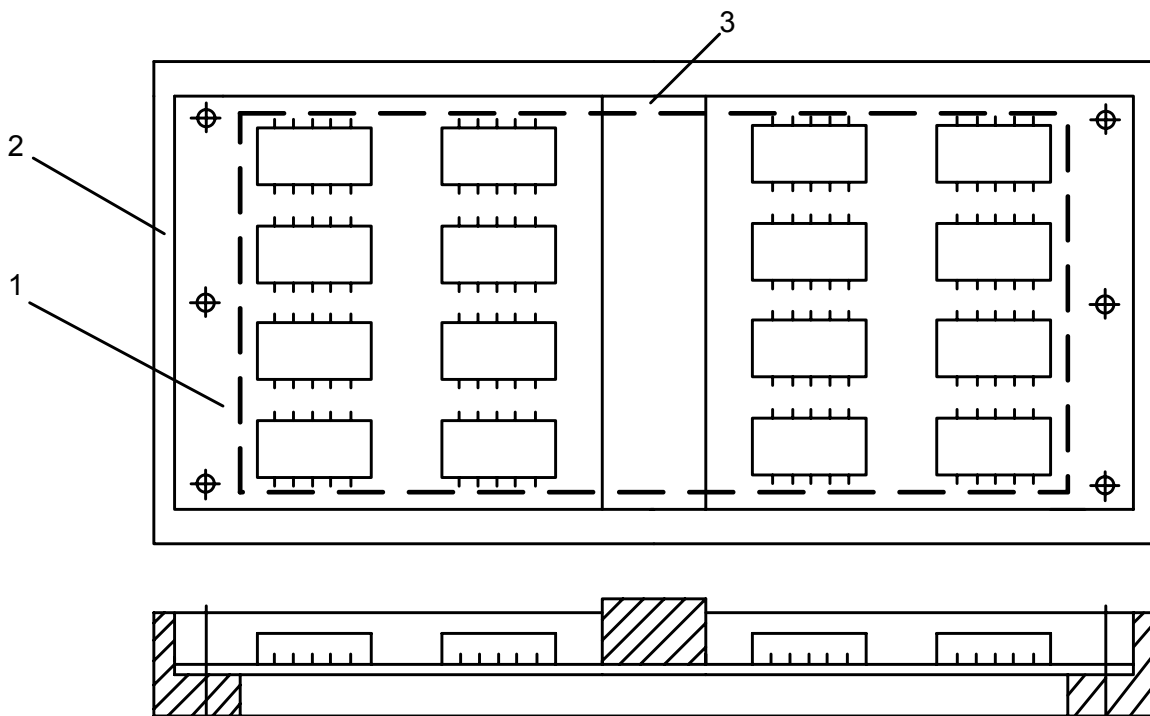


Рисунок 1.13 – Печатний вузол з ребром жорсткості: 1 - плата; 2 - рама; 3 - ребро жорсткості

Отже, зменшуючи площину та збільшуючи товщину плат, змінюючи способи кріплення, використовуючи додаткові точки кріплення й ребра жорсткості, можна суттєво змістити спектр власних частот коливань у більш високочастотну область. Ці способи значно зменшують корисну площу печатних плат, необхідну для монтажу радіоелементів, збільшують масу конструкції і використовуються у випадку, якщо діапазон частот діючих вібрацій не перевищує 400...500 Гц. Основні заходи щодо захисту електронних блоків від механічних впливів розглянемо на прикладі проектування блоків етажеркової конструкції. Задача проектування блоків такої конструкції складається з двох частин:

1) вибір типорозміру плати й раціональне розміщення на ній електрорадіоелементів (ЕРЕ);

2) оптимізація розміщення монтажних плат в етажерці й її орієнтація на об'єкті розміщення.

На першому етапі типорозмір плати вибирають згідно з ГОСТ 10317-79 так, щоб він дозволяв розмістити необхідну кількість ЕРЕ при заданій густині компонування і щоб були виключені резонансні явища. Суть раціонального розміщення ЕРЕ полягає у тому, що найнадійніші елементи розміщують у найбільш вібронавантажених областях монтажної плати. Наймасивніші елементи слід розміщувати якомога ближче до місць кріплення плати до несучої конструкції апаратури.

При цьому резистори, конденсатори, напівпровідникові прилади та інші навісні елементи, вага яких не перевищує 8 г, можна кріпити на власних виводах механічним кріпленням їх до пелюсток, контактних площадок та ін. Зазначені виводи не слід сильно натягувати, а довжина їх не повинна бути більшою 12 мм. Якщо маса елементів більша 8 г, то застосовують додаткові кріплення елемента і його виводів, наприклад, заливання компаундом, приклеювання клеєм або мастикою, а також кріплять елементи пластинками, скобами, поясками, накладками, хомутиками та ін.

На другому етапі проектування в етажерковій конструкції плати повинні складатися з проміжком $h \geq 2\omega_{\max}$, де ω_{\max} - результуючий прогин плати. Положення даної конструкції при закріпленні на об'єкті розміщення треба виконати так, щоб головний вектор впливів лежав у площині плат. При виборі етажеркових конструкцій та способу їх кріплення слід керуватися такими міркуваннями:

– небажано складати довгі етажерки (більше десяти монтажних плат), оскільки при вібровпливах можуть виникнути їх згинальні коливання;

– необхідно уникати консольних кріплень етажерок, якщо кількість плат в них більше чотирьох–п’яти.

Для електромеханічних і електронних приладових пристроїв характерним є те, що обриви проводів, кабелів найчастіше виникають на кінцях секції проводу або кабелю, тобто поблизу електричних з’єднувачів, а також внаслідок тертя проводів об деталі апаратури. Тому для захисту проводів, джгутів і кабелів при вібрації й ударах необхідно застосовувати такі конструктивні способи [12]:

1) окремі проводи, джгути, кабелі, що пропускаються через отвори в корпусах апаратури, повинні захищатися від механічних пошкоджень гумовими втулками, що встановлюються у ці отвори;

2) для підвищення надійності монтажу в місцях приєднання проводів малого перерізу застосовують пелюсткові наконечники;

3) декілька проводів, що проходять в одному напрямі, можна зв’язати монтажною ниткою і в’язку проводів закріпити, щоб вони своєю вагою не навантажували проводи в точках з’єднання;

4) згин проводу, джгута або кабелю в місці їх механічного кріплення до несучої конструкції блока можна зменшити, скорочуючи відстань між кріпленням, наприклад, хомутиками або скобами при кріпленні джгутів і кабелів;

5) обмежити згин і зменшити ймовірність злому проводу поблизу контактних з’єднань можна додатковим кріпленням його до корпусу;

6) заливання електричних з’єднувачів епоксидною смолою значно зменшує ймовірність злому проводів поблизу контактних з’єднань, але такі з’єднувачі згодом важко демонтувати;

7) під час кріплення проводів, джгутів і кабелів до корпусу за допомогою клею, компаунду або мастики для збільшення надійності рекомендується до нанесення зазначених речовин застосовувати підв’язку до шасі проводів, джгутів і кабелів вощеним бавовняним шнуром; при цьому довжина прямолінійних ділянок між точками кріплення вибирається в межах 50...200 мм;

8) для більшої гнучкості джгута або кабелю можна застосовувати намотування проводів на м’який шнур з бавовняних ниток, поролону або губчастої гуми, що забезпечує краще демпфірування власних коливань підводки;

9) довжина незакріпленої частини гнучкої підводки між основою й об’єктом має бути такою, щоб забезпечити можливість її вільного руху при вібрації;

10) підводка мусить виходити з таких місць основи, де найменша вібрація, і приєднуватися до віброізолюючого виробу в тих місцях, де немає місцевих резонансів конструкції.

При виконанні компонування й складання електромеханічних та електронних приладових пристроїв слід також враховувати такі рекомендації: забезпечити балансування всіх частин що обертаються; установлювати приладові пристрої на віброізоляторах з метою зменшення вібрацій і ударних перевантажень, що передаються від опорних або упорних поверхонь об'єкта; наймасивніші елементи й вузли розташовувати поблизу місць кріплення віброізоляторів до апаратури; для запобігання саморозгвинчування гайок і гвинтів в апаратурі, яка піддається вібрації й ударам при експлуатації, під гайки та гвинти підкладати пружинні шайби й зафарбовувати нарізні з'єднання нітроемаллю.

1.7 Методика вибору віброізоляторів при конструюванні ЗВТ

1.7.1 Віброізолятори й вимоги, що ставляться до них

Віброізолятори служать для зменшення вібрацій і ударних перевантажень, які передаються від опорних або упорних поверхонь об'єкта, а демпфірувальні матеріали призначені для зменшення можливих резонансних вібрацій самої апаратури. Залежно від типу пружного елемента й способу демпфірування віброізолятори можна поділити на такі чотири групи: гумометалеві, пружинні з повітряним демпфіруванням, пружинні з фрикційним демпфіруванням, суцільно-металеві зі структурним демпфіруванням.

До першої групи належать віброізолятори типу АО (амортизатор опорний), АП (пластинчастий), АЧ (чашковий), АР (ріжковий), АС (стрижневий), АКЗС (корабельний зварний зі страховкою); до другої - АД (демпфірувальний); до третьої - АФД (з фрикційним демпфіруванням), АПН (просторового навантаження); до четвертої - ПД (подвійний дзвінок), АРМ (з регульованою резонансною частотою), АСП (суцільно металевий односпрямованої дії).

Креслення, технічні характеристики й розміри основних типів віброізоляторів розглянуто в працях [13, 14].

Залежно від частоти власних коливань усі віброізолятори бортової апаратури можна поділити:

- на низькочастотні ($f_H \leq 3...4$ Гц);
- середньочастотні ($f_C \leq 8...10$ Гц);
- високочастотні ($f_B \leq 20...25$ Гц) і віброізолятори спеціального призначення.

Діапазон частот збурювальних коливань, в якому віброізолятори повинні забезпечувати надійну віброізоляцію апаратури, становить:

- для низькочастотних – 5...2500 Гц;
- для середньочастотних – 15...2500 Гц;
- для високочастотних – 35...2500 Гц.

Для віброізоляції бортового обладнання літальних апаратів найчастіше використовуються віброізолятори типів АД, АПН, АФД, АПНМ. Гумометалеві віброізолятори зараз у вітчизняній бортовій радіоелектронній апаратурі (РЕА) застосовуються дуже обмежено. Для віброізолюючого захисту різного приладового обладнання РЕА в останній час використовуються суцільнометалеві віброізолятори типу АВС (втулково-сітчастий), АТГ (тросові Г-подібні), АТЦ (тросові циліндричні), а також гумометалеві демпфірувальні віброізолятори типу АГМД. Високу довговічність і стійкість до температурних і кліматичних впливів мають пружинні віброізолятори. Як пружинні віброізолятори найчастіше використовують сталеві циліндричні кручені пружини, що виготовляються з дроту круглого перерізу.

Віброізолятори бортового обладнання літальних апаратів повинні відповідати технічним вимогам ГОСТ 21467-81, а гумометалеві приладові віброізолятори – ГОСТ 11679.1-76 і ГОСТ 11679.2-76. Згідно з ГОСТ 21467-81 віброізолятори залежно від умов експлуатації поділяють на сім типів, які виготовляють у двох виконаннях: 1 – суцільнометалеві; 2 – гумометалеві. Кожне виконання віброізоляторів залежно від діапазону діючих вагових навантажень підрозділяють на тринадцять типорозмірів. При цьому в конструкторській документації віброізолятори визначаються таким чином: наприклад, віброізолятор типу 2, виконання 1, типорозміру 3: Віброізолятор 2-1-3 ГОСТ 21467-81. Приклад установа виробу на віброізоляторах подано на рис. 1.14.

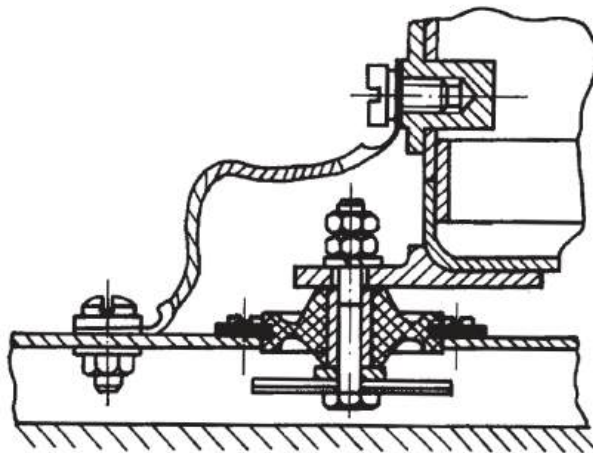


Рисунок 1.14 – Встановлення блока на віброізоляторах

1.7.2 Схеми розміщення віброізоляторів

Проектування раціонального віброізолюючого захисту полягає у виборі необхідної кількості віброізоляторів з потрібними характеристиками і в розміщенні їх відносно ізольованого об'єкта так, щоб усі шість власних частот системи були нижчими за частоту збудження. Критерієм обґрунтованого вибору типу віброізоляторів і схеми розміщення виробів є знання динамічних і кліматичних умов, в яких будуть експлуатуватися віброізолятори.

Вибір типу, типорозміру віброізоляторів і їх раціональне розміщення здійснюються на базі статичного й динамічного розрахунків, спрямованих на визначення статичних навантажень на кожний з віброізоляторів і резонансних частот системи, а також ефективності амортизуючої підвіски.

При раціональному монтажі виріб повинен встановлюватися на всіх своїх віброізоляторах так, щоб центр його ваги збігався з центром жорсткості віброізоляторів. Центром жорсткості системи віброізоляції є точка, в якій умовно зосереджена загальна жорсткість усіх віброізоляторів. При цьому координати центра жорсткості в прямокутній системі координат (початок системи координат звичайно поєднують з центром ваги виробу) обчислюють за такими формулами:

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n c_{x_i} x_i}{\sum_{i=1}^n c_{x_i}}, \quad y_c = \frac{\sum_{i=1}^n c_{y_i} y_i}{\sum_{i=1}^n c_{y_i}}, \quad z_c = \frac{\sum_{i=1}^n c_{z_i} z_i}{\sum_{i=1}^n c_{z_i}}, \quad (1.22)$$

де x_i, y_i, z_i - координати розміщення віброізоляторів на виробі; $C_{x_i}, C_{y_i}, C_{z_i}$ - зосереджені статичні жорсткості віброізоляторів у напрямі відпо-

відних осей координат; $\sum_{i=1}^n c_{x_i} x_i, \sum_{i=1}^n c_{y_i} y_i, \sum_{i=1}^n c_{z_i} z_i$ - суми статичних моментів жорсткостей віброізоляторів.

Найпоширеніші схеми пружного монтажу обладнання зображено на рис. 1.15.

Схеми розміщення віброізоляторів (рис. 1.15, а, б, в) забезпечують захист від сил, що діють у всіх напрямках, і їх доцільно використовувати в умовах просторового навантаження на літальних апаратах.

При впливі на прилад вібрацій і невеликих ударних перевантажень без суттєвих нахилів основи рекомендується застосовувати схему, зображену на рис. 1.15, г. Ця схема розміщення віброізолято-

рів знайшла широке застосування у звичайній літаковій апаратурі.

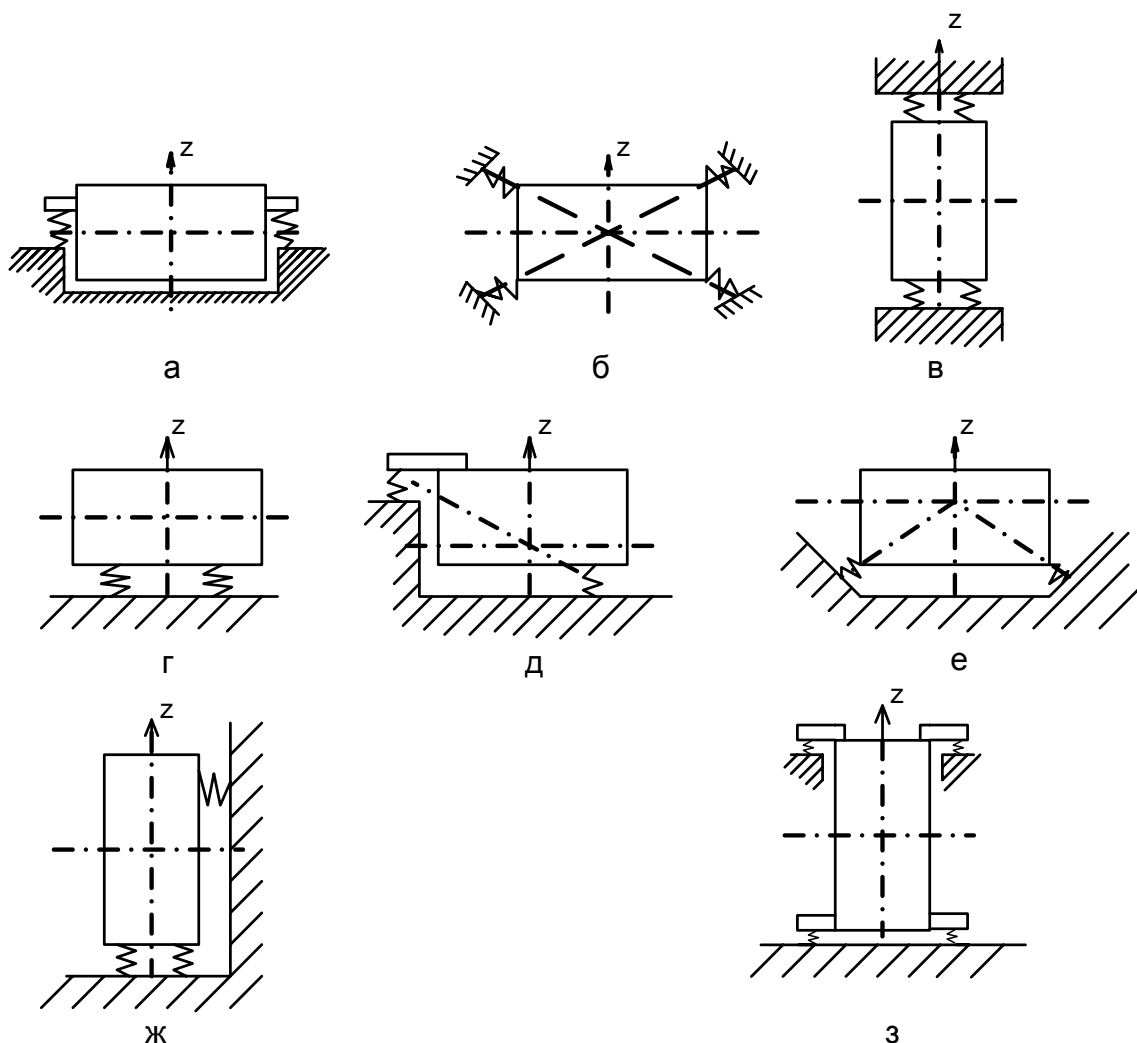


Рисунок 1.15 – Схеми розміщення віброізоляторів

Значно більшу стійкість, ніж схема рис. 1.15, г, мають схеми, зображені на рис. 1.15, з, д. Схема, зображена на рис. 1.15, з, звичайно використовується для виробів з відношенням висоти до ширини більше двох. Більш економічною є двоярусна схема (рис. 1.15, д). Ця схема потребує менших зазорів між віброізольованим виробом і конструкціями, що його оточують, ніж схема, зображена на рис. 1.15, г, завдяки більшій стійкості системи віброізоляції.

З метою збереження виробу від крутильних коливань віброізолятори розміщують під кутом до осей симетрії виробу (рис. 1.15, е). При цьому напрями дії реакцій віброізоляторів повинні перехрещуватися у центрі ваги. За схемою на рис. 1.15, ж звичайно віброізолюються приладові шафи, стояки та інші вироби, які мають значну висоту.

1.7.3 Статичний розрахунок систем віброізоляції

Мета статичного розрахунку віброізолюючої підвіски - визначення статичних навантажень від ваги виробу, що припадає на кожний віброізолятор, і наступний вибір віброізоляторів з каталогу відповідно до діючих навантажень.

Статичний розрахунок дозволяє розмістити віброізолятори на виробі так, щоб виконувалися умови раціонального монтажу:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n P_i = G; \sum_{i=1}^n P_i x_i = 0; \sum_{i=1}^n P_i y_i = 0; \sum_{i=1}^n P_i z_i = 0; \\ \sum_{i=1}^n P_i x_i y_i = 0; \sum_{i=1}^n P_i y_i z_i = 0; \sum_{i=1}^n P_i z_i x_i = 0, \end{cases} \quad (1.23)$$

де P_i - навантаження, що припадає на i -й віброізолятор; G - вага виробу; x_i, y_i, z_i - координати i -го віброізолятора; n - кількість віброізоляторів.

Статичний розрахунок системи віброізоляції проводять у такому порядку:

1) визначають схему розміщення віброізоляторів (див. рис. 1.15) залежно від призначення, умов експлуатації та конструктивних можливостей віброізоляторів;

2) вибирають прямокутну систему координат x, y, z , виконуючи такі рекомендації: початок системи координат повинен збігатися з центром ваги виробу, осі x, y - з головними центральними осями інерції виробу, а напрям осі z - з лінією дії статичного навантаження від ваги виробу;

3) складають потрібну кількість рівнянь, використовуючи вимоги раціонального монтажу (1.23);

4) розв'язуючи одержану систему рівнянь, визначають навантаження на віброізолятори, а також невідомі координати їх розміщення.

Розглянемо приклад статичного розрахунку для випадку розташування віброізоляторів в одній горизонтальній площині (схеми на рис. 1.15, а, г). Оскільки для цього випадку координати віброізоляторів $z_i=0$, то систему рівнянь (1.23) можна подати у вигляді

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n P_i = G; \sum_{i=1}^n P_i x_i = 0; \\ \sum_{i=1}^n P_i y_i = 0; \sum_{i=1}^n P_i x_i y_i = 0. \end{cases} \quad (1.24)$$

Для системи з трьох віброізоляторів (рис. 1.16) у загальному

випадку знаходять навантаження на віброізолятори P_1, P_2, P_3 і одну з координат при заданих значеннях решти координат. Наприклад, при заданих координатах віброізоляторів x_1, x_2, y_1, y_2, y_3 із системи рівнянь (1.24) визначають координату x_3 і навантаження P_1, P_2, P_3 :

$$\begin{cases} x_3 = \frac{x_1 x_2 y_3 (y_1 - y_2)}{x_2 y_1 (y_3 - y_2) - x_1 y_2 (y_3 - y_1)}; \\ P_1 = \frac{x_2 y_3 - x_3 y_2}{(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)} G; \\ P_2 = \frac{x_3 y_1 - x_1 y_3}{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)} G; \\ P_3 = \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)} G. \end{cases} \quad (1.25)$$

Потім за каталогом вибирають віброізолятори з номінальними навантаженнями, які відповідають розрахованим.

Для рівнонавантажених віброізоляторів, коли $P_1 = P_2 = P_3 = G/3$, задають три координати віброізоляторів, зручні з конструктивних розумінь, і з системи рівнянь (1.24) знаходять інші три координати. Наприклад, при заданих координатах x_1, y_1, y_2 (рис. 1.16) решту координат визначають з умови раціонального монтажу за такими формулами:

$$x_3 = \frac{x_1 (y_1 - y_2)}{2y_2 + y_1}; \quad x_2 = \frac{-x_1 (2y_1 + y_2)}{2y_2 + y_1}; \quad y_3 = -(y_1 + y_2). \quad (1.26)$$

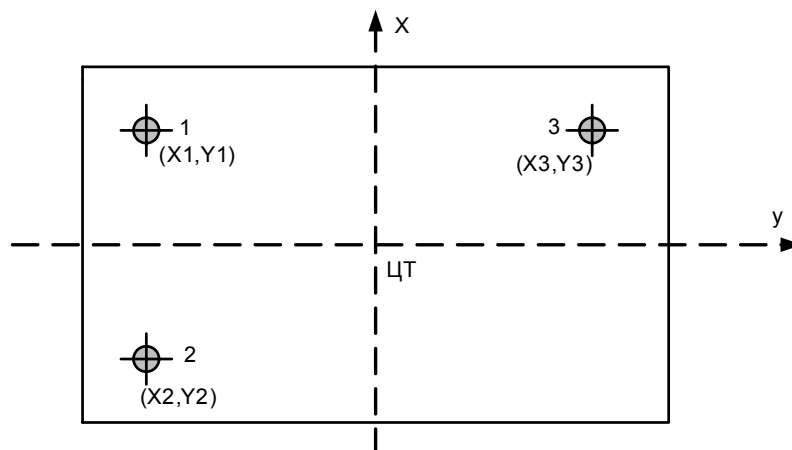


Рисунок 1.16 – Координати точок кріплення віброізоляторів у горизонтальній площині

Приклади статичного розрахунку інших систем віброізоляції наведено у праці [14].

1.7.4 Динамічний розрахунок систем віброізоляції

Мета динамічного розрахунку віброізолюючої підвіски - визначення її резонансних частот системи й ефективності. При конструюванні слід намагатися, щоб власні частоти коливальної системи були в 2-3 рази нижче за найменшу частоту збудовальної сили, а ефективність X системи віброізоляції - не менше 95%.

Розглянемо повністю симетричну систему віброізоляції (рис. 1.17), яку рекомендується застосовувати при проектуванні електронної апаратури, тому що всі власні частоти знаходяться у вузькому діапазоні. Для такої системи характерно, що

$$\sum_{i=1}^4 A_i = 0; \quad \sum_{i=1}^4 B_i = 0; \quad \sum_{i=1}^4 C_i = 0, \quad (1.27)$$

де A , B , C - відстані уздовж осей X , Y і Z .

Значення частот власних коливань системи визначають за такими формулами:

$$\begin{aligned} f_{01}^2 &= \frac{0,025k_x}{m}; & f_{02}^2 &= \frac{0,025k_y}{m}; & f_{03}^2 &= \frac{0,025k_z}{m}; \\ f_{04}^2 &= \frac{0,025k_z \sum B^2}{J_y}; & f_{05}^2 &= \frac{0,025k_x \sum C^2}{J_x}; & & \\ f_{06}^2 &= \frac{0,025(k_y \sum B^2 + k_x \sum C^2)}{J_z}, \end{aligned} \quad (1.28)$$

де f_{01} , f_{02} , f_{03} - власна частота вертикальних, поздовжніх і поперечних коливань; f_{04} , f_{05} , f_{06} - власні частоти незалежних кутових коливань при поздовжньому та боковому хитанні й ристанні; k_x , k_y , k_z - значення жорсткості віброізоляторів; m - вага блока; I_x , I_y , I_z - відповідні моменти інерції.

Для системи віброізоляції (рис. 1.17), симетричної відносно двох вертикальних площин, характерно, що $A_i \neq 0$, а власні частоти незалежних вертикальних коливань і зв'язувальних поздовжніх коливань і поздовжнього хитання визначають як пошук незалежних коливань,

зв'язувальних поперечних коливань і бокового хитання за формулами

$$\omega^2 = \omega_1^2; \quad \omega^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_2^2 + \omega_3^2) \pm \sqrt{(\omega_2^2 - \omega_3^2)^2 + 4\mu_a\mu_b} \right], \quad (1.29)$$

$$\omega^2 = \omega_5^2; \quad \omega^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_4^2 + \omega_6^2) \pm \sqrt{(\omega_4^2 - \omega_6^2)^2 + 4\mu_e\mu_f} \right], \quad (1.30)$$

де

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{k_x}{m}; \quad \omega_2 = \frac{k_y}{m}; \quad \omega_3 = \frac{k_y \sum A^2 + k_x \sum B^2}{J_z}; \quad \omega_4 = \frac{k_z}{m}; \\ \omega_5 &= \frac{k_z \sum B^2 + k_y \sum C^2}{J_z}; \quad \omega_6 = \frac{k_x \sum C^2 + k_z \sum A^2}{J_y}; \quad (1.31) \\ \mu_a &= \frac{k_y \sum A}{m}; \quad \mu_b = \frac{k_y \sum A}{J_z}; \quad \mu_e = \frac{k_z \sum A}{m}; \quad \mu_f = \frac{k_z \sum A}{J_y}. \end{aligned}$$

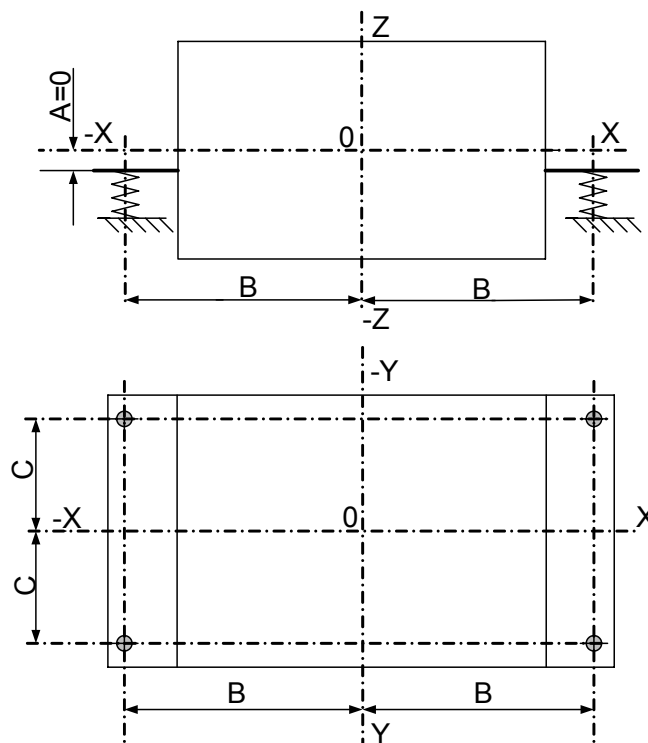


Рисунок 1.17 – Симетрична система віброізоляції

Власну частоту системи віброізоляції обчислюють таким чином:

$$f_0 = \sqrt{\frac{k_p}{40m}}, \quad (1.32)$$

де k_p - сумарна жорсткість віброізоляторів; m - вага блока. Коефіцієнт передачі при малому демпфіруванні:

$$\mu = \frac{1}{(\psi^2 - 1)}, \quad (1.33)$$

де $\psi = f / f_0$ - відношення частоти збурювальної сили до частоти власних коливань системи.

Ефективність системи віброізоляції визначають як

$$X = (1 - \mu) \cdot 100\%. \quad (1.34)$$

Резонансні коливання елементів і блоків не виникають при значеннях $X \geq 95\%$.

1.8 Конструювання вузлів і приладів ЗВТ, що працюють в умовах електромагнітного впливу

При конструюванні ЕА необхідно вирішувати питання забезпечення електромагнітної сумісності [15, 16] як окремих частин конструкції, так і всієї ЕА із зовнішніми пристроями. Одночасно повинна вирішуватися задача екранування елементів конструкції від внутрішніх і зовнішніх джерел перешкод, розглянутих у підрозд. 1.2.

Захист вузлів і приладів ЗВТ від електромагнітних впливів здійснюється такими шляхами: екрануванням вузлів і приладів, заземленням елементів конструкції, екрануванням проводів, застосуванням фільтрувальних чарунок, забезпеченням перешкодостійкості печатних плат електронних модулів.

1.8.1 Екранування вузлів і приладів ЗВТ

Екранування - це локалізація електромагнітної енергії у межах певного простору, що досягається шляхом застосування матеріалів, які мають властивості провідників і поглиначів. Існує чотири види електромагнітних зв'язків, які можуть виникнути між двома електричними ланцюгами, що знаходяться на деякій відстані один від одного: через електричне, магнітне, електромагнітне поля, а також через проводи, що з'єднують ці ланцюги.

Для екранування вузлів і приладів застосовують циліндричні екрани або екрани квадратного перерізу, до того ж вони можуть бути як одношарові, так і дво-, і тришарові з повітряними проміжками між

шарами. Матеріалами для виготовлення екранів служать латунь, алюмінієві сплави, пермалой, електротехнічна сталь та ін. Розрахунок екрана, спрямований на визначення матеріалу екрана, його товщини, габаритних розмірів та особливостей конструкції, проводиться в такому порядку:

1. Користуючись номограмами для визначення ефективності відбиття на межі середовище - екран [14], вибирають матеріал екрана. Користування номограмами зводиться до такого. Через точку із заданою частотою f поля і точку, яка відповідає потрібному послабленню магнітного $A_0(H)$ або електричного $A_0(E)$ поля, проводять пряму до перетину її з допоміжною лінією (точка А). Потім, прикладаючи край прозорої лінійки до точки А і повертаючи лінійку навколо цієї точки, одержують відповідні марки матеріалу й відстані r до екрана при заданому послабленні. Остаточний вибір матеріалу визначиться такими факторами, як маса, жорсткість конструкції і її вартість. Якщо відстань від джерела випромінювання до екрана наперед відома, то після проведення прямої через точку А і точку, відповідну зазначеній відстані, однозначно одержують потрібну марку матеріалу екрана при заданому послабленні поля.

2. Аналогічно, користуючись номограмами для визначення ефективності поглинання в матеріалі екрана електромагнітного поля за заданою частотою, послабленням поля від поглинання A_n і маркою матеріалу, знаходять товщину екрана.

3. Мінімальні розміри екрана вибирають з рис. 1.18:

При розробленні конструкції екрана слід враховувати її особливості:

а) конструктивно екран містить декілька складових частин, які в процесі складання поєднуються між собою різніми або нерозніжними з'єднаннями;

б) в екрані є отвори, через які проходять монтажні проводи.

Для зменшення впливу таких дефектів екрана при конструюванні необхідно дотримуватися певних правил:

– поверхня стику складових частин екрана не повинна перерізати магнітних силових ліній поля і ліній, наведених в екрані струмів, тобто стик має бути спрямований уздовж цих ліній (рис. 1.19);

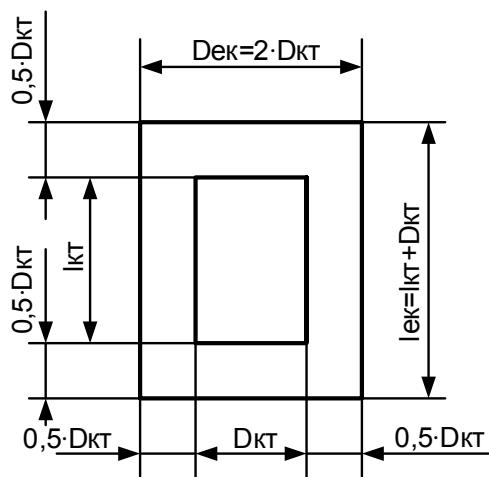


Рисунок 1.18 – Розміри котушки й екрана

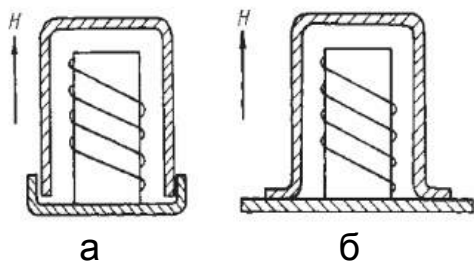


Рисунок 1.19 – Правильно (а) і неправильно (б) виконаний стик частин екрана

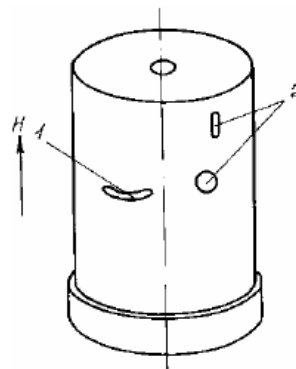


Рисунок 1.20 – Правильне (1) і неправильне (2) розміщення отворів в екрані

– отвори в екрані не повинні перетинати ліній наведених в ньому струмів. Якщо ж цю умову виконати неможливо, то більший розмір отвору слід розміщати паралельно цим лініям (рис. 1.20) [15, 17].

Багато ознайомитися ще з одним досить економічним способом екранування – це використання екрануючої ізоляційної стрічки. Екрануюча ізоляційна стрічка складається із шару матеріалу з магнітними властивостями, з шару металу і з шарів ізоляційного матеріалу. Завдяки такій композитній стрічці можна легко екранувати будь-який печатний вузол, місця пайки, різні з'єднання, провідний монтаж, виконати покриття стінок усередині корпусу приладу стінки, кришки тощо.

Одним із лідерів виробництва екранів є фірма «ЗМ», яка для ефективного екранування внутрішніх блоків рекомендує використовувати такі схеми. Вплив перешкод при звичайному розташуванні блоків всередині корпусу приладу показано на рис. 1.21.

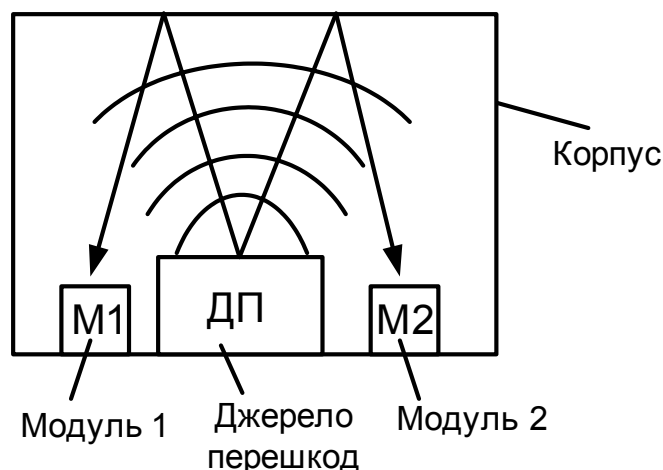


Рисунок 1.21 – Звичайне розташування внутрішніх блоків

Ефективність екранування поглинанням становить 40 % (рис. 1.22).

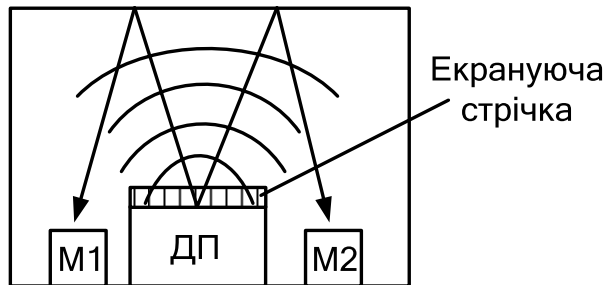


Рисунок 1.22 – Ефективність екранування до 40 %

Такий варіант використання екрануючої стрічки зменшує відбиття від інших об'єктів (рис. 1.23).

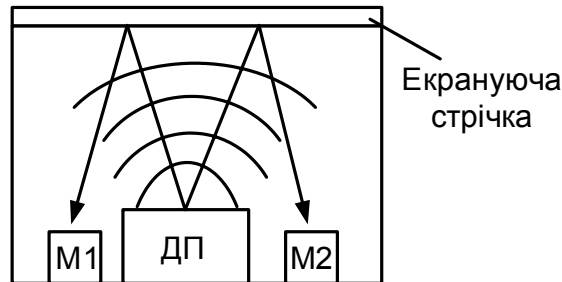


Рисунок 1.23 – Ефективність екранування до 60 %

Найкращий варіант екранування досягається при повному екрануванні джерела перешкоди і модулів, які в такому випадку перетворюються на приймачі (рис. 1.24).

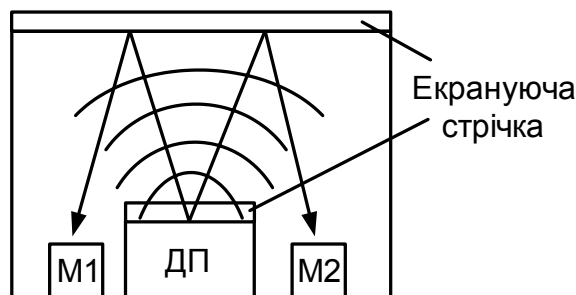


Рисунок 1.24 – Ефективність екранування до 90 %

1.8.2 Екранування проводів

При використанні проводів з екрануючими обплетеннями (рис. 1.25) необхідно мати на увазі, що екран різко підвищує ємність

проводу відносно корпусу; обплетення, яке не з'єднане з корпусом, ніякого екранування не дає; екрановані проводи громіздкі й незручні для монтажу.

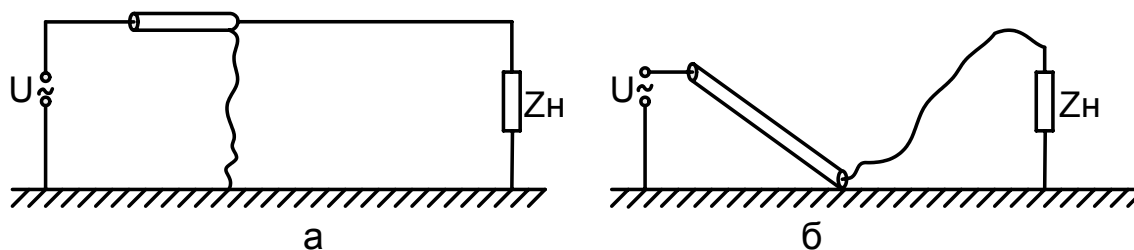


Рисунок 1.25 – Погане (а) і добре (б) екранування електричного поля провідника

Застосування проводів з екрануючим обплетенням потребує виконання таких рекомендацій:

1. Для того щоб захистити зовнішній простір від впливу електричного поля, необхідно особливо ретельно виконувати з'єднання обмотування з корпусом. Тут зовсім недопустимі з'єднувальні проводи будь-якої довжини. Підмикання обплетення повинно здійснюватися шляхом безпосереднього контакту, припаюванням або приварюванням до корпусу.

2. Екрановані проводи слід застосовувати для електричного з'єднання окремих блоків і вузлів один з одним. У цьому випадку екранування виконує такі функції: усуває взаємні паразитні наводки всередині багатоблокового пристрою; захищає ці пристрої від паразитних наводок з боку інших приладів; захищає інші поблизу розташовані пристрої від паразитних наводок з боку даного пристрою.

3. Кабелі, по яких проходять імпульсні сигнали з крутим фронтом або сигнали від джерела з великим внутрішнім опором, мають бути екрановані.

4. Необхідно, щоб сигнали низького рівня передавалися через екранований двожильний кабель, до того ж заземлення екрана слід виконувати з боку джерела сигналу.

5. Якщо пристрій складається з декількох вузлів, що знаходяться в окремих корпусах, то проводи між двома такими вузлами мають бути екрановані й об'єднані в один кабель (крім ланцюгів постачання), завдяки чому струми, що течуть у прямому й зворотному напрямках, будуть такими, що дорівнюють один одному, а результуюче магнітне поле буде нульовим.

6. Для захисту від низькочастотних магнітних полів перевага віддається сталевому обплетенню екранованого кабелю.

1.8.3 Захист конструкції від впливу електромагнітних перешкод

Перешкода – непередбачуваний при проектуванні ЕА сигнал, здатний спричинити небажану дію [18], виражену у вигляді порушення функціонування, пошкодження переданої або збереженої інформації тощо. Перешкодами можуть бути напруги, струми, електричні заряди, напруженість поля, іонізуючі випромінювання, змінні магнітні поля та ін. Джерела перешкод досить різноманітні за фізичною природою і поділяються на внутрішні, що спричинені роботою самої ЕА, й зовнішні [19].

Внутрішні перешкоди виникають усередині робочої апаратури. Джерелами електричних перешкод є блоки живлення, ланцюги розподілу електроенергії, термопари, потенціали, що виникають при терті, реле, двигуни, а особливо колекторні двигуни. Джерелами магнітних перешкод є трансформатори й дроселі, а також двигуни. При наявності пульсацій вихідної напруги вторинних джерел електричного живлення ланцюга розподілу електроенергії, тактуючі й синхронізуючі ланцюги варто розглядати як джерела електромагнітних перешкод. Внутрішніми перешкодами є перешкоди від неузгодженості хвильових опорів ліній зв'язку з вхідними й вихідними опорами модулів, які з'єднують ці лінії, а також перешкоди, що виникають при заземленні.

Під зовнішніми перешкодами розуміють перешкоди мережі електричного живлення, зварювальні апарати, щіткові двигуни, які передають ЕА тощо, а також перешкоди, спричинені розрядами статичної електрики, атмосферними й космічними явищами, ядерними вибухами. Дія на апаратуру зовнішніх перешкод за фізичною природою аналогічна дії внутрішніх перешкод. Приймачами перешкод є високочутливі підсилювачі, лінії зв'язку, магнітні елементи, характеристики яких змінюються під дією полів розсіювання джерел перешкод. Перешкоди потрапляють в апаратуру безпосередньо по проводах (гальванічна перешкода), через електричне (ємнісна перешкода), магнітне (індуктивна перешкода) або електромагнітне поля. Провідники, що входять до складу будь-якої апаратури, можна розглядати як приймально-передавальні антенні пристрої, що приймають або випромінюють електромагнітні хвилі (поля).

Гальванічний зв'язок виникає в результаті проходження струму й падіння напруг на електричних з'єднаннях конструкцій. На рис. 1.26 зображено схему, що складається з M_n модулів із загальною напругою живлення й загальним нульовим потенціалом (землею).

Припустимо, що з n модулів схеми функціонує останній модуль M_n , а інші перебувають у режимі очікування.

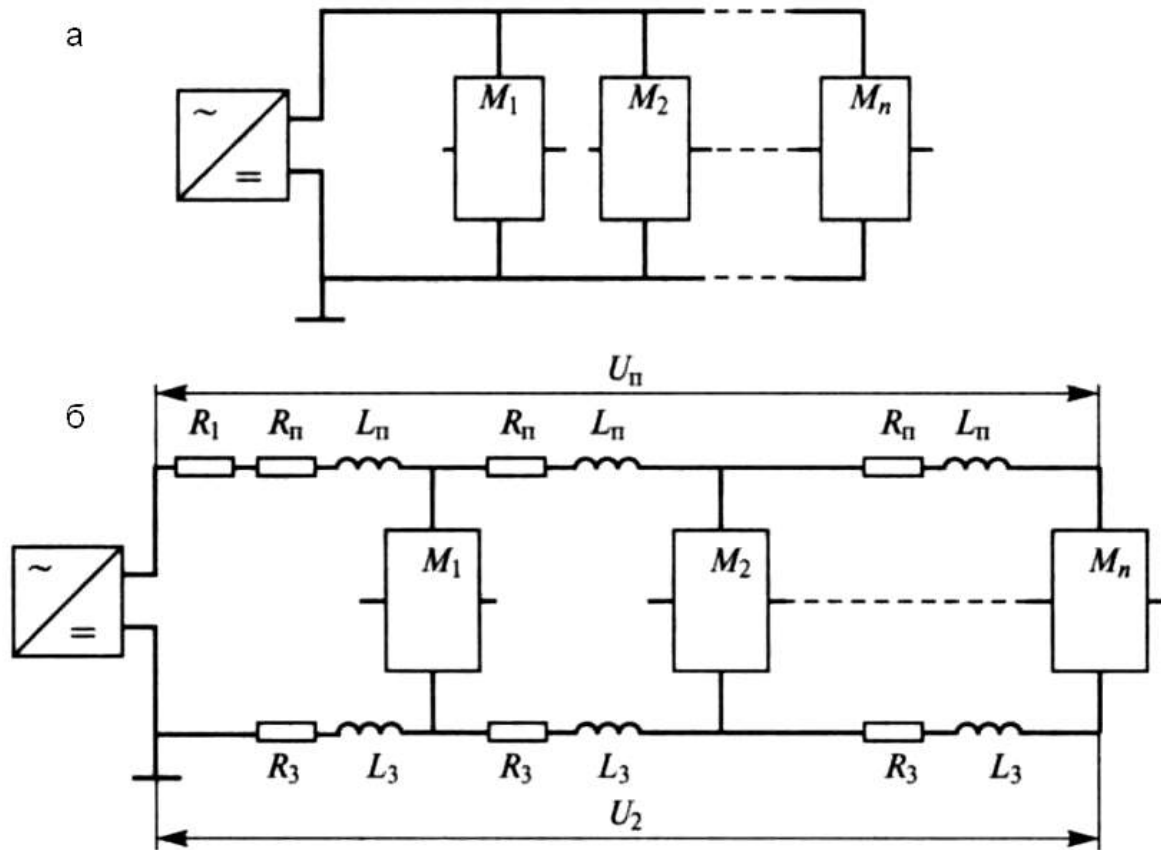


Рисунок 1.26 – Принципова (а) і розрахункова (б) схеми підведення живлення й заземлення:

R_1 – вихідний опір вторинного джерела живлення; R_n , R_3 – активний опір ділянки шини живлення й землі; L_n , L_3 – індуктивність ділянки шини живлення й землі

При проходженні струму до модуля M_n на шинах живлення й землі буде мати місце падіння напруг U_1 і U_n (гальванічна перешкода), які можуть позначитися на працездатності модулів $M_1 - M_{n-1}$. При функціонуванні одночасно декількох модулів схеми гальванічна перешкода значно зростає. Тому провідники, що об'єднують модулі в єдину систему, повинні бути по можливості короткими, а їхні поперечні перерізи – більшими, що призводить до зменшення активного опору й індуктивності проводів.

Радикальним способом усунення гальванічної перешкоди є усунення ланцюгів, по яких проходять спільні струми живлення й заземлення як чутливих до перешкод схем, так і нечутливих потужних схем.

Таким чином, по проводах, що об'єднують модулі в систему, передаються як корисні сигнали, так і сигнали-перешкоди. Ефективним схемним засобом селективного послаблення перешкоди за відсут-

ності ослаблення й спотворення сигналу є використання перешкодоподавляючих фільтрів. Таким чином, по проводах, що об'єднують модулі в систему, передаються як корисні сигнали, так і сигнали-перешкоди. Ефективним схемним засобом селективного послаблення перешкоди за відсутності ослаблення й спотворення сигналу є використання перешкодоподавляючих фільтрів.

Фільтри характеризуються частотою зрізу $f_{зр}$ і коефіцієнтом фільтрації K_{ϕ} , що дорівнює відношенню сигналу на вході й виході фільтра. Знаючи спектр частот корисного сигналу й перешкоди і задаючись ослабленням перешкоди до заданих значень (в ідеальному випадку до нуля), за характеристиками вибирають схему фільтра або використовують багатоланковий, що складається з декількох фільтрів.

Мережні фільтри – смугопропускаючі фільтри, що передають на вихід тільки частоту напруги мережі й не пропускають напруги інших частот. У схемі мережного фільтра, зображеного на рис. 1.27, конденсатор С1 послаблює протифазні,

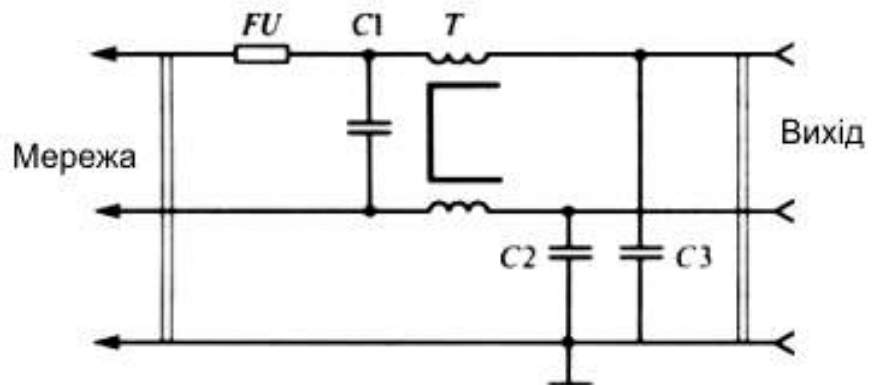


Рисунок 1.27 – Вхідний мережний фільтр

а конденсатори С2, С3 і трансформатор Т – синфазні перешкоди (симетричний трансформатор Т, який має однаковий напрямок намотувань і дає високий опір синфазним перешкодам і низький протифазним). Опір Т змінному струму частоти мережі фактично дорівнює активному опору його обмоток. Для захисту апаратури від перенапруги первинної мережі в схему мережного фільтра вводять газорозрядники, варистори, стабілітрони, запобіжники (FU).

Екрани підмикають в конструкції для ослаблення небажаного збурювального поля у деякому обмеженому обсязі до прийняттого рівня. Можливі два варіанти захисту. У першому випадку апаратура, що екранується, розміщується усередині екрана, а джерело перешкод - поза ним, у другому - екранується джерело перешкод, а апаратура, захищена від перешкод, розташовується поза екраном. Перший варіант використовують при захисті від зовнішніх перешкод, другий – від внутрішніх. В обох варіантах екрани використовують металеві оболонки.

В ЕА функцію екранів найчастіше виконують кожухи, панелі й кришки приладів, блоків і стійок. При виборі матеріалів і розрахунку товщини крім міркувань ефективності екранування необхідно враховувати вимоги забезпечення механічної міцності, твердості, надійності з'єднання окремих елементів, а також мінімум маси. Отвори й щілини в екранах, як було зазначено вище, зменшують ефективність екранування, тому, конструюючи екрани, їх необхідно звести до мінімуму. Однак повністю позбутися їх неможливо. Щілини виникають, якщо апаратура захищається кришками й панелями (лицьовими, монтажними та ін.), що встановлюються й закріплюються на каркасі. Отвори вводяться в кожух для установлення з'єднувачів, елементів керування, індикації, забезпечення нормального теплового режиму. Ефективність екрана не погіршиться, якщо в його конструкції виконані отвори, максимальні розміри яких не перевищують $1/2$ мінімальної довжини хвилі сигналу, що екранується. Щоб перешкода не проникала через вентиляційні отвори, на внутрішніх поверхнях кожухів з отворами закріплюється металева сітка з розміром кроку не більше $1/2$ мінімальної довжини хвилі перешкоди.

Принцип дії електричного екрана розглянемо на прикладі (рис. 1.28), коли між джерелом перешкоди «Д» електричного поля (провідник, по якому проходить струм) і входною-вихідною лініями модуля має місце ємнісний зв'язок на входну $C_{1д}$ і вихідну $C_{2д}$ лінії підсилювача (рис. 1.28, а), що призводить до спотворення як входного, так і вихідного сигналу. Результатом введення в конструкцію заземленого екрана Е високої провідності (рис. 1.28, б) буде поява паразитних ємностей на екрані джерела перешкоди $C_{3д}$, входній C_{13} і вихідній C_{23} лініях.

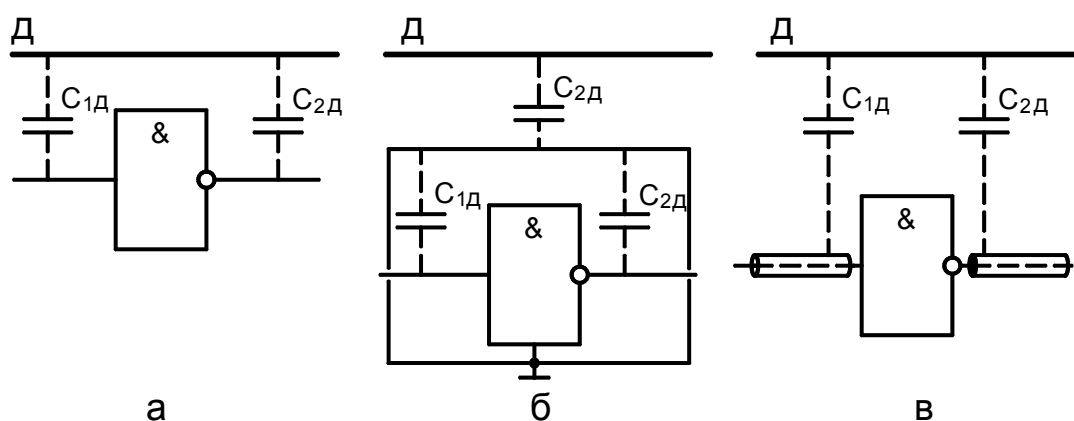


Рисунок 1.28 – Модуль під впливом електричного поля (а), модуль, захищений екраном (б), модуль, захищений екранованим проводом (в)

Джерело перешкод буде заземленим через ємність $C_{зд}$, а вхід і вихід схеми – навантаженими на ємності $C_{1д}$ і $C_{2д}$, що має враховуватися розробником при оцінюванні параметрів і характеристик схеми.

Тих же результатів для даного прикладу можна досягти, використовуючи замість загального екрана екрановані проводи для вхідної й вихідної ліній (рис. 1.28, в). Більше того, оскільки вхідний сигнал схемою підсилювача збільшується багаторазово, то найчастіше виявляється достатнім екранувати тільки вхідний ланцюг. Для усунення гальванічної перешкоди екран проводів необхідно заземлювати в одній точці, як це показано на схемі рис. 1.28, в.

При виконанні ліній передачі схем печатним способом (рис. 1.29) вводяться екрануючі траси 1, що комутують із шиною нульового потенціалу (землею) 2 і виконують функції екранів проводів. Якщо джерело перешкоди «Д» розташоване на сусідній платі, то захист схеми екрануючою трасою неможливий.

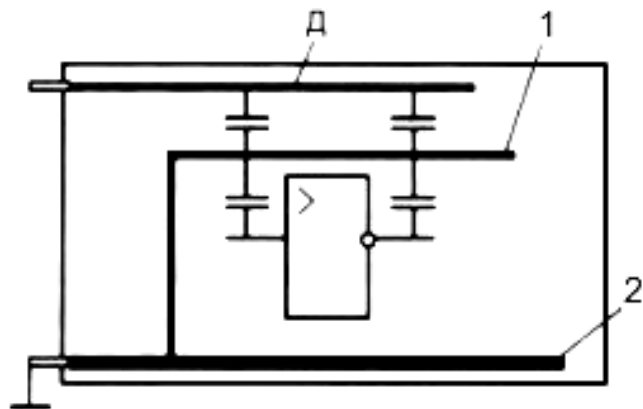


Рисунок 1.29 – Екранування печатних провідників

На рис. 1.30 показано блок із трьох плат (незаштриховані), які установлені у з'єднувачі монтажної панелі 2. Ліва й центральна плати захищені екранами у вигляді заземленої провідної пластини 1. З правого боку блока екрануюча пластина відсутня, а чутливу до перешкоди область плати з радіокомпонентами захищають коробчастим екраном 3, який обов'язково заземлюють.

У багатошарових ПП (БПП) функцію екрана виконують суцільні шари фольги з нульовим потенціалом, тому в блоці, який використовує БПП, необхідність у екрануючих пластинах відпадає.

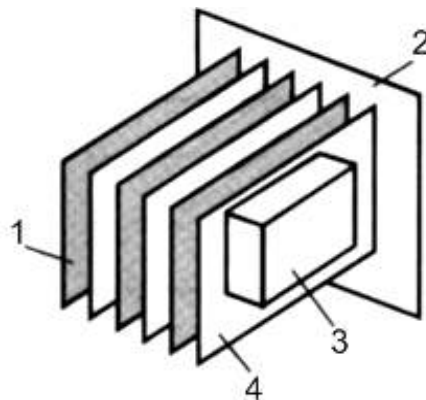


Рисунок 1.30 – Екранування печатних плат:

1 – провідна пластина; 2 – монтажна панель; 3 – коробчастий екран; 4 – печатна плата з радіокомпонентами

Таким чином, захист від електричного поля зводиться до введення в конструкцію заземлених металевих оболонок, пластин, трас, суцільних металевих шарів БПП довільної товщини й високої електричної провідності. Екрани слід заземлювати масивними короткими провідниками з мінімальним індуктивним опором.

При виконанні екрана з окремих конструктивних елементів необхідно особливу увагу приділяти електричному зв'язку між елементами й загальним заземленням. Завдання екранування магнітного поля зводиться до зменшення або повного усунення індуктивного зв'язку між джерелом і приймачем перешкоди. Якщо магнітний потік перетинає контур, утворений провідником (провідниками), то в контурі виникає перешкода. Значення напруги, що індукується перешкодою, обчислюють за формулою

$$U = -S \frac{dB}{dt},$$

де B - магнітна індукція, Тл; S - площа контура, м².

Для повного усунення або зменшення напруги перешкоди, що наводиться у контурі, необхідно:

- розмістити контур в екран;
- орієнтувати його так, щоб магнітні силові лінії поля не перетинали контур, а проходили уздовж нього;
- зменшити площу контуру.

Магнітні екрани виконують як з феромагнітних, так і немагнітних металів. Феромагнітні матеріали з великою відносною магнітною проникністю μ мають малий магнітний опір, у результаті чого лінії магнітного поля будуть шунтовані матеріалом екрана, і простір усередині екрана не буде піддаватися впливу магнітного поля (рис. 1.31). Стрілками на рисунку показано напрямки впливу магнітного поля [15].

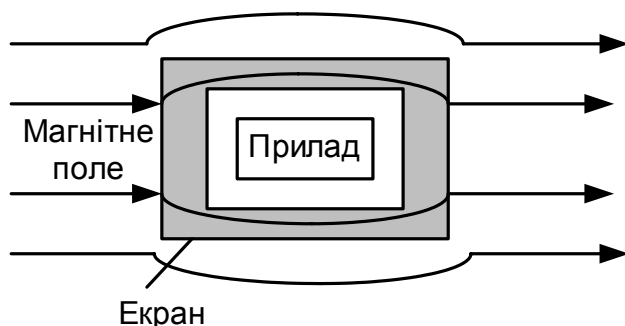


Рисунок 1.31 – Феромагнітний екран

Магнітне екранування тим ефективніше, чим більше магнітна проникність екрана і його товщина. Однак якщо напруженість магнітного поля стане такою, що дорівнює коерцитивній силі матеріалу екрана або перевищить її, то

відбудеться намагнічування до насичення. Коли насичений шар дося-

гне внутрішньої поверхні стінки екрана, магнітне поле з'явиться усередині простору, що екранується. При виборі матеріалу екрана необхідно пам'ятати про те, що магнітна проникність зі збільшенням частоти поля зменшується й це позначається на ефективності екранування. Феромагнітні матеріали ефективно захищають апаратуру в діапазоні частот від 0 до 10 кГц. Дія екрана з немагнітного металу основана на витисненні зовнішнього магнітного поля із внутрішнього простору приладу матеріалом екрана. Зовнішнє змінне магнітне поле створює індукційні вихрові струми в екрані, а ті, у свою чергу, - магнітне поле, яке спрямоване назустріч зовнішньому полю усередині екрана, а за екраном - разом з напрямком зовнішнього (збурювального) поля (рис.1.32).

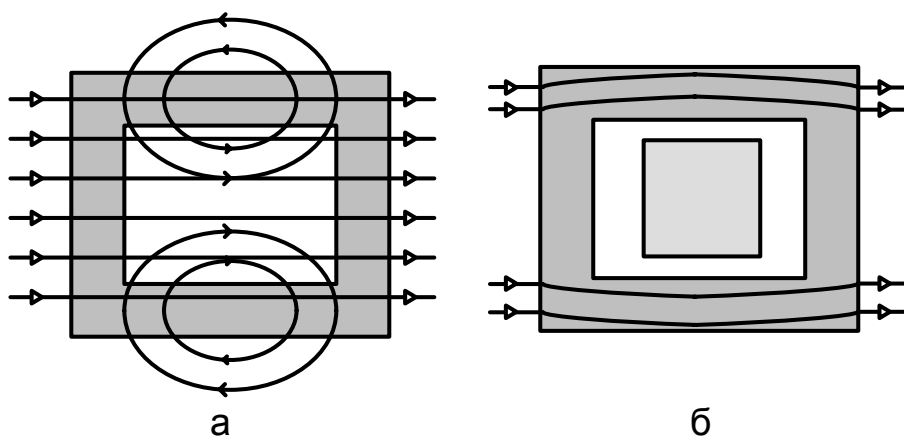


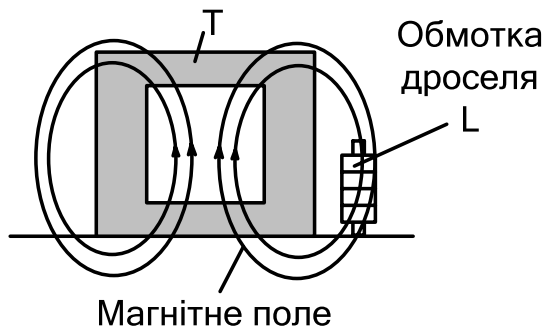
Рисунок 1.32 – Екранування магнітним екраном:
 а – лінії поля вихрових струмів; б – магнітне поле проходить тільки по матеріалу екрана і захищає прилад

В екранах з немагнітних металів ефективність екранування підвищується зі збільшенням товщини й провідності матеріалу екрана. Магнітне поле частотою понад 10 МГц досить надійно екранується, якщо на діелектричний кожух наноситься мідне або срібне покриття товщиною не більше 100 мкм.

Товщина немагнітного екрана може в кілька разів перевищити товщину феромагнітного, що на фіксованій частоті забезпечує однакове ослаблення. При екрануванні магнітного поля заземлення екрана не є обов'язковим, оскільки воно не впливає на якість екранування.

Однак перед тим як конструювати екран, необхідно передбачити всі заходи, щоб позбутися перешкоди більш простим і дешевим способом. Наприклад, у вторинному джерелі живлення мають місце мережний трансформатор Т і дросель фільтра L (рис. 1.33), які звичайно розташовують разом. Поле розсіювання Т захоплюється магнітопро-

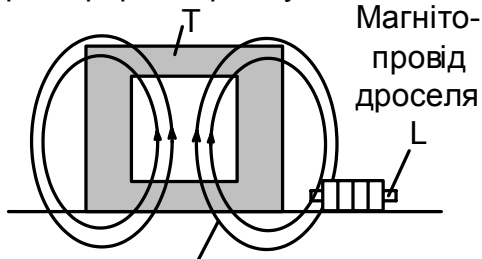
Трансформатор потужності



Магнітне поле

Рисунок 1.33 – Наведення мережної перешкоди трансформатором

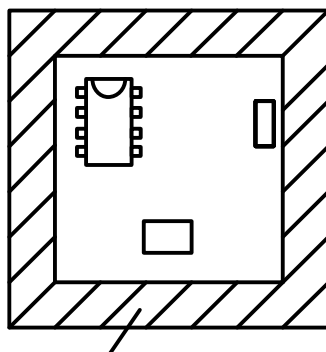
Трансформатор потужності



Магнітне поле

Рисунок 1.34 – Наведення мережної завади трансформатором у магнітопроводі дроселя

дукційний струм, що виникає у замкнутому контурі, має такий напрям, що створюваний ним магнітний потік прагне компенсувати зміну магнітного потоку, який спричиняється цим струмом.



Металізований обід

Рисунок 1.35 – Екран - металізований обід по контуру печатної плати

водом дроселя й у дроселі наводиться значна мережна перешкода (рис. 1.33), оскільки лінії поля Т спрямовані ортогонально виткам обмотки L. Перешкоду можна зменшити, розмістивши Т і L якомога далі один від одного, або повністю виключити, орієнтуючи дросель так, щоб силові лінії поля Т проходили уздовж витків обмотки дроселя (рис. 1.34).

Зменшення площі контуру, пересіченого силовими лініями магнітного поля, отримують укладенням сигнальних провідників безпосередньо по заземлених монтажних панелях модулів.

Захисним екраном від дії магнітного поля може служити печатна траса (металізований обід) по контуру плати, що з'єднується з землею пристрою (рис. 1.35). Індукційний струм, що виникає у замкнутому контурі, має такий напрям, що створюваний ним магнітний потік прагне компенсувати зміну магнітного потоку, який спричиняється цим струмом.

У результаті цього схема на платі всередині контуру не буде піддаватися впливу паразитного магнітного поля.

Електромагнітне екранування охоплює діапазон частот від 1 кГц до 1 ГГц. Дія електромагнітного екрана основана на відбитті електромагнітної енергії і її загасанні у товщі екрана. Як видно з рис. 1.36,

електромагнітна енергія W відбивається на межі діелектрик-екран $W_{ДЕ}$ і екран-діелектрик $W_{ЕД}$, загасає у товщі екрана W_E і частково проникає у простір $W_{П}$, що екранується.

Екранування поглинанням пояснюється тепловими втратами на вихрові струми в матеріалі екрана, екранування відбиттям - невідповідністю хвильових параметрів матеріалу екрана й навколишнього середовища.

Для нижньої границі частотного діапазону більш дієвим є відбиття, для верхньої границі - поглинання електромагнітної енергії.

Електромагнітне екранування виконується як немагнітними, так і магнітними металами. Немагнітні метали високої провідності можна ефективно використати в низькочастотній частині спектра, феромагнітні матеріали високої магнітної проникності й електричної провідності - в усьому частотному діапазоні електромагнітного поля. Товщина екрана має бути якомога більшою.

При електромагнітному екрануванні можна дати такі рекомендації з вибору матеріалів. Для частот менше 1 МГц добрі результати дають мідні й алюмінієві екрани, а при частотах вище 1 МГц - екрани зі сталі. Однак найкращі результати можна одержати при застосуванні багат шарових екранів - шарів, що чередуються послідовно магнітними і немагнітними металами. Можливі різні варіанти матеріалів шарів: мідь-пермалой-мідь, пермалой-мідь, мідь-сталь-мідь та ін. Введення повітряного проміжку між шарами в 20...40 % сумарної товщини екрана поліпшить ефективність екранування. При захисті апаратури від зовнішнього поля матеріал з низькою магнітною проникністю поміщають ззовні, а з високою - всередину.

Якщо екран захищає джерело електромагнітного поля, то матеріал з низькою магнітною проникністю повинен бути внутрішнім шаром, а з високою магнітною проникністю - зовнішнім.

У табл. 1.12 наведено властивості немагнітних, а в табл. 1.13 - магнітних металів.

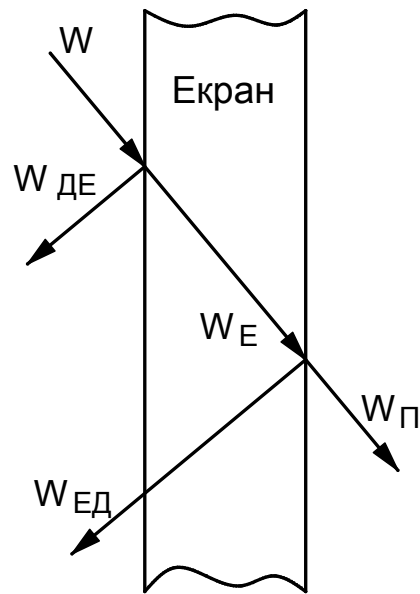


Рисунок 1.36 – Електромагнітний екран

Таблиця 1.12 – Немагнітні матеріали екранів

Матеріал	Густина, кг/м ³	Питомий опір, Ом·мм ² /м	Відносна вартість
Алюміній	2700	0,028	0,29
Латунь	8700	0,06	0,85
Мідь	8890	0,0175	0,6
Магній	1740	0,042	0,36
Срібло	10500	0,018	34,0
Цинк	7140	0,059	0,17

З немагнітних матеріалів з позицій мінімальної вартості й маси найкращі властивості має магній, але він схильний до корозії, а шар, що утворить окисли, погіршує контакт екрана з корпусом приладу. Цинк дешевше за мідь, має меншу густина, але м'який. Латунь за своїми параметрами займає середнє положення серед матеріалів, але завдяки відмінним антикорозійним властивостям і стабільності опору електричного контакту її можна рекомендувати для широкого застосування як матеріал для екранів.

Таблиця 1.13 – Немагнітні матеріали екранів

Матеріал	Густина, кг/м ³	Питомий опір, Ом·мм ² /м	Магнітна проникність $\mu \cdot 1,26 \cdot 10^6$, Гн/м	Індукція, Тл	Напруженість, А/м
Нікель	8900	0,1	20000	0,85	30
Залізо	7880	0,098	1000	1,70	27
Сталь Э310	7750	0,5	1000	1,75	10
Пермалой:					
45Н	8180	0,55	2000	1,50	20
79НМ	8750	0,50	10000	0,75	5

Якби не низька корозійна стійкість заліза, воно було б найкращим матеріалом для магнітних екранів. В ЕА поширені екрани зі сталі, феритів і пермалоїв. Сталеві екрани з малою початковою магнітною проникністю забезпечують мале, але постійне екранування як на низьких частотах, так і на частотах до десятків кілогерців. Екрани з пермалоїв з високою початковою проникністю дозволяють одержати ефективне екранування, але у вузькому діапазоні частот – від нуля до

декількох сотень герців. Зі збільшенням частоти зростають вихрові струми екрана, які витісняють магнітне поле з товщі екрана й зменшують його магнітопровідність, що позначається на ефективності екранування.

Розрахунки екранів зводяться до визначення ослаблення небажаного поля усередині простору, що екранується, при обраному матеріалі й товщині стінки екрана.

1.8.4 Заземлення елементів конструкції

Стабільна робота електричної схеми в реальних конструкціях можлива тільки за умови надійного з'єднання елементів монтажу з корпусом пристрою [16]. Існує два способи з'єднання електричної схеми з корпусом:

1) кожна точка електричної схеми, яка має нульовий потенціал, з'єднується за допомогою проводу або шини з найближчою точкою корпусу;

2) точку заземлення на конструкції вибирають з урахуванням стійкої роботи схеми.

У першому варіанті на ПП, касетах, з'єднувальних комутаційних платах виконують розвинуту металізовану поверхню, до якої приєднують виводи мікросхем та інші елементи, а саму металізовану поверхню з'єднують з корпусом приладу.

Цей спосіб з'єднання схеми з корпусом приладу використовують у більшості РЕА.

Другий варіант з'єднання застосовують у високочастотній вимірювальній апаратурі, яка працює на високих частотах.

Для зменшення впливу паразитних наводок у вимірювальній апаратурі прокладають «земляну» шину, як правило, товстий мідний дріт або стрічку прямокутного перерізу (товще 3 мм), яку закріплюють на ізоляторах, а один її кінець з'єднують з корпусом. До цієї шини підмикають усі точки схеми з нульовим потенціалом. Шину приєднують до корпусу з алюмінієвого сплаву за допомогою холодного зварювання тиском. При її механічному кріпленні використовують гвинти з діаметром нарізки не менше 4 мм.

Варіантами заземлювальних з'єднань з корпусом можуть бути «земляні» контакти за ОСТ 4ГО.773.000 (рис. 1.37).

Біметалеві контакти - другий тип конструкцій «земляних» контактів (рис. 1.38); контакти, вирубані з корпусу блока (рис. 1.39); контактні пелюстки (рис. 1.40); самонарізні гвинти з наступним паянням їх

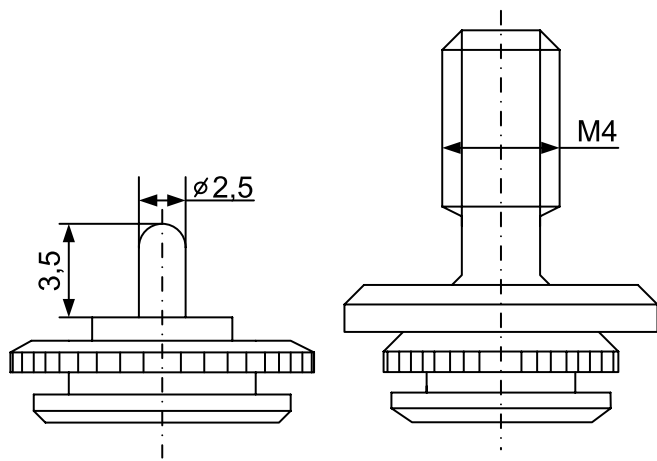


Рисунок 1.37 – Приладові контакти заземлення: а – для круглого монтажного проводу; б - з'єднання проводу з наконечником за допомогою гайки

конусової головки до пелюстки (рис. 1.41); швелерні наконечники (рис. 1.42); затискачі заземлення (рис. 1.43).

“Земляні” контакти (ОСТ 4ГО.773.000) використовують, якщо несуча конструкція виконується з матеріалів, одержаних прокатом, товщиною не менше 1,4 мм. Заземлюючі пелюстки, вирубані в корпусі шасі, застосовуються для шасі з тонколи-

стового матеріалу (товщиною не більше 1 мм).

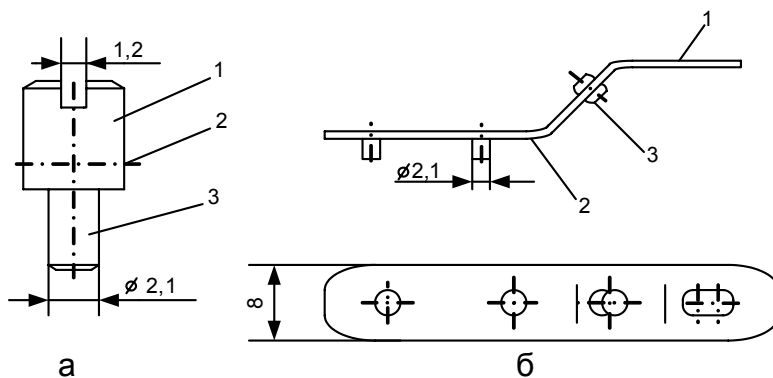


Рисунок 1.38 – Біметалеві контакти: а – контакти типу “стовпчик”; б – пластинчастий контакт: 1 – мідь, покрита припоєм ПОС 61; 2 – алюмінієвий сплав; 3 – місце зварювання

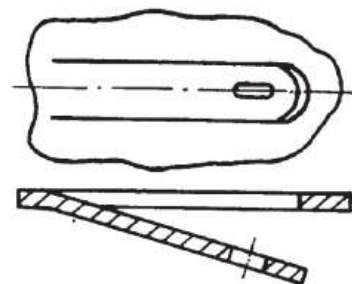


Рисунок 1.39 – Контактна пелюстка, одержана вирубкою листового матеріалу

Контактні пелюстки з плакованого алюмінію товщиною до 1,5 мм використовуються в корпусах, виготовлених штампуванням з алюмінієвих або магнієвих листових матеріалів або виконаних методом лиття. Із литим магнієвим корпусом контактний елемент з'єднують сталевим самонарізним гвинтом з наступним паянням його конусової головки до пелюстки. Швелерні наконечники застосовуються при великих струмах (більше 5 А), які проходять через контактний елемент заземлення.

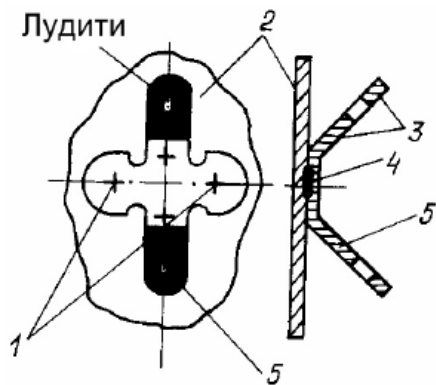


Рисунок 1.40 – Контакт пелюсток з плакованого алюмінію, що з'єднується з алюмінієвим корпусом точковим контактним електрозварюванням: 1 – місце зварювання; 2 – корпус; 3 – лужена ділянка пелюстки; 4 – плакований шар міді; 5 – пелюстка

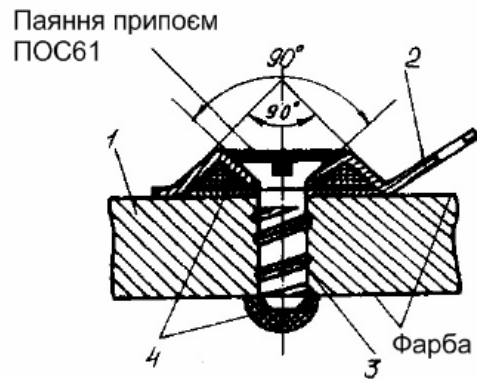


Рисунок 1.41 – Приєднування пелюстки до литого корпусу самонарізними гвинтами: 1 – корпус; 2 – пелюстка; 3 – гвинт; 4 – компаунд ЕЗК-6

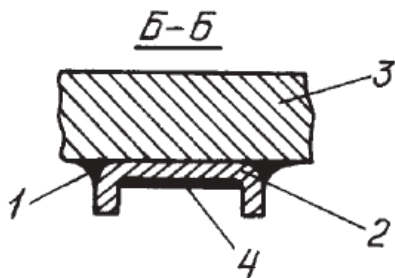


Рисунок 1.42 – З'єднання швелерного наконечника з алюмінієвим корпусом: 1 - компаунд ЕЗК-6; 2 – швелерний наконечник; 3 – корпус; 4 – плакувальний шар міді

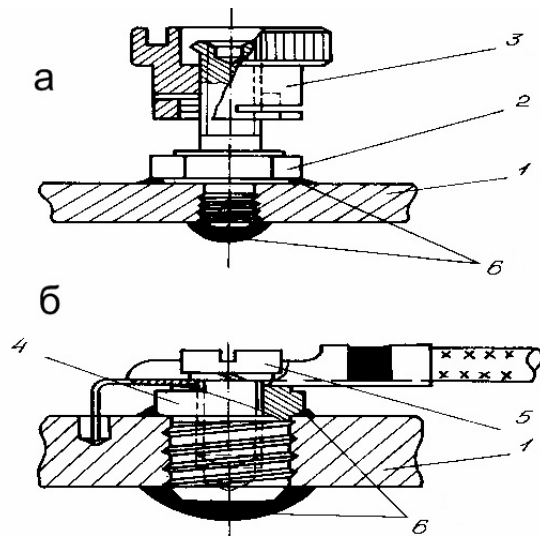


Рисунок 1.43 – Рознімні затискачі заземлення: а – легко розбірний затискач; б – затискач під викрутку; 1 – корпус; 2 – гвинт-затискач у тілі корпусу; 3 – гайка-затискач; 4 – гніздо-затискач у тілі корпусу; 5 – гвинт-затискач; 6 – компаунд ЕЗК 6

Затискачі бувають двох типів: легко розбірні (див. рис. 1.38, а),

що відкручуються рукою, і розбірні (див. рис. 1.39, б), що відкручуються викруткою.

Конструкції контактів, їх установлення на елемент корпусу блока і приєднання до них проводів повинні відповідати ОСТ 4ГО.773.000, ОСТ 4ГО.483.000, ОСТ 4 209.004-78, а конструкція й розміри приладових шин заземлення - ОСТ 4ГО.483.001.

Як шини заземлення використовують багатожильні проводи або шини зі смужок міді (при великих струмах). При установленні приладів на віброізоляторах заземлення виконують гнучкими шинами, які не порушують еластичність віброізоляторів.

1.8.5 Застосування фільтрувальних чарунок

Для зниження напруги високочастотних наводок у проводах, які виходять з екрана, у ці проводи вмикають фільтрувальні (розв'язувальні) чарунки, що складені з опорів, увімкнених послідовно в один із проводів, і опорів, увімкнених паралельно між проводом і екраном (корпусом) (рис. 1.44).

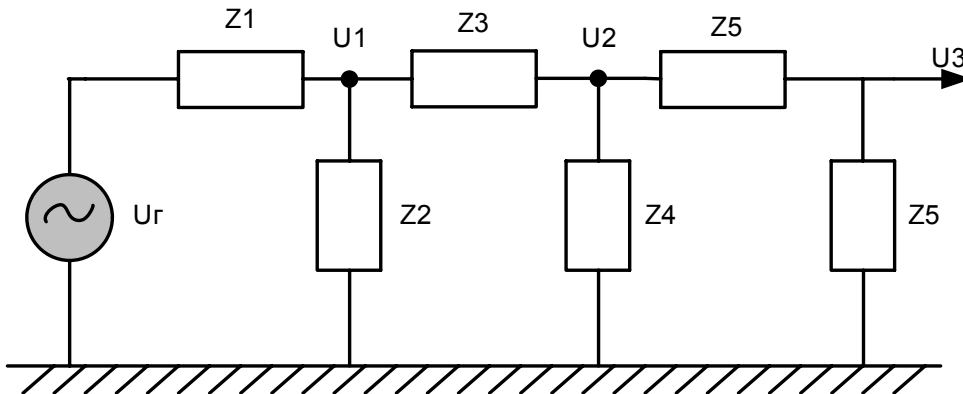


Рисунок 1.44 – Загальна схема фільтрувального ланцюга

При конструюванні фільтрувальних чарунок необхідно враховувати такі рекомендації:

1) як послідовні опори Z_1, Z_3, \dots фільтрувального ланцюга застосовуються недротові постійні резистори (значної величини); коли неприпустимо увімкнення великих опорів, застосовуються котушки індуктивності (дроселі);

2) коли не допускається увімкнення великих опорів, встановлюються котушки індуктивності (дроселі);

3) у фільтрувальних чарунках не слід використовувати великі індуктивності, а їх власну резонансну частоту треба підбирати так, щоб

вона була вища або не більш ніж на 20 ... 30% нижче за найвищу з частот, що пригальмовуються;

4) найдоцільніше застосовувати одношарові дроселі, що намотуються на стрижні з магнітодіелектрика;

5) для збільшення опору послідовної дросельної частини фільтра необхідно з обох кінців кожного високочастотного дроселя вмикати блокувальний конденсатор;

6) на більш низьких частотах можна обійтись без першого конденсатора й починати формувати фільтр з боку джерела наводки з дроселя, якщо заздалегідь відомо, що власна резонансна частота дроселя вища за частоту, що фільтрується;

7) як паралельні опори Z_2, Z_4, \dots застосовуються конденсатори, за допомогою яких створюється мінімально можливий опір паралельних гілок фільтрувальних чарунок;

8) використовуються такі типи конденсаторів: паперові конденсатори великої ємності (на низьких частотах і в діапазоні довгих хвиль), слюдяні, керамічні, плівкові, керамічні та паперові прохідні конденсатори (на коротких і ультракоротких хвилях);

9) під час фільтрації у широкому діапазоні частот практикується паралельне підключення конденсаторів різних типів;

10) для раціонального конструювання фільтрувальних чарунок слід керуватися такими правилами: а) якщо фільтрувальний ланцюг проводить великий струм при низькій напрузі, то необхідно застосовувати фільтрувальні чарунки з малими індуктивностями й великими ємностями; б) якщо фільтрувальний ланцюг працює на високій напрузі, то застосовують максимально допустимі індуктивності або опори й невеликі ємності; в) при виборі схеми й конструкції фільтрувальних чарунок слід добиватися мінімальної кількості деталей в них;

11) розв'язувальні фільтри у високочастотних та імпульсних схемах для зменшення наводок по ланцюгах постачання треба встановлювати безпосередньо біля активного елемента;

12) для проводів, які підходять до контактів, що замикають реле, і перемикачів, а також для проводів постачання слід розміщувати ланцюги фільтрації безпосередньо біля стінки корпусу.

1.8.6 Забезпечення перешкодостійкості печатних плат електронних модулів

Широке застосування логічних і аналогових мікросхем різного рівня інтеграції і мікроборок (МЗ) становить проблему забезпечення

перешкодостійкості як самих функціональних вузлів, так і печатних плат модулів. До причин виникнення паразитних перешкод в електронній апаратурі можна віднести такі: перехресні наводки між сигнальними лініями зв'язку; паразитні зв'язки між інтегральними мікросхемами (ІС) на ланцюгах постачання і заземлення; викривлення форми сигналу в ІС і лініях зв'язку; наводки від зовнішніх електричних, магнітних і НВЧ електромагнітних полів та ін. Зв'язок між джерелом і приймачем наведення через загальний опір, що є видом паразитного зв'язку, який зустрічається найчастіше, може виникнути при використанні для приєднання до корпусу пелюстки загального проводу, невдалої конфігурації печатного провідника. На рис. 1.45 показано ділянки, на яких виділяється напруга наведення.

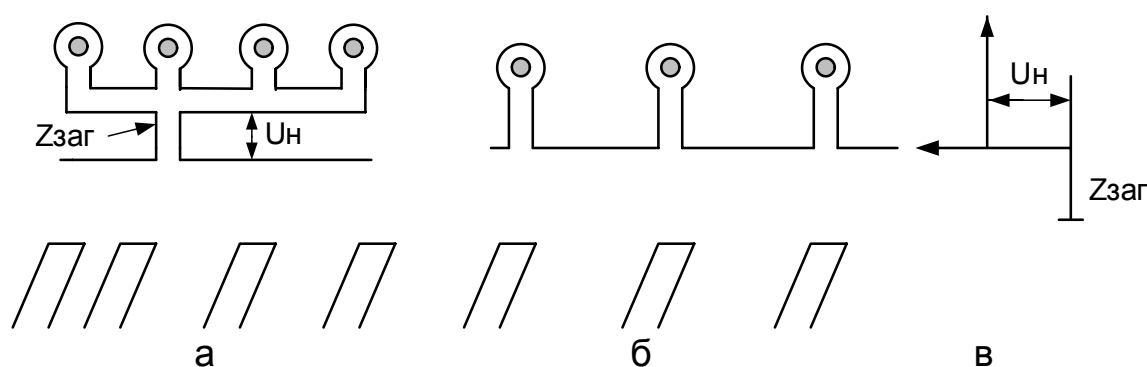


Рисунок 1.45 – Ділянки провідників, на яких виділяється напруга наведення

Печатні провідники, шини постачання та заземлення при суворому геометричному розташуванні на одній поверхні (двосторонніх печатних плат) або на декількох суміжних площинах (багатошарових печатних плат (БПП)) утворюють конструктивні конденсатори й обмотки, які мають ємнісні й індуктивні параметри і спричиняють утворення паразитних зв'язків на печатних платах. Паразитні зв'язки на печатних платах при досягненні ними великих значень можуть створювати перебої і хибні спрацьовування логічних ІС, МС.

Паразитні ємності між печатними провідниками, паразитна індуктивність цих провідників і довжини шин заземлення не повинні перевищувати допустимих значень, що розраховуються (див підрозд. 2.4).

Можна виділити такі основні заходи зниження рівнів перешкод і підвищення перешкодостійкості печатних плат:

– при конструюванні з'єднувачів і монтажу дротів слід виконувати вимоги раціонального розведення печатних плат і блоків з ураху-

ванням перешкодостійкості;

- рівень перешкод у печатних платах можна знизити за допомогою площин екрана між шарами (для БПП), використовуючи їх одночасно як шини заземлення;

- коефіцієнти зв'язку між паралельними провідниками необхідно зменшувати, а властивості провідників на печатних платах наближати до властивостей смугових ліній;

- паразитні зв'язки між паралельними печатними провідниками можуть бути зменшені за рахунок введення між ними екранних заземлених провідників (часткового екранування);

- при розміщенні ІС, МС на печатних платах рекомендується встановлювати їх корпуси безпосередньо біля кінцевих контактів і забезпечувати мінімальну довжину з'єднувальних провідників між ними;

- у процесі компонування корпусів ІС на платі й розведення печатних провідників слід збільшувати відстань між сусідніми провідниками і розміщувати провідники в сусідніх шарах у взаємно перпендикулярних напрямках;

- довжини провідників не повинні перевищувати допустимих значень, що визначаються з умови перешкодостійкості мікросхем [15];

- за наявності в модулях і мікрозборках незадіяних кінцевих контактів їх з'єднують з шинами заземлення й розміщують між сигнальними виводами;

- для зниження рівня перешкод, зумовлених індуктивністю шин постачання й заземлення, рекомендується збільшувати ширину шин постачання й заземлення до 5 мм, розташовуючи їх один під одним на сусідніх шарах або виконуючи їх у вигляді суміжних площин;

- у випадку перевищення рівня перешкод понад допущені для ІС норми на печатних платах встановлюють конденсатори фільтрів низької і високої частот;

- конденсатори фільтра НЧ розміщують по одному на кожний номінал напруги живлення у безпосередній близькості від електричного з'єднувача на печатній платі.

1.8.7 Причини виникнення паразитних перешкод в ЕА

1.8.7.1 Власна ємність та індуктивність

Перешкоди також можуть проникати в схему завдяки ємностям та індуктивностям, які утворюються доріжками печатних плат і радіокомпонентами [20, 15, 16, 19]. Розглянемо декілька таких варіантів.

Ємність обов'язково виникає там, де є два заряджених тіла, що є провідниками, між якими існує різниця потенціалів. Між двома тілами, що перебувають під різним електричним потенціалом, обов'язково виникає електричне поле. Енергія, що запасається в цьому полі, надходить від джерела, що створює різницю потенціалів. Оскільки потужність джерела живлення не нескінченна, тому для досягнення сталої різниці потенціалів у такій системі потрібен певний час. Ємність є мірою того, наскільки швидко різниця потенціалів між двома об'єктами із провідністю, що заряджаються від зовнішнього джерела електричної енергії, досягає сталого значення.

Структури, які здатні при низькій різниці потенціалів накопичувати велику енергію електричного поля, наприклад дві пластини із провідністю, що розташовані паралельно одна одній, мають велику ємність. Отже, перехідна характеристика конденсатора як структури має наростаючий характер. У початковий момент часу, коли виникає східчастий стрибок напруги, конденсатор поглинає велику кількість енергії, що накопичується в електричному полі й зосереджена в ньому. Початковий струм через конденсатор досить великий і відношення $Y(t)/I(t)$ дуже мале. На самому початку перехідного процесу на короткому проміжку часу конденсатор поводить себе як короткозамкнений ланцюг. Із часом відношення $Y(t)/I(t)$ зростає. Зрештою електричний струм падає практично до нуля, і конденсатор починає діяти як розрив ланцюга. В усталеному режимі через конденсатор проходить тільки невеликий струм витоку, зумовлений неідеальністю діелектрика, що заповнює простір між обкладками конденсатора. Відношення $Y(t)/I(t)$ стає дуже великим.

Перехідні характеристики різних радікомпонентів можуть мати ємнісний характер в одному масштабі часу й індуктивний - в іншому масштабі часу. Наприклад, виводи конденсаторів звичайно мають індуктивність, якої виявляється досить для того, щоб на дуже високих частотах елемент поведився цілком як індуктивний. На перехідній характеристиці такого конденсатора в початковий момент часу з'являється невеликий імпульс тривалістю усього в кілька сотень пікосекунд (зумовлений індуктивністю виводів), після спаду якого починається звичайне зростання перехідної характеристики, що відповідає ємнісному характеру елемента. Якщо тривалість фронту східчастого стрибка напруги на виході джерела сигналу занадто велика, то спостерігачу не вдасться розглянути на перехідній характеристиці цей індуктивний викид. Оскільки цей викид дуже короткий, його також не вдасться помітити, якщо швидкість розгортки осцилографа обрана занадто низькою. Потрібно подумати над цією цікавою ідеєю. Підбираючи трива-

лість фронту вхідного сигналу й швидкість розгортки осцилографа, можна за видом перехідної характеристики елемента ланцюга в заданому масштабі часу визначити характер його поведження в певному діапазоні частот. Якщо тривалість фронту східчастого сигналу на виході джерела дорівнює приблизно T_r , то початкова коротка ділянка перехідної характеристики, що дає інформацію про величину імпедансу елемента ланцюга на такій частоті, що приблизно дорівнює F_A :

$$F_A \approx \frac{0,5}{T_r}, \quad (1.35)$$

де T_r – тривалість фронту східчастого сигналу на виході джерела; F_A – оцінка частоти, отримана на рівні якісного аналізу.

Візуально усереднюючи поведження перехідної характеристики елемента в широкому інтервалі часу, можна оцінити величину його імпедансу на більш низьких частотах. Для розрахунку наближеної оцінки частоти, що відповідає інтервалу усереднення T_r , можна використовувати формулу (1.35). В усталеному режимі амплітуда перехідної характеристики надає інформацію про величину імпедансу на постійному струмі.

Використовуючи східчастий сигнал з тривалістю фронту T_r , неможливо обґрунтовано судити про характер поведження елемента в діапазоні частот, що перевищують F_A . Потрібно перевірити, щоб тривалість фронту тестового східчастого сигналу була досить короткою для виявлення тих особливостей поведження перехідної характеристики, які необхідно було б досліджувати.

Власна індуктивність - це поняття, нерозривно пов'язане з електричним струмом. Енергія, що запасується в магнітному полі, створюваному електричним струмом, забезпечується за рахунок зовнішнього джерела електричної енергії, яке збуджує цей струм. Оскільки потужність зовнішнього джерела не нескінченна, на досягнення сталого значення струму потрібен певний час. Індуктивність є мірою того, наскільки швидко відбувається перехідний процес наростання або спаду електричного струму.

Із часом відношення $Y(t)/I(t)$ зменшується. Зрештою напруга на індуктивності падає майже до нуля, індуктивність починає діяти як короткозамкнений ланцюг. В усталеному режимі сила струму через котушку індуктивності обмежена тільки активним опором провідника котушки на постійному струмі. У цьому режимі відношення $Y(t)/I(t)$ зменшується практично до нуля. У такому спрощеному вигляді можна подати властивості всіх радіокомпонентів. Це дасть можливість швидко

й наочно розрахувати перехідні процеси й поведінку напруги або струму в різних схемах.

1.8.7.2 Взаємна ємність

Як видно з попереднього підрозділу, між ланцюгами завжди існує взаємний ємнісний зв'язок. Електричні поля, створювані напругами, що діють в одному ланцюзі, впливають на інший ланцюг. Між будь-якими електричними ланцюгами існує взаємний зв'язок через електричне поле – зі збільшенням відстані між ланцюгами коефіцієнт взаємного зв'язку швидко зменшується. Коефіцієнтом взаємного електричного зв'язку двох ланцюгів називається їхньою взаємною ємністю й вимірюється у фарадах (або амперах в секунду). Взаємний ємнісний зв'язок двох ланцюгів А і В - це, власне кажучи, паразитна ємність, що ввімкнена між ними.

Взаємна ємність C_M зумовлює появу в ланцюзі В струму I_M , миттєве значення якого, пропорційне швидкості зміни напруги в ланцюзі А відповідно до формули

$$I_M = C_M \frac{dV_A}{dt}, \quad (1.36)$$

де dV_A – напруга на ємності, що змінюється; dt – період сигналу.

Формула (1.36) є простою наближеною формулою оцінки фактичної величини струму перешкоди, викликаною взаємним зв'язком ланцюгів. Точна формула повинна була б ураховувати різницю напруг у ланцюгах А і В і вплив ємності C_M на режим роботи обох ланцюгів. Наближення (1.36) справедливе при виконанні таких умов.

Струм зв'язку через ємність C_M значно менше струму основного сигналу в ланцюзі А. Тому ємність C_M не навантажує ланцюг А.

Напруга перешкоди, створюваної за рахунок ємнісного взаємного зв'язку в ланцюзі В, менше, ніж напруга основного сигналу в ланцюзі А. Тоді при розрахунку струму перешкоди можна знехтувати невеликою напругою, що виникає у ланцюзі В за рахунок взаємного зв'язку й прийняти різницю напруг між ланцюгами А і В, що дорівнює V_A .

Реактивний опір конденсатора перевищує реактивний опір ланцюга В відносно землі. Напруга перешкоди за рахунок взаємного зв'язку в цьому випадку буде дорівнювати добутку струму I_M на реактивний опір ланцюга В відносно землі. У цьому випадку не враховується вплив взаємної ємності на режим роботи ланцюга В.

У випадку, коли амплітуда напруги перешкоди, викликаної взаємним зв'язком ланцюгів, становить менше 10% амплітуди корисного імпульсного сигналу, похибка оцінки, отриманої за допомогою цієї наближеної формули, становить приблизно 10%. Такої точності цілком достатньо для того, щоб установити, на які ефекти варто звернути увагу. Якщо ж напруга перешкоди, викликаної взаємним зв'язком, перевищує 10% рівня корисного сигналу, то похибка оцінки, що забезпечується даним наближенням, стає вище, але при 10%-му рівні перехресної перешкоди цифрова схема, імовірно, виявиться непрацездатною й досягати підвищення точності розрахунку буде не раціонально.

1.8.7.3 Зв'язок між взаємною ємністю й перехресною перешкодою

За відомою величиною взаємної ємності C_M , при заданій тривалості фронту T_r сигналу, що створює перешкоду, і відомому імпедансі R_B ланцюга, у якому наводиться перешкода, можна оцінити відносний рівень перехресної перешкоди, наведеної у ланцюзі В, стосовно амплітуди V_A збудженого сигналу в ланцюзі А.

Спочатку за відомою амплітудою ΔV і часом наростання T_r східчастого сигналу V_A можемо розрахувати максимальну швидкість його зміни:

$$\frac{dV_A}{dt} = \frac{\Delta V}{T_r}. \quad (1.37)$$

Потім за формулою (1.38) можливо розрахувати силу струму, що проходить з ланцюга А в ланцюг В за рахунок взаємного ємнісного зв'язку між ними:

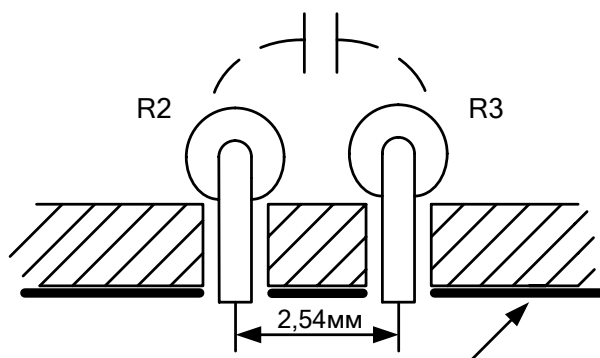
$$I_M = C_M \frac{\Delta V}{T_r}. \quad (1.38)$$

Щоб визначити напругу перешкоди, помножимо струм перешкоди I_M на імпеданс R_B ланцюга В, а потім поділимо отриманий результат на ΔV , щоб виразити цей результат у відносних одиницях:

$$\text{перехресна перешкода} = \frac{R_B \cdot I_M}{\Delta V} = \frac{R_B \cdot C_M}{T_r}. \quad (1.39)$$

При моделюванні ланцюгів з декількома джерелами перешкод (наприклад, монтажних схем заводоподавляючих фільтрів із щільним компонуванням безлічі деталей у корпусі) спочатку розраховують взаємні ємності між усіма елементами попарно, а потім для кожного ланцюга підсумуються парціальні рівні перехресних перешкод, створюваних всіма джерелами перешкод. Якщо в схемі, побудованій на ТТЛ-логіці, є п'ять джерел перешкод, при перехресній перешкоді всього в 2%, створеній кожним з них у ланцюзі, що тестується, сумарний рівень перехресних перешкод становитиме 500 мВ. Це перевищує номінальний запас з перешкодозахищеності ТТЛ-логіки й створює серйозну проблему.

1.8.7.4 Взаємна ємність між узгоджувальними резисторами



Зі сторони паяння радіокомпонентів плата має суцільну металізацію

Рисунок 1.46 – Два резистори, що близько розташовані один від одного

кожен із двох послідовно з'єднаних резисторів половинного опору і між точками послідовного з'єднання "половинок" резисторів підімкнений конденсатор) між резисторами. У випадку, якщо з'єднати вільний вивід резистора R2 із землею, то напруга сигналу, що збуджує перешкоду, знизиться вдвічі. Якщо з'єднати із землею вільний вивід резистора R3, це призведе до розгалуження струму перехресної перешкоди: через "половинку" резистора R3, з'єднану із землею, пройде дві третини струму перешкоди, і одна третина – через іншу його "половинку", і далі по коаксіальному кабелю на вхід осцилографа й через його узгоджувальне навантаження також на землю. Таким чином, напруга сигналу, що збуджує перехресну перешкоду, знизилася у два рази,

Що відбудеться, якщо заземлити резистори (рис. 1.46)? Наприклад, здійснюється нагляд за сигналом на резисторі R3 у разі виконання налагоджувальної операції. Якщо в схемі об'єднати вільні виводи обох резисторів з землею, то напруга перешкоди, спричиненої їхнім ємнісним зв'язком, знизиться приблизно в шість разів. У реальній схемі можна подати взаємну ємність як паразитний конденсатор, підімкнений посередині (уявіть собі, що резистори R3 і R2 складені

а напруга сигналу на вході осцилографа в три рази, що в результаті дає одну шосту від вихідної напруги перешкоди. Якщо резистори, які розташовані на платі (рис. 1.46), є узгоджувальними навантаженнями, то при тривалості фронтів сигналу, що дорівнює 800 пс, відносний рівень перехресної перешкоди, спричиненою взаємним ємнісним зв'язком резисторів, становитиме приблизно $0,025/6 = 0,004$.

У наступному підрозділі буде показано, що в цифрових пристроях паразитний індуктивний зв'язок є більш серйозною проблемою, ніж паразитний ємнісний зв'язок.

1.8.7.5 Взаємна індуктивність

Між контурами зі струмом обов'язково виникає взаємна індуктивність. Магнітне поле, створюване струмом, що проходить в одному з контурів, впливає на інший контур. Між контурами, що є провідниками струму, існує взаємний зв'язок, який послаблюється зі збільшенням відстані між ними. Кількісною мірою взаємного зв'язку між провідними контурами зі струмом є параметр, що називається взаємною індуктивністю. Взаємна індуктивність вимірюється в генрі або (вольтх в секунду)/ампер. Взаємний індуктивний зв'язок між ланцюгами діє аналогічно малюсінькому трансформатору, ввімкненому між ланцюгами А і В (рис. 1.47).

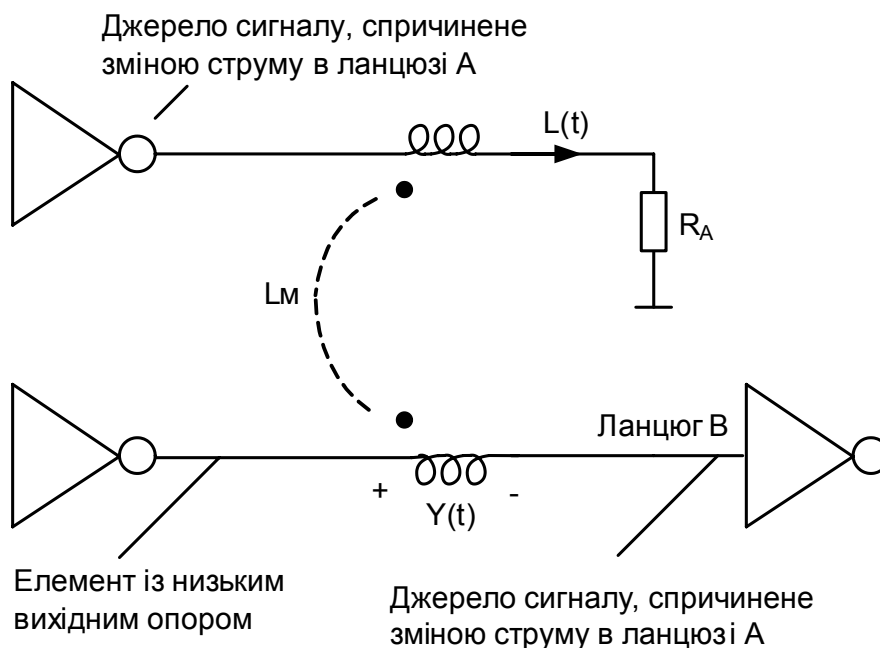


Рисунок 1.47 – Модель взаємної індуктивності між двома елементами із зосередженими параметрами

Де б не виявилися по сусідству один з одним два контури зі струмом, вони взаємодіють подібно первинній і вторинній обмоткам трансформатора, і між ними виникає взаємна індуктивність.

Взаємна індуктивність L_M спричиняє появу в ланцюзі В перешкоди, миттєву напругу Y , яка зв'язана зі швидкістю зміни сили струму в ланцюзі А, яку обчислюють за формулою

$$Y = L_M \frac{dI_A}{dt}, \quad (1.40)$$

де dI_A – струм в індуктивності, що змінюється за час dt .

Різкі зміни струму в ланцюзі А індукують у ланцюзі В великі напруги, тому облік взаємного індуктивного зв'язку має важливе значення при конструюванні високошвидкісних цифрових пристроїв.

Формула (1.40) є першим наближенням фактичної величини напруги перешкоди, спричиненою взаємною індуктивністю ланцюгів. Точна формула повинна була б урахувувати різницю струмів у ланцюгах А і В і вплив власної індуктивності "первинної" і "вторинної" обмоток на режим роботи обох ланцюгів. Наближення, що описується формулою (1.40), справедливо при виконанні таких умов, аналогічних тим, за яких справедлива формула (1.38).

1. Напруга перешкоди, що наводиться індуктивністю L_M , мала порівнянно з напругою первинного сигналу в ланцюзі А. У такий спосіб взаємна індуктивність L_M не впливає на режим роботи ланцюга А. Напруга перешкоди, що виникає в цифрових схемах за рахунок взаємної індуктивності, завжди менше напруги сигналу, що створює цю перешкоду.

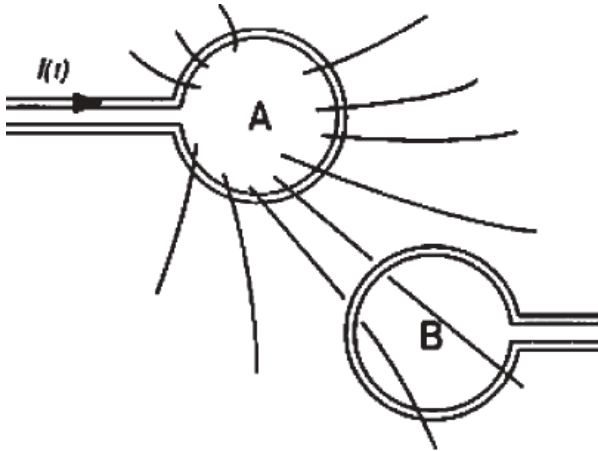
2. Струм перешкоди в ланцюзі В менше струму сигналу в ланцюзі А. Таким чином, струмом перешкоди в ланцюзі В можна знехтувати й прийняти різницю струмів у первинному й вторинному ланцюгах такою, що дорівнює просто струму I_A .

3. Передбачається, що внесений імпеданс, зумовлений взаємною індуктивністю, малий порівнянно із власним імпедансом ланцюга В стосовно заземлення. Це дозволяє просто додати напругу перешкоди, спричиненої взаємним індуктивним зв'язком ланцюгів, до напруги корисного сигналу в ланцюзі В. У цьому наближенні не враховується вплив, що надається взаємною індуктивністю, на режим роботи ланцюга В.

У цифрових схемах взаємна індуктивність, як і взаємна ємність, звичайно спричиняє появу небажаного перехресного зв'язку між ланцюгами.

На рис. 1.48 показано принцип дії взаємного індуктивного зв'язку за наявності таких умов:

1. Потік магнітної індукції пропорційний силі струму $I(t)$ у контурі



2. Частина потоку магнітної індукції, що створюється контуром струму А, проходить через поверхню, охоплену контуром В

3. Швидкість зміни потоку магнітної індукції через поверхню, обмежену контуром В, пропорційна швидкості зміни сили струму $I(t)$ у контурі А

4. Відповідно до закону електромагнітної індукції Фарадея напруга $U(t)$, наведена в контурі В, пропорційна швидкості зміни потоку магнітної індукції через поверхню, обмежену цим контуром

Рисунок 1.48 – Взаємний індуктивний зв'язок

1. Струм, що проходить у провідному контурі А, збуджує у просторі, що оточує провідник, магнітне поле. Чим більше сила струму, тим вище напруженість порушеного ним магнітного поля в просторі, що оточує контур А.

2. Можливо обчислити повний потік силових ліній магнітного поля, що створюється струмом, який проходить в контурі А, через площу, охоплену контуром В. Повний потік силових ліній магнітного поля через площу, охоплену контуром В, який називається потоком магнітної індукції через контур В, залежить від відстані між контурами А і В, їхніх фізичних розмірів, взаємної орієнтації й прямо пропорційний силі струму, що проходить по контуру А. Чим більше сила струму, що проходить у контурі А, тим більше потік магнітної індукції через контур В.

3. Зміна сили струму в контурі А спричиняє пропорційну зміну величини потоку магнітної індукції через контур В.

4. Відповідно до закону електромагнітної індукції величина напруги, що індукується в контурі В, пропорційна швидкості зміни потоку магнітної індукції, яка його пронизує.

Поєднуючи воєдино ці міркування, які викладені в чотирьох пунктах, дійдемо висновку, що величина напруги, яка індукується

в провідному контурі В, пропорційна швидкості зміни сили струму в контурі А. Коефіцієнт пропорційності називається взаємною індуктивністю ланцюгів А і В.

Оскільки магнітне поле є векторною величиною, то при розвороті контуру В протилежним боком до контуру А змінюється полярність потоку магнітної індукції. У результаті цього відбувається зміна полярності напруги, що індукується в контурі В. Аналогічний розворот контуру А спричинить такий же ефект.

Якщо зорієнтувати контур В так, щоб він лежав у площині, паралельній силовим лініям магнітного поля, то потік магнітної індукції через контур В буде дорівнювати нулю і, відповідно, індуктивний зв'язок між контурами зникне.

Перешкода, спричинена взаємним індуктивним зв'язком, на відміну від випадку взаємного ємнісного зв'язку, може мати полярність, протилежну полярності збуджуючого її сигналу. Крім того, величина взаємного індуктивного зв'язку дуже сильно залежить від взаємної орієнтації контурів.

1.8.7.6 Зв'язок між взаємною індуктивністю і перехресною перешкодою

За відомою величиною взаємної індуктивності L_M при заданій тривалості фронту T_r сигналу в ланцюзі А і відомим імпедансом джерела сигналу в ланцюзі А (позначимо його R_A) можна оцінити відносну величину перехресної перешкоди, наведеної в ланцюзі В, стосовно амплітуди V_A збуджуючого її сигналу в ланцюзі А.

Спочатку за відомою амплітудою ΔV і часом наростання T_r східчастого сигналу V_A розрахуємо максимальну швидкість його зміни:

$$\frac{dV_A}{dt} = \frac{\Delta V}{T_r} \quad (1.41)$$

Вважаємо, що контур зі струмом А навантажений на опір R_A так, що між струмом і напругою у ланцюзі А існує прямо пропорційна залежність. Така ситуація складається, як правило, при передачі сигналу $V(t)$ по лінії передачі з резистивним узгодженням. У більшості випадків можна виразити зміну струму через зміну напруги, використовуючи відоме значення опору R_A

$$\frac{dI_A}{dt} = \frac{\Delta V}{R_A \cdot T_r} \quad (1.42)$$

Підставляючи (1.41) у (1.42), розраховуємо напругу перехресної перешкоди Y у ланцюзі В, спричиненої зміною струму в ланцюзі А:

$$Y = L_M \frac{\Delta V}{R_A \cdot T_r}. \quad (1.43)$$

Поділимо отриманий результат на ΔV , щоб виразити цей результат у відносних одиницях:

$$\text{перехресна перешкода} = \frac{L_M}{R_A \cdot T_r}. \quad (1.44)$$

У випадку декількох джерел перешкод (наприклад, поруч розташованих сигнальних ліній із загальною земляною шиною) спочатку розраховуються взаємні індуктивності між усіма лініями попарно і підсумовуються парціальні рівні перехресних перешкод, що створюються у розглянутому ланцюзі всіма джерелами перешкод. Якщо в схемі, побудованій на ТТЛ-логіці, є п'ять джерел перешкод, при перехресній перешкоді всього в двох відсотках, створеній кожним з них у ланцюзі сумарний рівень перехресних перешкод становитиме 500 мВ. Це перевищує номінальний запас з перешкодозахищеності ТТЛ-логіки й створює серйозну проблему.

1.9 Конструювання приладових пристроїв з урахуванням впливу кліматичних і біологічних факторів

Захист приладів від кліматичних впливів передбачає їх захист від впливів вологості повітря, температури, тиску повітря або газу, дощу, вітру, пилу, інею, солоного туману, корозійно-активних агентів, що містяться в повітрі, сонячного випромінювання й біологічного середовища [1, 18].

Можна виділити такі основні шляхи, що дозволяють захистити вузли та прилади ЗВТ від впливу кліматичних факторів:

1) вибір матеріалу несучих деталей конструкції, стійкого до впливу вологості й агресивного газового середовища, наприклад, виготовлення корпусів авіаційних приладів з бакеліту;

2) нанесення захисних покриттів на поверхні деталей і вузлів (металеві, полімерні, склоемалеві плівки, оксидні або комплексні хімічні сполуки та ін.);

3) вибір пари металів у контактному з'єднанні за умови відсутності контактного електрохімічного механізму корозії;

4) обмеження в приладі вологості до 75%, що є ефективним способом боротьби з пліснявою, наприклад, використання як вологовбирача силікагелю;

5) застосування герметизації у рознімному або не рознімному корпусі, що дозволяє захистити блоки електронної апаратури від вологи, морського туману, бризок, пилу й біологічних факторів (гризуни, терміти та ін.).

1.9.1 Захисні покриття

Для забезпечення вологостійкості апаратури використовують стійкі антикорозійні покриття, покриття, що захищають поверхню від плісняви, плівкові покриття з лаками, смолами, фарбами й компаундами. Також використовують посилену вентиляцію сухого повітря, підтримують усередині виробів більш високу температуру, ніж температура навколишнього середовища, використовують вбирачі вологи, застосовують герметичну апаратуру.

Навіть у відносно нескладних конструкціях ЕА застосовують різні матеріали. Корозія розповсюджується більш інтенсивно при контактуванні матеріалів з істотно різними електрохімічними потенціалами. Метал з негативним потенціалом гальванічної пари буде руйнуватися тим швидше, чим більше різниця їхніх електрохімічних потенціалів. Електрохімічні потенціали металів у прісній і морській воді подано в табл. 1.14.

Таблиця 1.14 – Електрохімічні потенціали металів

Прісна вода		Морська вода	
Метал	Потенціал, мВ	Метал	Потенціал, мВ
Срібло	+ 194	Срібло	+ 149
Мідь	+ 140	Нікель	+46
Нікель	+118	Мідь	+ 10
Алюміній	-169	Свинець	-259
Олово	-175	Цинк	-284
Свинець	-283	Сталь	-335
Сталь	-350	Кадмій	-519
Кадмій	-574	Алюміній	-667
Цинк	-823	Олово	-809

Якщо з тих або інших причин неможливо замінити метали з високою різницею електрохімічних потенціалів, то на них наносять

захисні покриття. Для цього застосовують металеві, хімічні й лакофарбові покриття. Для захисту поверхні металевих виробів використовують цинкові, кадмієві або хромові антикорозійні покриття, які наносять гальванічним способом.

Дуже широко використовують способи анодування або хімічного оксидування металів. Поверхню тонколистової сталі ефективно зберігають від корозії покриттям тонким шаром хімічно чистого алюмінію.

Металеві покриття із основним матеріалом деталі утворюють контактну пару. Залежно від полярності потенціалу розрізняють покриття анодні (негативний потенціал покриття стосовно основного металу) і катодні (позитивний потенціал покриття). При корозії може руйнуватися як основний метал деталі, так і покриття. Руйнування відбувається через наявність пор у покриттях, ушкоджень у вигляді сколів, подряпин, тріщин, що виникають у процесі експлуатації, і будуть тим інтенсивніше, чим більше різниця електрохімічних потенціалів між основним металом і покриттям. При анодному покритті внаслідок корозії руйнується саме покриття, а основний матеріал деталі не піддається руйнуванню. При катодному покритті все відбувається навпаки.

Як матеріали для покриття найбільше поширені нікель, мідь, цинк, кадмій, олово й срібло. Товщина покриття вибирається залежно від матеріалу й способу їх нанесення. Для поліпшення механічних і захисних властивостей покриттів рекомендується застосовувати багатшарові покриття з різнорідних матеріалів.

Отримане хімічним способом покриття менш міцне, ніж покриття металеве. Створена при цьому захисна плівка хімічно пасивна, стійка, має гарний декоративний вигляд. Товщина покриття звичайно дорівнює 1...15 мкм.

Оксидування - одержання окисної плівки на сталі, алюмінії і його сплавах. Таке покриття має гарний зовнішній вигляд, антикорозійні властивості, але воно неміцне й мікропористе. Остання властивість покриття дозволяє використовувати його як ґрунт під фарбування.

Анодування - декоративне покриття алюмінію і його сплавів електрохімічним способом. Захисна плівка хімічно стійка, має високі електроізоляційні властивості, надійно захищає від корозії, може бути пофарбована.

Фосфатування – процес утворення на сталі захисної плівки з високими антикорозійними й електроізоляційними властивостями, гарною адгезією. Одержане покриття пористе й недостатньо міцне. Фосфатні плівки використовують як ґрунт під фарбування.

Лакофарбові покриття захищають деталі від корозії. Як недолік слід зазначити низьку механічну міцність і термостійкість. Цей вид покриття застосовують для фарбування каркасів, кожухів, лицьових

панелей приладів і т.д. Якісний зовнішній вигляд виробу забезпечується багат шаровим фарбуванням. Товщина лакофарбового покриття коливається від 20 до 200 мкм. У табл. 1.15 наведено групи лакофарбових покриттів і види впливів, яким вони протистоять.

Таблиця 1.15 – Групи лакофарбових покриттів

Група покриттів	Види зовнішніх впливів
Водостійкі	Морська, прісна вода і її пари
Спеціальні	Опромінення, глибокий холод, відкрите полум'я, біологічний вплив тощо
Маслобензостійкі	Мінеральні мастила, бензин, гас
Хімічно стійкі	Різні хімічні реагенти; агресивні гази, пари й рідини; розчини кислот і солей
Термостійкі	Температура вище +60 °С
Електроізоляційні	Електричний струм, коронні й поверхневі розряди

Лакове покриття товщиною 80..130 мкм захищає плату з радіокомпонентами від вологості. Недоліком лакових покриттів є те, що вони потребують високої чистоти виробничих процесів й ускладнюють заміну несправних радіокомпонентів. При експлуатації покриття сколюються, ламаються, лупляться й забруднюють контакти електричних з'єднувачів. Пари води, потрапляючи під покриття, конденсуються і зменшують електричний опір між роз'єднаними ланцюгами. При висиханні покриття мости, що утворюються з лаку між розташованими поруч выводами компонентів, передають механічні напруги на выводами й паяні з'єднання, спричиняючи короткі замикання між розташованими поруч выводами, збільшуючи ймовірність відмови паяних контактів.

Виріб від плісняви захищають уретановими лаками й лаками з введеними в них протипліснявими отрутами - фунгіцидами. Плівкові покриття створюють на поверхні матеріалу тонкий шар лаку. Вони захищають матеріали від проникнення в його пори вологи, збільшують міцність ізоляції. Під час просочення або покриття деталей використовують ізоляційні лаки СБ1-С, УР-231, емалі ЕП-51, ГФ-92-ХС і компаунди МБК, ЕЗК, ФК-20 і УТ-31. Покривають плівковими ізоляційними лаками й емалями багатофункціональних вузлів печатного монтажу, мікромодулі й мікросхеми.

Різні намотувальні вироби, деталі з гігроскопічних, пористих і волокнистих матеріалів просочують епоксидними смолами, кремній-органічними, фторорганічними й поліефірними рідинами.

Заливання елементів електронної апаратури проводять, як правило, епоксидними смолами у чистому вигляді з наповнювачами (маршаліт, тальк та ін.). З метою зниження ваги залитого вузла застосовують пінисті заливальні матеріали - пінополіуретани.

Металеві й неметалеві неорганічні покриття в технічній документації визначаються згідно з ГОСТ 9.306-85.

Лакофарбові покриття металевих поверхонь, які виготовляють на основі лакофарбових матеріалів усіх видів за ГОСТ 9825-73, визначаються згідно з ГОСТ 9.032-74.

Правила нанесення на кресленнях виробів позначень захисних покриттів установлені ГОСТ 2.310-68. Приклад нанесення на кресленнях позначень покриттів поверхні наведено на рис. 1.49.

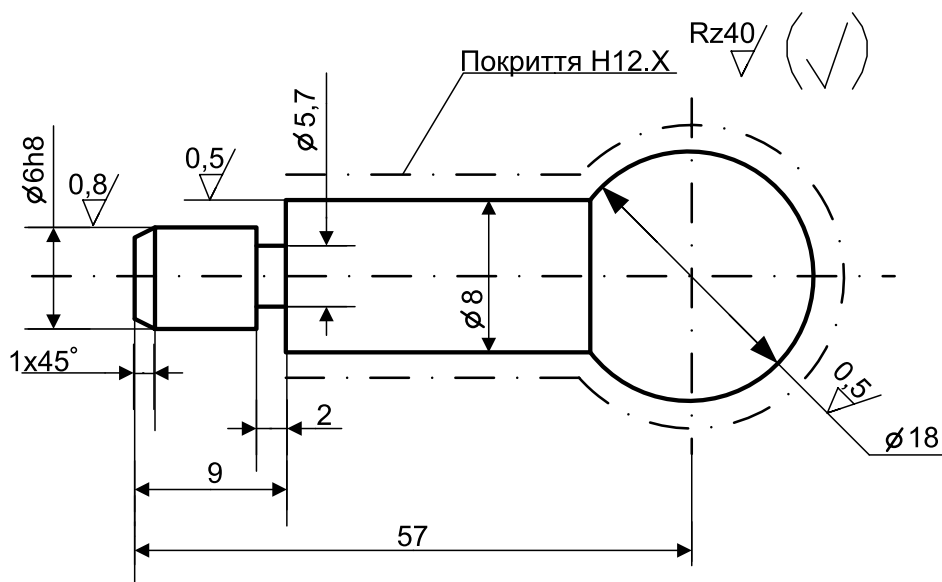


Рисунок 1.49 – Приклад проставлення позначень покриттів поверхні

1.9.2 Захист від впливу пилу

Пил - суміш твердих частинок малої маси, що перебуває в повітрі у завислому стані або повільно осідає на поверхню предметів. Розрізняють пил природний, утворений на поверхні Землі під впливом Сонця, вулканів тощо, і технічний, який є наслідком спрацювання устаткування, оброблення матеріалів, спалювання палива та ін.

При відносній вологості повітря вище 75% і нормальній температурі спостерігаються збільшення кількості частинок пилу, їхня

коагуляція, збільшується ймовірність притягання пилу до нерухомих поверхонь. При низькій вологості частинки пилу електрично заряджаються. Як правило, неметалічний пил заряджається позитивно, а металевий - негативно. Заряд частинок найчастіше виникає через тертя.

Забруднення повітря пилом значно знижує безперебійну й надійну роботу ЕА. Пил, потрапляючи в мастильні матеріали й прилипаючи до ковзних поверхонь деталей електромеханічних вузлів, призводить до прискореного їхнього зношування. Частинки величиною 1...40 мкм максимально небезпечні.

Під впливом пилу змінюються параметри й характеристики магнітних стрічок, магнітних датчиків, дряпається й робиться непридатним магнітний шар. Пил у проміжках контактів перешкоджає замиканню контактів реле. Ці відмови контактів виникають через частинки пилу розміром понад 50 мкм. При частому перемиканні реле спрацьовує ефект самоочищення контактів при їхньому іскрінні.

Осідаючи на поверхні деяких металів, пил небезпечний через свою гігроскопічність, оскільки вже при відносно невеликій вологості пил істотно підвищує швидкість корозії. Пил, що має у своєму складі електроліт, поглинає вологу з повітря, багаторазово підсилюючи корозію. Пил з поглиненими ним розчинами кислот руйнує досить швидко навіть дуже гарні фарби. У тропічних країнах пил часто є причиною росту цвілі.

Залежаний у процесі тривалої експлуатації на поверхні компонентів пил знижує опір ізоляції, особливо в умовах підвищеної вологості, призводить до появи витоків струму між выводами, що дуже небезпечно для мікросхем з малими відстанями між выводами корпусів. Діелектрична проникність пилу вище діелектричної проникності повітря, що визначає збільшення ємності між выводами компонентів і, як наслідок, збільшення ємнісних перешкод.

Пил, що осідає у виробі, перешкоджає природному руху повітря, знижує ефективність охолодження виробу, утворює на поверхнях ПП, не захищених лаковим покриттям, струмопровідні перемички між провідниками.

Пилонепроникність ЕА або окремих її пристроїв може бути досягнута установленням їх у герметичні корпуси. Однак при цьому підвищується вартість ЕА, погіршується температурний режим роботи тощо. Якщо корпус ЕА виконано з перфораціями, то пил разом з холодним повітрям проникне усередину ЕА природним шляхом (або примусовим повітряним охолодженням). Таким чином, застосування корпусу з вентиляційними отворами для охолодження повітрям призводить до проникнення усередину виробу пилу. Зменшити попадання пилу усередину ЕА можливо установленням на вентиляційні отво-

ри мілких чарунок - сіток, створенням усередині приміщень, де експлуатується ЕА, відповідної чистоти повітря.

Вологість повітря допомагає боротися з негативним впливом пилу. З підвищенням відносної вологості вище 70 % пил коагулює, не піднімається слабкими рухами потоків повітря й не прилипає на елементи конструкції. Тому рекомендується регулярно вологе протирання підлоги у залах обчислювальних центрів, при цьому мийні засоби не повинні виділяти пари, які можуть спричиняти корозію металів.

Для запобігання проникнення забрудненого повітря з інших приміщень у машинних залах обчислювальних центрів створюється надлишковий тиск 1...1,5 мм рт. ст. Використовувані в приміщеннях будівельні, оздоблювальні, шумопоглинальні й ізоляційні матеріали не повинні створювати пил. А щоб в приміщення не проникало запилене повітря, віконні прорізи мають бути герметичними.

1.9.3 Герметизація електронної апаратури

Герметизація - це забезпечення практичної непроникності корпусу апаратури для рідин і газів з метою захисту її елементів і компонентів від вологи, пліснявих грибків, пилу, піску, бруду й механічних пошкоджень.

Для часткової герметизації електронної апаратури застосовують просочування, обволікання й заливання як компонентів, так і ЕА в цілому, лаками, пластмасами або компаундами на органічній основі.

Під час герметизації блока стінки корпусу посилюють зовнішніми ребрами жорсткості для того, щоб вони могли витримувати розривний тиск при зміні барометричного тиску. Литий герметизований корпус складається з двох частин, які з'єднуються за допомогою фланців (рис. 1.50).

На стику між поверхнями необхідна беззazorність, яка досягається застосуванням прокладок, як правило, гумових. Умовою непроникності герметичного з'єднання є збереження незмінним контактного тиску між ущільнювальною прокладкою і поверхнями, що стикаються. Гумові прокладки слід використовувати суцільними, переважно круглого перерізу.

При ущільненні нерухомих з'єднань (корпусу, кожуха та ін.) діаметр d перерізу тороїдальної прокладки вибирається за табл. 1.15 залежно від її внутрішнього діаметра D (рис. 1.51, а).

Для авіаційних вузлів застосовується, як правило, прямокутний тип гнізд для укладання гумових тороїдальних прокладок (див. рис. 1.51, б).

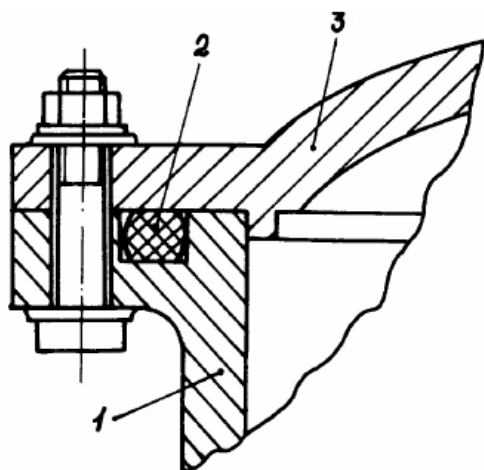


Рисунок 1.50 – Вузол з додатковим самоущільненням фланцевого з'єднання герметизованого корпусу: 1 – корпус; 2 - герметизуюча прокладка; 3 – фланець

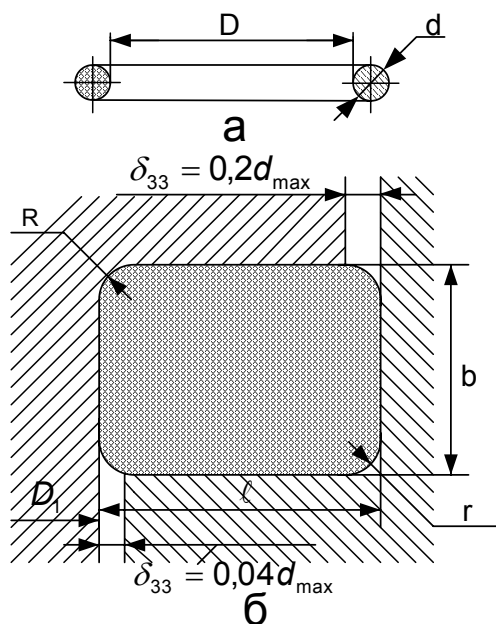


Рисунок 1.51 – Розміри тороїдальних прокладок (а) і гнізд (б) для їх укладання

Таблиця 1.15 – Щільність зазорів

D, мм	4... 10	10... 20	10... 50	20... 160	150... 272
d, мм	$1,8 \pm 0,08$	$2,0 \pm 0,08$	$2,5 \pm 0,1$	$3,0 \pm 0,15$	$4,0 \pm 0,2$
D, мм	150... 300	250... 330	330... 390	400... 505	–
d, мм	$4,5 \pm 0,2$	$5,0 \pm 0,2$	$6,0 \pm 0,2$	$7,0 \pm 0,25$	–

Розміри гнізд для гуми з твердістю 40...50 за Шаром такі [21]: $l = 2,1...8,5$ мм; $b = 1,1...4,9$ мм; $R = 0,3...1,5$ мм; $r = 0,15...0,5$ мм. Посадочний діаметр гнізда для ущільнювальної прокладки виконується не нижче 3-го класу точності. Збільшення конструктивного проміжку призводить до витікання гуми в зазор і прискореного руйнування прокладки. На рис. 1.52 зображено фрагменти конструкцій з правильним і неправильним укладенням гумових прокладок. Для забезпечення ущільнення на всій поверхні потрібний жорсткий допуск на ексцентриситет. На всіх деталях, які при обробленні вставляються в гумову прокладку або протягуються через неї, необхідно знімати фаску.

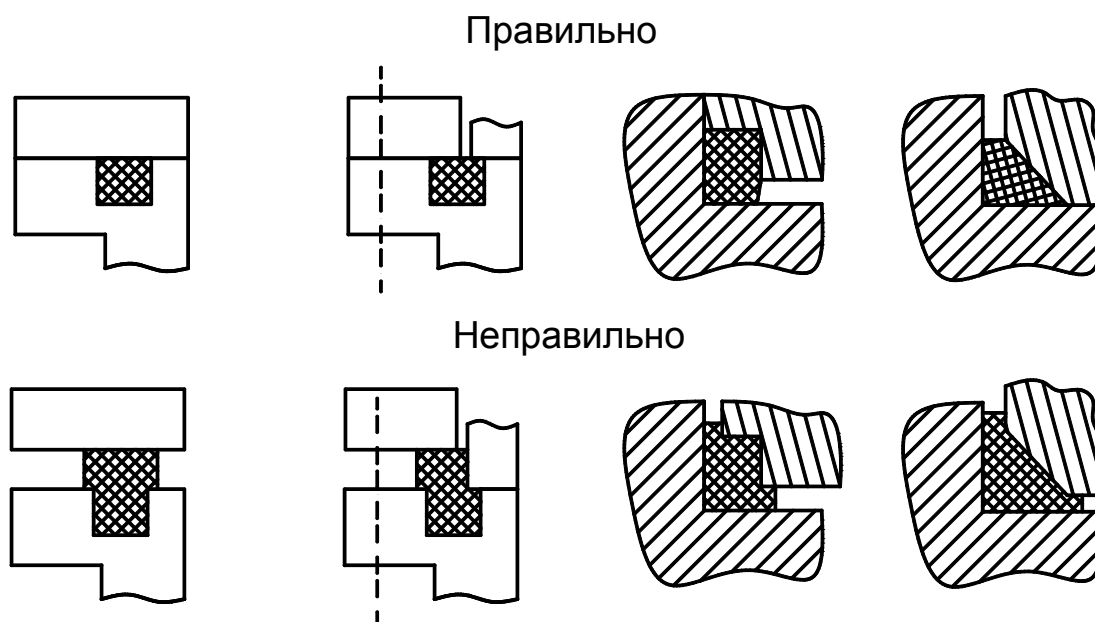


Рисунок 1.52 – Правильно й неправильно виконані конструкції ущільнювальних стиків корпусів і кришок

Шорсткість поверхні всіх деталей, що стикаються з прокладками, повинна відповідати 7-му класу. Ущільнювальні тороїдальні прокладки перед складанням змазують тонким шаром кремнійорганічної рідини ПЕС-С-1, ЦИАТИМ-221 або спиртом (застосувати мастила небажано).

Для ущільнення виходу валика використовують фетрові або фторопластові сальники (рис. 1.53). Необхідною умовою роботи сальника є відсутність биття при обертанні валика й висока чистота поверхні (не нижче R_z 6,3). Герметизація рукояток керування на лицьових панелях приладів (тумблери, кнопки та ін.) може бути виконана за допомогою гумових ковпачків (рис. 1.54), що виготовляють за формою самого елемента або сільфонів.

Для ущільнення оглядового скла індикаторів або пристроїв використовують прокладки або джгути, сформовані з гуми. У невеликих приладах оглядове скло закріплюють у корпусах пружинними кільцями, обмежувальними скобами або за допомогою вологостійких клеїв і замазок.

Для зовнішніх з'єднань на корпусах герметизованих приладів укріплюють прохідні ізолятори, гермопрохідники, електрично ізольовані від корпусу, і герметичні штепсельні електричні з'єднувачі. Найбільше поширення одержали гермопрохідники на базі узгоджених спаїв металу зі склом (наприклад, із сплаву H29K18 зі склом С48-2). У мік-

роелектронній апаратурі при використанні безкорпусних мікросхем і мікрозборки з метою зменшення габаритних розмірів виконують загальну герметизацію всього блока за допомогою паяного з'єднання корпусу блока й кришки.

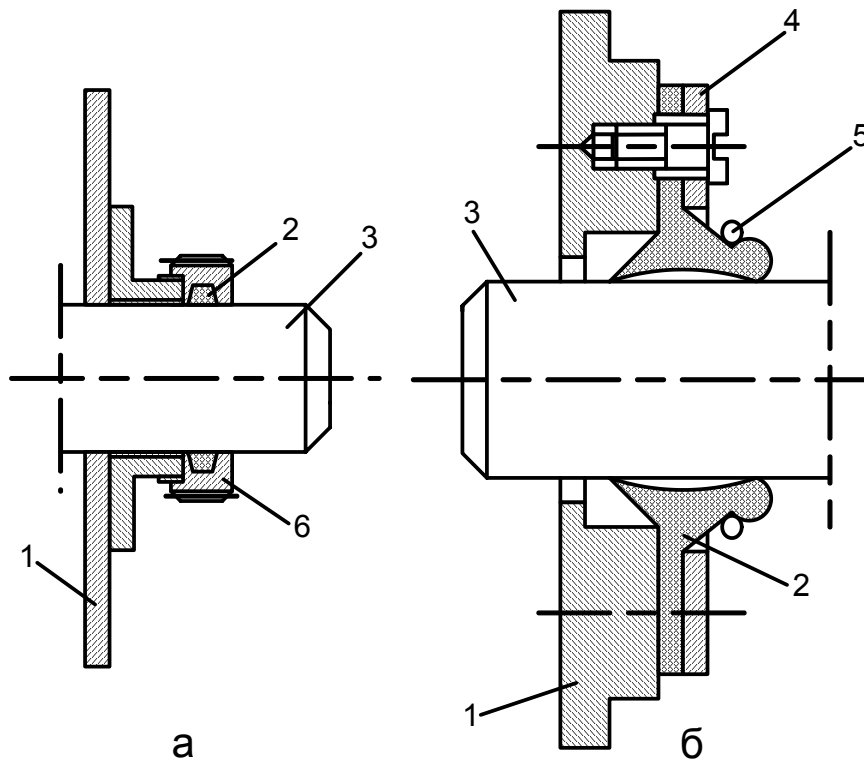


Рис.1.53 – Ущільнення валиків герметизованої електронної апаратури за допомогою азбестового (а) і фторопластового (б) сальників: 1 – корпус; 2 – сальник; 3 – валик; 4 – прижимний фланець; 5 – пружинне кільце; 6 – накидна гайка

На рис. 1.55 зображено схему конструкції такого ущільнення. Корпус і кришка виготовлені з алюмінієвого сплаву. Поверхні, повернуті до герметизованого шва, попередньо покривають шаром олова.

Потім у паз укладають гумову прокладку у вигляді квадратного шнура з термостійкої гуми. Розміри шнура мають бути більшими за ширину канавки на 0,2...0,3 мм. Зверху на прокладку кладуть лужений м'який сталевий дріт діаметром близько міліметра. Діаметр дроту вибирають на 0,2...0,4 мм меншим за ширину канавки. Паз разом з дротом заливають легкоплавким припоєм (ПОС-40, ПОС-61). Один кінець дроту залишають зовні й укладають у паз кришки. Гумова прокладка не дозволяє припою затекти на дно паза й захищає внутрішній об'єм блока від проникнення газів у момент паяння. При проведенні ремонту дріт за вільний кінець виривають з паза й легко виймають кришку з корпусу.

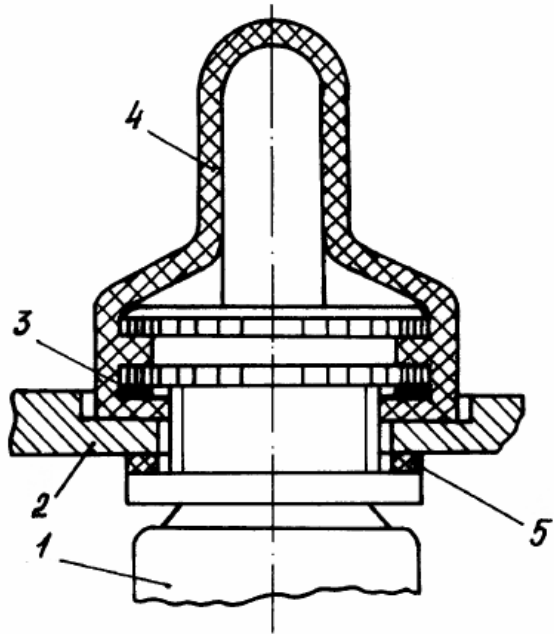


Рис. 1.54 – Ущільнення рукоятки тумблера за допомогою гумового ковпачка: 1 – тумблер; 2 – лицьова панель; 3 – металева шайба; 4 – ковпачок; 5 – гумова прокладка

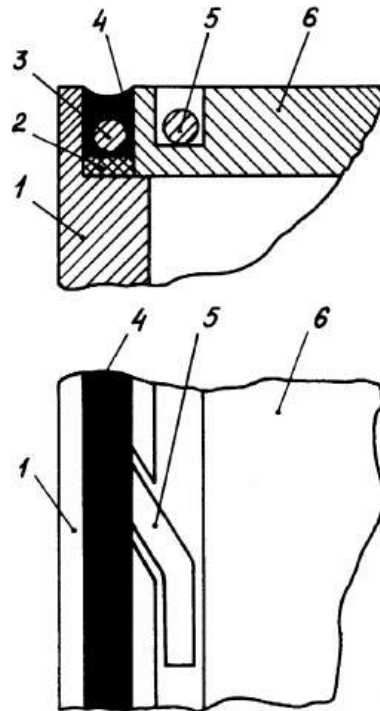


Рис. 1.55 – Герметизація корпусу блока мікроелектронної апаратури: 1 – корпус; 2 – гумова прокладка; 3 – лужений дріт; 4 – припій; 5 – вільний кінець дроту; 6 – кришка

Додаткову герметизацію паяних і зварених з'єднань виконують герметиками, пастами, замазками, пластичними плівками й клеями.

Недоліки рознімного герметичного корпусу - підвищені вимоги щодо механічної міцності, важкість виконання й контролю надійного рознімного гермоз'єднання, перевага - відносно легкий доступ до компонентів електронної апаратури.

При розміщенні електронної апаратури в нерознімному (паяному або звареному) корпусі суттєво затруднюється доступ до компонентів при полегшенні конструкції гермокорпусу виробу.

Згідно з ГОСТ 14254-96 міра захисту виробу від проникнення всередину пилу й води позначається IP і двома цифрами, перша з яких характеризує міру захисту від пилу, а друга - від води. Наприклад, 5 - захист від пилу, 6 - пилонепроникність, 1 - захист від крапель води, 2 - захист від крапель води при нахилі до 15°, 4 - захист від бризок. Якщо у виробі застосовується захист від впливу одного з факторів, то у позначенні замість цифри, що характеризує захист від другого фактора, ставиться X, наприклад: IP4X, IP5X.

1.10 Конструювання електронних приладових пристроїв з урахуванням теплових впливів

Широке використання мікросхем і мікрозборок, що дозволило значно збільшити густину компоновки й скоротити обсяг ЕА, призвело до підвищення питомої потужності розсіювання й температури усередині її порівняно з ЕА, побудованої на дискретних радіоелементах. Для того щоб знизити температуру всередині блока, конструктору необхідно застосовувати додаткові заходи з охолодження електронної апаратури. Під охолодженням розуміють процес відведення і перенесення тепла від елементів апаратури до зовнішнього середовища, температура якого залишається незмінною або підтримується в необхідних межах з метою термостабілізації електронної апаратури. Під заданим тепловим режимом апаратури розуміють такий режим, при якому температура кожного з елементів дорівнює заданій або не виходить за межі, зазначені для цього елемента.

1.10.1 Захист від температурних впливів

Радіокомпоненти функціонують у строго обмежених температурних діапазонах. Відхилення температури від зазначених діапазонів може призвести до необоротних структурних змін радіокомпонентів. Підвищена температура знижує діелектричні властивості матеріалів, прискорює корозію конструкційних і провідникових матеріалів. При зниженій температурі твердіють і розтріскуються гумові деталі, підвищується крихкість матеріалів. Розходження в коефіцієнтах лінійного розширення матеріалів можуть призвести до руйнування залитих компаундами конструкцій і, як наслідок, порушення електричних з'єднань, змін характеру посадок, ослаблення кріплень тощо.

Нормальним температурним режимом називається режим, що при зміні в певних межах зовнішніх температурних впливів забезпечує зміну параметрів і характеристик конструкції, компонентів, матеріалів у межах, зазначених у технічних умовах на них. Висока надійність і тривалий термін служби виробів будуть гарантовані, якщо температура середовища у середині ЕА є нормальною і такою, що дорівнює 20...25 °С. При цьому варто пам'ятати, що зміна температури щодо нормальної у середині ЕА в будь-яку сторону зменшує термін служби апаратури. Забезпечення нормального теплового режиму призводить до ускладнення конструкції, збільшенню габаритних розмірів і маси, введенню додаткового устаткування, витрат електричної енергії.

Завдання забезпечення працездатності при низьких температу-

рах вирішується нагріванням упродовж деякого часу приміщення з одночасним ввімкненням апаратури для підігріву. При досягненні у середині виробу нормальної температури приступають до його експлуатації. Далі через саморозігрів температура у середині виробу буде підвищуватися й може виникнути необхідність у його охолодженні. Нагрівання зручніше проводити електричними нагрівальними елементами, що встановлюються для стаціонарної апаратури у приміщенні, а для апаратури, що транспортується, - вбудованими в конструкцію. Температура контролюється або за допомогою термометрів, розташованих в ЕА в зручних для спостереження місцях, або автоматично з вимиканням нагрівачів після прогріву апаратури. При інтенсивному нагріванні холодного повітря усередині приладу пари води конденсуються на ще холодних поверхнях конструкції доти, поки не осяде вся надлишкова волога повітря. Подальше нагрівання призведе до нагрівання конструкції й випару вологи. Конденсація виявляється неможливою, якщо нагрівання відбувається повільно.

Найчастіше конструктор вирішує завдання видалення надлишку теплоти в результаті саморозігріву апаратури. Як відомо, передача теплоти від нагрітої апаратури у навколишнє середовище здійснюється кондукцією, конвекцією й випромінюванням.

1.10.2 Тепловідведення кондукцією

Зі збільшенням щільності компонування ЕА більша частина теплоти передається кондукцією. Для поліпшення умов відводу теплоти від тепловиділяючих елементів у конструкції застосовують теплові рознімання, тепловідвідні шини, печатні плати на металевій основі тощо. Кількість теплоти Q_k (кал/с), що передана в статичному режимі кондукцією, визначається виразом

$$Q_k = \alpha_\tau \frac{S}{l} \Delta t, \quad (1.45)$$

де α_τ - коефіцієнт теплопровідності, кал/(с·см·°С); S – площа, через яку проходить тепловий потік, см²; l – довжина шляху передачі теплоти (см); Δt - різниця температур між охолоджуваною конструкцією й навколишнім середовищем, °С.

Вираз (1.45) можна подати як $Q = G \Delta t$, де $G = \alpha_\tau \frac{S}{l}$ – теплова провідність. Величина, обернена до теплової провідності, називається тепловим опором

$$R = \frac{1}{G} = \frac{l}{\alpha_{\tau} S}. \quad (1.46)$$

Коефіцієнти теплопровідності деяких конструкційних матеріалів наведено в табл. 1.16.

Таблиця 1.16 – Коефіцієнти теплопровідності матеріалів

Неметали	α_{τ} , кал/с·см·°С	Метали	α_{τ} , кал/с·см·°С
Повітря	0,000063	Титан	0,037
Гетинакс	0,00045	Сталь	0,10...0,14
Гума	0,0003...0,0006	Цинк	0,24
Слюда	0,0017	Алюміній і його сплави	0,29...0,37
Скло	0,0021	Магній і його сплави	0,17...0,38
Склотексто- літ фольго- ваний	0,043	Бронза	0,54
		Мідь	0,54

Для нескладних за формою конструкцій деталей, наприклад, у вигляді циліндра з підведенням і відведенням теплоти від торцевих поверхонь, знайти теплові опори просто. Однак реальні конструкції деталей мають досить складну форму й це ускладнює визначення їхніх теплових опорів. Можна рекомендувати такий спосіб одержання теплових моделей:

- на поверхні деталі умовно наноситься ортогональна координатна сітка;

- на перетинанні ліній координатної сітки виділяються вузли (якщо на поверхню деталі підводиться або знімається теплота, то вузли обов'язково повинні перебувати в цих межах);

- між вузлами у вертикальному й горизонтальному напрямках визначаються теплові опори фрагментів деталі за виразом (1.46);

- складаються рівняння теплового балансу;

- для кожного вузла деталі визначається температура перегріву.

Приклад. На пластину встановлені тепловідільні елементи Q1-Q4 (рис. 1.56, а). Відведення теплоти здійснюється внизу в місці

закріплення пластини. Коефіцієнт теплопровідності пластини в усіх напрямках однаковий. Відстані між тепловидільними елементами, елементами й краями пластини однакові (у цьому випадку теплові опори між елементами й краями пластини теж будуть однакові). Для переходу до теплової моделі умовно накладемо на пластину сітку так, щоб усі тепловидільні елементи виявилися у вузлах цієї сітки.

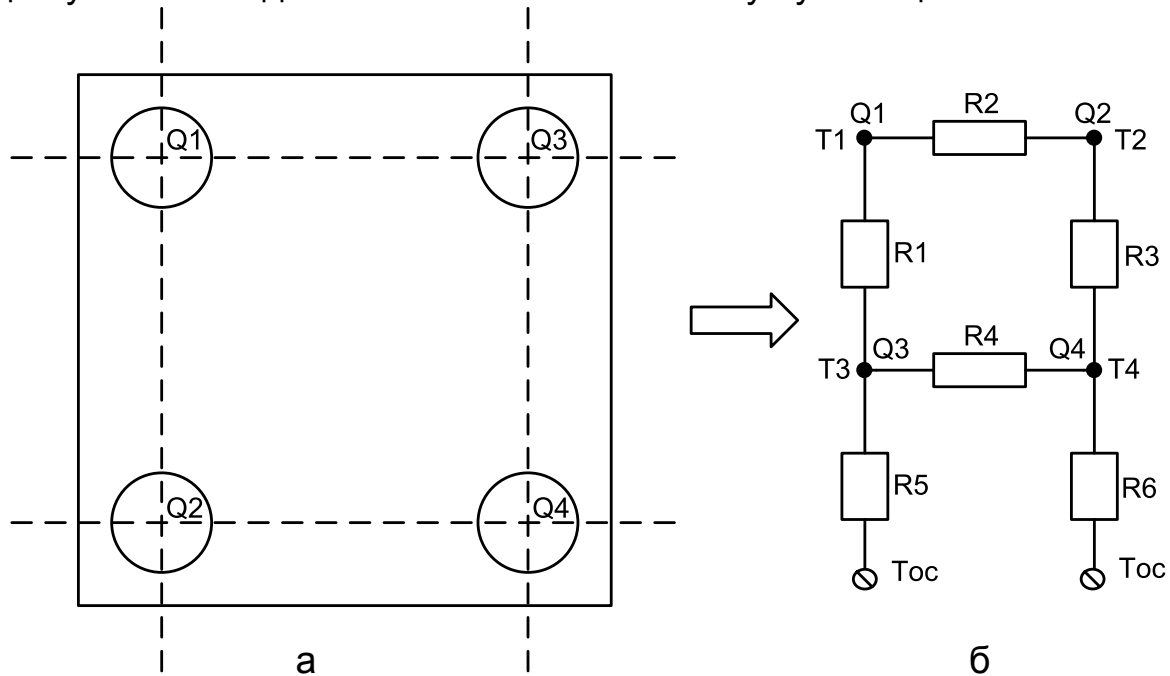


Рисунок 1.56 – Пластина з тепловидільними елементами (наприклад, діодами) і її тепла модель

Від теплової моделі перейдемо до електричної (рис. 1.56, б), замінивши показники температури у вузлах сітки електричними потенціалами, теплові опори – омичними опорами, а теплові потоки – струмами. На рисунку: T_1 – T_4 – температура у відповідних вузлах сітки; $T_{зс}$ – температура навколишнього середовища; R_1 – R_6 – теплові опори (за умовами, що вони дорівнюють один одному); Q_1 – Q_4 – теплові потоки.

Довільно задамося напрямками теплових потоків в опорах і запишемо систему рівнянь теплового балансу для вузлів T_1 – T_4 :

$$\begin{cases} Q_1 = (T_1 - T_3) / R + (T_1 - T_2) / R; \\ Q_2 = (T_2 - T_1) / R + (T_2 - T_4) / R; \\ Q_3 = (T_3 - T_1) / R + (T_3 - T_4) / R + (T_3 - T_{зс}) / R; \\ Q_4 = (T_4 - T_2) / R + (T_4 - T_3) / R + (T_4 - T_{зс}) / R, \end{cases}$$

де T_{3c} – температура зовнішнього середовища

$$\begin{cases} R \cdot Q1 = (T1 - T3) + (T1 - T2); \\ R \cdot Q2 = (T2 - T1) + (T2 - T4); \\ R \cdot Q3 = (T3 - T1) + (T3 - T4) + (T3 - T_{3c}); \\ R \cdot Q4 = (T4 - T2) + (T4 - T3) + (T4 - T_{3c}); \end{cases}$$

$$\begin{cases} R \cdot Q1 = 2T1 - T3 - T2; \\ R \cdot Q2 = 2T2 - T1 - T4; \\ R \cdot Q3 = 3T3 - T1 - T4 - T_{3c}; \\ R \cdot Q4 = 3T4 - T2 - T3 - T_{3c}; \end{cases}$$

$$\begin{cases} R \cdot Q1 = 2T1 - T3 - T2; \\ R \cdot Q2 = 2T2 - T1 - T4; \\ R \cdot Q3 + T_{3c} = 3T3 - T1 - T4; \\ R \cdot Q4 + T_{3c} = 3T4 - T2 - T3. \end{cases}$$

Після перетворень одержимо систему рівнянь, де ліворуч знаходяться відомі змінні, а праворуч – зумовлені величини:

$$\begin{cases} R \cdot Q1 = +2T1 - 1T2 - 1T3 + 0T4; \\ R \cdot Q2 = -1T1 + 2T2 + 0T3 - 1T4; \\ R \cdot Q3 + T_{3c} = -1T1 + 0T2 + 3T3 - 1T4; \\ R \cdot Q4 + T_{3c} = +0T1 - 1T2 - 1T3 + 3T4. \end{cases}$$

Матричний запис даної системи має вигляд

$$\begin{Bmatrix} R \cdot Q1 \\ R \cdot Q2 \\ R \cdot Q3 + T_{3c} \\ R \cdot Q4 + T_{3c} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} +2 & -1 & -1 & 0 \\ -1 & +2 & 0 & -1 \\ -1 & 0 & +3 & -1 \\ 0 & -1 & -1 & +3 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} T1 \\ T2 \\ T3 \\ T4 \end{Bmatrix},$$

де матрицю можна подати як $B=A \cdot X$, звідки $X=B \cdot A^{-1}$.

Розв'язання цієї системи і дає значення температур перегріву для елемента Q1– Q4.

1.10.3 Тепловідведення конвекцією

При конвективному відведенні теплоти використовують повітряне природне, примусове й водоповітряне охолодження. При високих вимогах до стабільності параметрів схем застосовують термостаткування вузлів і блоків.

Природне охолодження використовується в побутових приладах з густиною теплових потоків від охолоджуваних поверхонь не більше $0,05 \text{ Вт/см}^2$. Метод охолодження природною конвекцією, будучи найпростішим, потребує підвищеної уваги конструктора до питань раціонального компонування за критерієм забезпечення нормального теплового режиму. При компонуванні апаратури слід прагнути до рівномірного розподілу потужності, що виділяється, по всьому об'єму виробу. Компоненти й вузли з більшим тепловиділенням слід розташовувати у верхній частині корпусу або поблизу стінок, критичні до перегріву компонента - у нижній частині, і захищати тепловими екранами.

Блискучий екран, що розділяє теплонавантажені й чутливі до перегріву модулі, знижує променистий тепловий потік приблизно вдвічі. З метою вирівнювання температури поверхні усередині апаратури теплонавантажені модулі повинні мати високий ступінь чорності. Для цього внутрішні поверхні кожухів і каркасів фарбують олійною чорною фарбою або лаками.

Апаратуру необхідно захищати від прямого попадання сонячних променів. Перегрів апаратури з темним фарбуванням кожуха, що освітлюється сонцем при незначній циркуляції повітря, може досягати $25...30 \text{ }^\circ\text{C}$. Наприклад, має місце перевищення температури металевих поверхонь (у градусах Цельсія) у помірному кліматі при прямому попаданні сонячних променів: без покриття - 24; пофарбованих у білий колір - 13; сірий - 21; чорний - 27. При компонуванні апаратури необхідно уникати утворення «пасток тепла», у яких відсутні конвективні потоки повітря. Для вирівнювання температури в каналах, утворених встановленими рядами модулів, повинні бути зазори не менше 30 мм.

Циркуляція повітря в приладах і стійках з герметичним кожухом є наслідком різниці густини повітря, нагрітого усередині ЕА, і більш холодного повітря біля стінок кожуха. Перегрів буде зменшуватися зі збільшенням зазору між модулями. На дні приладу з герметичним кожухом рух повітря практично відсутній.

При розрахунку теплового режиму апаратури із природним повітряним охолодженням важливо оцінити кількість теплоти, що виділяється від усіх нагрітих поверхонь виробу.

Кількість теплоти, що виділяється від поверхні S природною конвекцією, Вт,

$$Q = 4,187 \cdot 10^{-4} h_c S \Delta t, \quad (1.47)$$

де S - площа поверхні, см^2 ; Δt - перегрів, $^{\circ}\text{C}$; h_c - коефіцієнт конвективної теплопередачі, зумовлений як $h_c = 0,52C(55 \cdot \Delta t/l)^{0,25}$, де C - константа, що залежить від орієнтації поверхні (рис. 1.55):

- для вертикальної площини $C=0,56$;
- верхньої горизонтальної площини $C=0,52$;
- нижньої горизонтальної площини $C = 0,26$);
- l - довжина шляху теплового потоку, см .

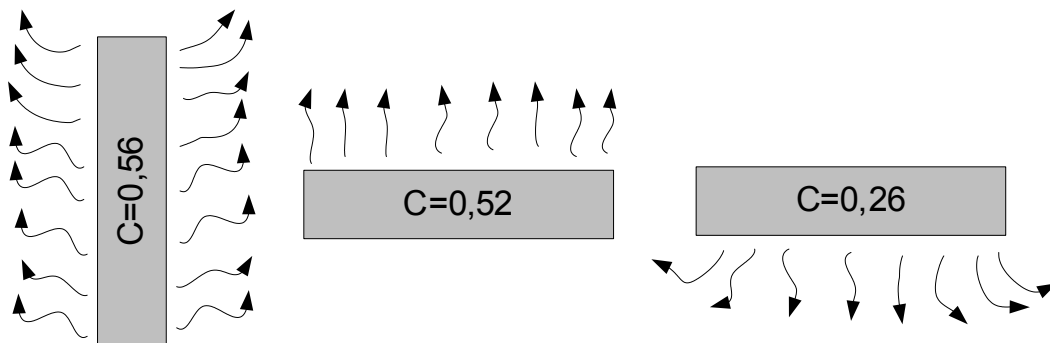


Рисунок 1.55 – Орієнтація охолоджувальної площини

Для обчислення l необхідно користуватися такими рекомендаціями:

- якщо орієнтація поверхні вертикальна й плоска, то довжина обчислюється як найбільший розмір по вертикалі, але не більше 50 см ;
- якщо орієнтація поверхні вертикальна й плоска непрямокутна, то довжина знаходиться як відношення площини до найбільшого горизонтального розміру;
- якщо орієнтація поверхні горизонтальна й плоска, то довжина обчислюється як відношення суми довжини й ширини до подвоєної суми довжини й ширини.

Приклад. Обчислити передачу теплоти природною конвекцією із плоскої прямокутної пластини розмірами 10×20 см , що має перегрів 20 $^{\circ}\text{C}$ відносно температури навколишнього середовища. Передача теплоти здійснюється із двох поверхонь пластини. Передачею теплоти з торцевих поверхонь пластини можна знехтувати.

Розглянемо три варіанти розміщення пластини в просторі, коли вона орієнтована:

А – вертикально короткою стороною уздовж вільних конвективних потоків повітря;

Б – вертикально довгою стороною уздовж вільних конвективних потоків повітря;

C – горизонтально впоперек вільних конвективних потоків повітря.

З вертикально орієнтованої пластини відповідно знімаються такі теплові потоки:

$$Q_A = 4,187 \cdot 10^{-4} \cdot 0,52 \cdot 0,56 \cdot \sqrt[4]{55} \cdot \sqrt[4]{20 / 10} \cdot (2 \cdot 10 \cdot 20) \cdot 20 = 3,16 \text{ Вт},$$

$$Q_B = 4,187 \cdot 10^{-4} \cdot 0,52 \cdot 0,56 \cdot \sqrt[4]{55} \cdot \sqrt[4]{20 / 20} \cdot (2 \cdot 10 \cdot 20) \cdot 20 = 2,65 \text{ Вт},$$

а з верхньої горизонтально орієнтованої поверхні знімається

$$Q_{BB} = 4,187 \cdot 10^{-4} \cdot 0,52 \cdot 0,52 \cdot \sqrt[4]{55} \cdot \sqrt[4]{\frac{20 \cdot (10 + 20)}{2 \cdot (10 + 20)}} \cdot (10 \cdot 20 \cdot 20) = 1,36 \text{ Вт},$$

з нижньої поверхні -

$$Q_{BH} = 4,187 \cdot 10^{-4} \cdot 0,52 \cdot 0,26 \cdot \sqrt[4]{55} \cdot \sqrt[4]{\frac{20 \cdot (10 + 20)}{2 \cdot (10 + 20)}} \cdot (10 \cdot 20 \cdot 20) = 0,68 \text{ Вт},$$

що в сумі становитиме

$$Q_B = 1,36 + 0,68 = 2,04 \text{ Вт}.$$

Таким чином, найліпша орієнтація пластини - вертикальна з напрямком потоків повітря уздовж її короткої сторони.

Примусове повітряне охолодження автономними вентиляторами широко використовується в апаратурах з тепловиділенням не більше $0,5 \text{ Вт/см}^2$ і виконується за схемою подачі охолодженого повітря знизу нагору й зверху вниз. За першою схемою повітря забирається з підлоги, за другою - зі стелі. Забір повітря з підлоги, де має місце найбільша кількість пилу, призводить до підвищеного запилення апаратури, охолодження за схемою зверху вниз - до меншого запилення, але потребує більшої витрати повітря, оскільки його температура зі збільшенням висоти забору зростає.

Застосовують припливну, витяжну й припливно-витяжну схеми вентиляції. У припливній схемі вентилятор засмоктує холодне повітря усередину виробу. У витяжній - нагріте повітря виштовхується з виробу. У припливно-витяжній використовуються два вентилятори на вході й виході повітря з виробу. Вентилятор за припливною схемою вентиляції працює у сприятливих умовах при зниженій температурі в більш щільному навколишньому середовищі, що забезпечує порівняно з витяжною вентиляцією більшу продуктивність. Однак у припливній схемі нагнітає повітря, що може частково йти через нещільності в корпусі й охолодження апаратури може виявитися недостатнім. Витяжну схему вентиляції, вільну від зазначеного недоліку, можна рекомендувати до використання в апаратурі з більшими аеродинамічними опорами. Припливно-витяжна схема дозволяє збільшити напір холодного повітря.

Конструктивно автономний осьовий вентилятор являє собою електродвигун із крильчаткою. Вентилятори встановлюються або безпосередньо в прилад, або в спеціальні блоки, що мають елементи комутації й фіксації на корпусі блока або каркасній стійці. У блоках розміщують один або декілька вентиляторів, протипиловий фільтр, елементи сигналізації несправного стану, аварійного відключення. Залежно від теплового навантаження апаратури у блок установлюють різну кількість вентиляторів. Незайняті встановлювані місця закривають заглушками. Тепле повітря, що виділяється з приладу, надходить у приміщення, з якого викидається в атмосферу або надходить на рециркуляцію у загальну систему кондиціонування. Підвищена запиленість апаратури, поява вібрацій у результаті роботи вентиляторів, нерівномірність розподілення холодного повітря – це недоліки розглянутого способу охолодження. Однак охолодження автономними вентиляторами реалізується конструктивно просто й забезпечує високу гнучкість при переплануванні технічних засобів.

Кількість теплоти Q , Ккал, яку одержує повітря масою m при збільшенні його температури на величину Δt ,

$$Q = cm\Delta t, \quad (1.48)$$

де c - питома теплоємність повітря, що дорівнює $0,24$ ккал/(кг·°C). Витрата повітря для охолодження, $m^3/\text{год}$,

$$V_P = 860kP / c\rho\Delta t, \quad (1.49)$$

де k - коефіцієнт (його звичайне значення $1,25$), що враховує витікання охолодженого повітря через нещільності в конструкції; P – споживана потужність, кВт; ρ - густина повітря (при 0°C і нормальному атмосферному тиску $\rho=1,293$ кг/м³).

Потужність, що розсіюється в ЕА у вигляді теплоти, відповідає потужності, яка споживається апаратурою. При повному переході електричної енергії в теплову справедливе співвідношення 1 кВт/ч дорівнює 860 Ккал.

Напор і продуктивність вентилятора визначають точкою перетинання його характеристики з характеристикою аеродинамічного опору охолоджуваної апаратури (рис. 1.56).

Для вибору вентилятора необхідно знати його характеристики й аеродинамічний опір охолоджуваної апаратури. Вентилятор має забезпечувати продуктивність V_B , що дорівнює з урахуванням можливого витікання охолодженого повітря, трохи більшу за розрахункову величину витрати повітря V_P . Якщо обраний вентилятор не забезпечує необхідну витрату V_B і його продуктивність виявляється менше

розрахункового значення V_p , необхідного для охолодження ЕА, то вона може перегрітися й вийти з ладу. На рис. 1.56 необхідну величину витрати повітря V_p для охолодження апаратури з деяким запасом забезпечує вентилятор, у якого є оптимум між напором повітря і його витрачанням. Установ-

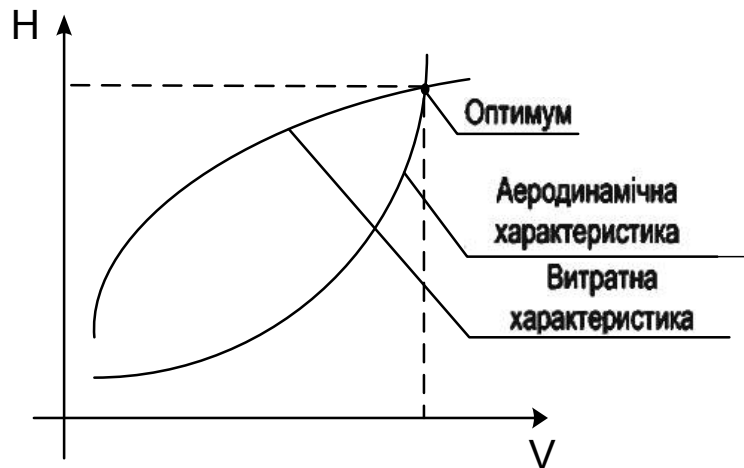


Рисунок 1.56 – Ефективність вентилятора:
 H – напор повітря; M – витрата повітря

лення потужнішого й більш громіздкого й важкого вентилятора часто не раціональна. Якщо необхідні параметри не забезпечуються жодним з варіантів, що є в наявності, то можливо використати декілька вентиляторів. Для підвищення продуктивності вентилятори встановлюють паралельно, а для збільшення напору – послідовно. При виборі вентилятора необхідно прагнути, щоб напор і продуктивність у робочій точці відповідали максимальному ККД. Інакше може спостерігатися неупорядкований рух повітря, коли нагріті потоки повітря можуть знаходитися в холодній зоні й навпаки, а також коли замість прямолінійного руху повітряних потоків спостерігаються завихрення й циркуляції.

Щоб уникнути попадання в ЕА пилу, охоложене повітря фільтрують. Матеріалом фільтрів є гумова крошка, мінеральна вата, скловолокно, фільтрувальна тканина або картон. До фільтрів повинен забезпечуватися легкий доступ для періодичної їхньої заміни або чищення.

Для більших ЕОМ зі значними тепловиділеннями можна рекомендувати подачу охолодженого повітря від центрального кондиціонера по системі воздуховодів, розташованих під підлогою машинного залу, у стояку. Оскільки охоложене повітря подається безпосередньо в стояки, то його можна охолодити трохи нижче температури повітря, що подається в машинний зал для охолодження апаратури з вбудованими автономними вентиляторами й створення комфортних умов обслуговуючому персоналу. Це приведе до меншої витрати переохолодженого повітря, зменшенню запиленості апаратури. Регулюванням витрати повітря і його параметрів можна домогтися швидкого введення ЕОМ у нормальний тепловий режим. Недоліками подібного

підходу є необхідність у розробленні системи кондиціонування й воздуховодів, значні складності при переплануванні технічних засобів при установленні нового обладнання. Водоповітряну систему охолодження можна рекомендувати для виробів з високими щільностями компонування радіокомпонентів.

1.10.4 Тепловідведення випромінюванням

Для розрахунку потужності, що віддається випромінюванням P_L від нагрітої поверхні S_i з температурою T_i на поверхню з температурою T_j або в навколишнє середовище, є вираз

$$P_L = \alpha_L S_i (T_i - T_j), \quad (1.50)$$

де α_L - коефіцієнт теплообміну випромінюванням, Вт/(м²·К);

$$\alpha_L = 5,67 \cdot 10^{-8} \varepsilon \phi_{ij} \frac{(T_i + 273)^4 - (T_j + 273)^4}{T_i - T_j}; \quad \varepsilon - \text{наведений ступінь чорності}; \quad \phi_{ij} - \text{коефіцієнт, що показує, яка частина енергії тіла } i \text{ попадає на тіло } j.$$

Ступінь чорності деяких матеріалів наведено в табл. 1.17.

Таблиця 1.17 – Ступінь чорності різних матеріалів

Матеріал	Ступінь чорності
Сталь	0,8
Нікель	0,4
Алюміній	0,3
Дюралюміній	0,37
Титан	0,63
Фарби емалеві, лаки	0,92
Фарби матові	0,92
Фарба алюмінієва	0,28
Фарба бронзова	0,51

Приклад. Обчислити потужність тепловідведення випромінюванням з прямокутної пластини розміром 10x10 см, що має перегрів 30°C щодо температури навколишнього середовища 25°C. Тепловідведення здійснюється із двох поверхонь пластини. Тепловідведенням з других поверхонь можна знехтувати. Матеріал – алюміній, $\phi_{ij} = 1,0$.

Розв'язання. Знімання теплоти здійснюється з двох поверхонь пластини загальною площею $2 \times 0,1 \times 0,1 = 0,02 \text{ м}^2$:

$$\alpha_{\text{л}} = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,3 \cdot 1,0 \frac{(303)^4 - (298)^4}{5} = 1,846 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К});$$

$$P_{\text{л}} = 1,846 \cdot 0,02 \cdot 5 = 0,185 \text{ Вт}.$$

1.10.5 Методи охолодження при конструюванні приладових пристроїв

За видом теплоносія системи охолодження поділяють на повітряні, рідинні й випарні. Найбільша інтенсивність передачі тепла характерна для випарних систем, найменша - для повітряних. За характером руху теплоносія розрізняють системи примусового й природнього руху охолоджувального середовища. Основна доля перенесення тепла в цих системах відбувається за рахунок конвекції, спостерігається також перенесення тепла за рахунок випромінювання і теплопровідності. Наприклад, у конструкціях електронної апаратури при нормальних кліматичних умовах і природньому охолодженні близько 70% тепла відводиться за рахунок конвекції, приблизно 20% - шляхом випромінювання і 10% - за рахунок теплопровідності. Під час вибору методу охолодження ЕА слід пам'ятати, що застосування примусового повітряного, рідинного або випарного охолодження ускладнює конструкцію, збільшує її об'єм і ціну. Тому з міркувань економічності передусім необхідно намагатися використовувати природне охолодження. Вибір методу охолодження залежить також від густини відведеного теплового потоку. Системи природно-повітряного охолодження дозволяють відводити теплові потоки густиною $q \leq 0,2 \text{ Вт}/\text{см}^2$, примусово-повітряного охолодження – $q \leq 1 \text{ Вт}/\text{см}^2$, рідинного охолодження – $q \leq 20 \text{ Вт}/\text{см}^2$ і випаровувального охолодження – $q \leq 200 \text{ Вт}/\text{см}^2$.

Залежно від конструктивного виконання розрізняють дві системи охолодження блоків: для приладів у герметичних кожухах, де охолодження здійснюється конвективним теплообміном за схемою елемент - повітря - кожух - зовнішнє середовище; для приладів у перфорованих кожухах, де охолодження відбувається за схемою елемент - повітря - повітря і частково кожух - повітря.

Для попередньої оцінки теплового режиму електронного блока необхідно установити тепловиділення всіх елементів і співвіднести його до площини поверхні цього блока. Якщо електронна апаратура

виконана у вигляді стояка з блоками, то попереднє оцінювання теплового режиму апаратури при повітряному охолодженні можна проводити за діаграмою, зображеною на рис. 1.57.

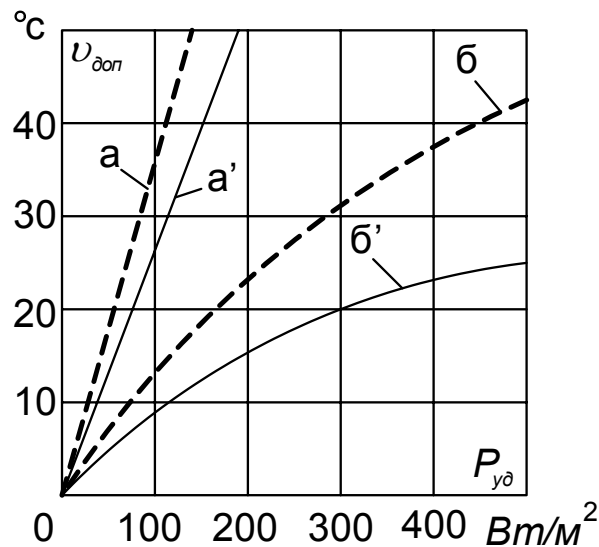


Рисунок 1.57 – Діаграма для приблизного оцінювання теплового режиму електронної апаратури при повітряному охолодженні

Користування показаною діаграмою зводиться до такого:

1. Обчислюють питому потужність $P_{пт}$, тобто потужність, що припадає на одиницю поверхні:

а) у випадку якщо потужності, що розсіюються в блоках, відрізняються не більш ніж на 15% ,

$$P_{nm} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{2(L_1 \cdot L_2 + L_2 \cdot L_3 + L_1 \cdot L_3)}, \quad (1.51)$$

де P_i - потужності джерел тепла усередині i -го блока, Вт; n - кількість блоків у стояку; L_1, L_2, L_3 - габаритні розміри стояка, м;

б) якщо потужність розподілена між блоками з нерівномірністю більше 15%, то

$$P_{nm} = \frac{P_{i, макс}}{2H_i(L_1 + L_2)}, \quad (1.52)$$

де $P_{i, макс}$ - теплова потужність найвантаженого блока, Вт; H_i - висота цього блока, м.

2. Визначають допустиме перегрівання усередині блока:

$$v_{\text{доп}} = t_{\text{доп}} - t_c, \quad (1.53)$$

де $t_{\text{доп}}$ - допустима температура нагрітих зон усередині блоків, °С; t_c - температура навколишнього середовища, °С.

3. Для розрахованих значень $P_{\text{пт}}$ і $v_{\text{доп}}$ на діаграмі знаходять точку. Якщо точка розташована вище лінії а (шасі вертикальне) або лінії а' (шасі горизонтальне), то можливе природне охолодження у пилозахисній або герметичній конструкції стояка. При попаданні точки в область, що лежить між кривими а, б (горизонтальне шасі) або між кривими а', б' (вертикальне шасі), можливе використання природного повітряного охолодження блоків у перфорованих кожухах (корпусах). Якщо точка знаходиться нижче лінії б (горизонтальне шасі) або нижче лінії б' (вертикальне шасі), потрібне примусове охолодження.

Недоліком природного повітряного охолодження блоків з перфорованим кожухом є запилення внутрішнього об'єму блока.

За способом подачі повітря системи загальної вентиляції поділяються на припливні (повітря подається вентилятором у блок) і витяжні (нагріте повітря засмоктується вентилятором з блока). Примусове повітряне охолодження дозволяє у десять і більше разів підвищити тепловантаженість порівняно з природним, але потребує застосування вентиляторів і ускладнює конструкцію електронної апаратури, підвищує її вартість. При використанні примусового рідинного охолодження рідина, найчастіше дистильована вода або антифризи, прокачується насосом через спеціальні канали в охолоджуваних вузлах приладів (трансформатори та ін.) і надходить у теплообмінник, розташований поза блоком, де охолоджується і знову за допомогою насоса повертається в бак для наступного циклу (рис. 1.58).

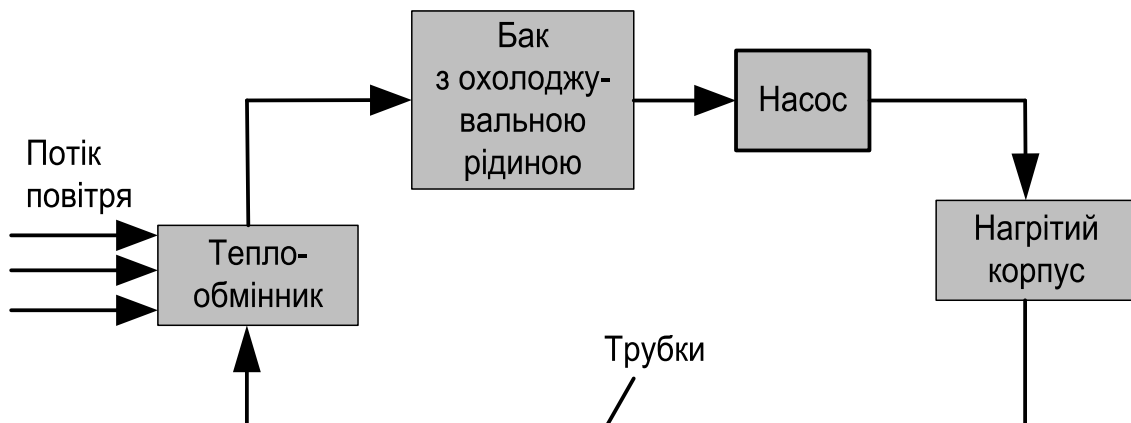


Рисунок 1.58 – Схема системи примусового рідинного охолодження електронної апаратури

Основний недолік примусового рідинного охолодження - більш складна система забезпечення теплового режиму, яка потребує розгалуженої мережі трубопроводів, з'єднувачів, клапанів, баків і насосів.

Дешевший і простіший в реалізації природний режим рідинного охолодження. Зазначений режим не потребує насоса і використовується при нетривалій роботі апаратури.

Суть методу полягає у тому, що спеціальні канали для рідини відсутні, а сама рідина заповнює весь простір, де розміщуються елементи конструкції.

Прикладом випарного охолодження є тепла трубка, що являє собою вакуумовану трубку, заповнену рідиною (рис. 1.59).

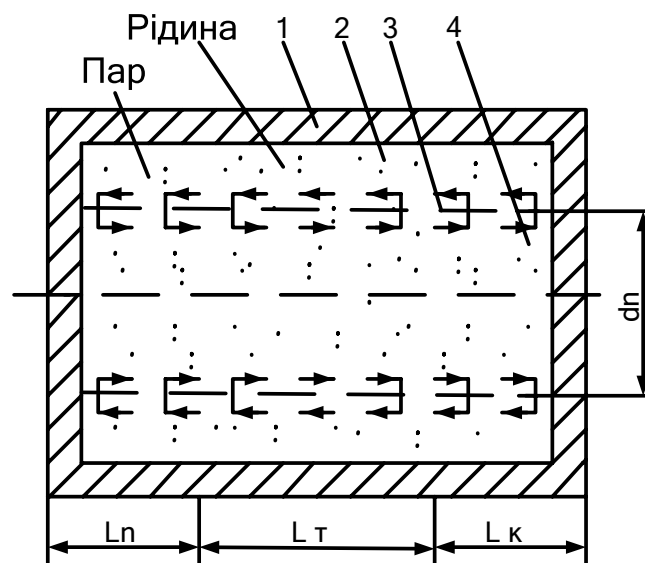


Рисунок 1.59 – Низькотемпературна тепла труба:

1 – герметичний корпус; 2 - гніт; 3 - пружина, що притискає гніт до стінок корпусу; 4 - паровий канал; d_n - діаметр парового каналу; L_n , $L_т$, $L_к$ – довжина випарювальної, транспортної й конденсаторної ділянок відповідно

За рахунок тепловиділення елементів конструкції один кінець трубки нагрівається, а утворені пари конденсуються на іншому, більш холодному кінці. Завдяки покриттю внутрішніх стінок трубки керамікою, скляними або металевими волокнами, азбестовою тканиною повертається рідина до нагрітого кінця через капіляри в покритті (гноті). Положення таких трубок у конструкції може бути будь-яким.

Оскільки теплові трубки тільки відводять тепло, не будучи радіаторами, конструктор повинен передбачити на холодному кінці трубки застосування повітряного або рідинного теплообмінника. Безгнітова тепла трубка завжди розташовується вертикально, холодним кінцем уверх, щоб забезпечити зворотне транспортування теплоносія у

випарну зону за рахунок гравітації. Теплові трубки доцільно застосовувати для охолодження потужних напівпровідникових приладів.

1.10.6 Рекомендації щодо конструювання електромеханічних та електронних пристроїв з урахуванням теплових впливів

У герметичних пристроях теплові контакти елементів конструкції з корпусом мають особливе значення. Так, наприклад, у герметичних блоках при високій густині заповнення єдино можлива передача тепла - теплопровідністю. У конструкційному з'єднанні теплопровідність контакту залежить від таких факторів: шорсткості поверхні з'єднувальних елементів, величини контактної тиску та з'єднувальних матеріалів. При цьому тепловий опір може бути зменшений такими шляхами: застосуванням матеріалів з більшою теплопровідністю, вибором гальванічних покриттів поверхонь, що контактують, зменшенням їх шорсткості, виключенням можливості їх забруднення.

При виборі матеріалів конструкційних з'єднань слід враховувати, що малий контактний тепловий опір забезпечують мідь, алюміній, свинець, а також кадмієві й олов'яні покриття. У герметичній конструкції мають бути надійні теплові контакти між внутрішніми елементами й корпусом або передньою панеллю. За наявності між корпусом і передньою панеллю герметизуючих гумових прокладок додатково застосовують пружні з'єднання - шнури з латунних або бронзових дротиків, а також пластинчасті пружини (рис. 1.60).

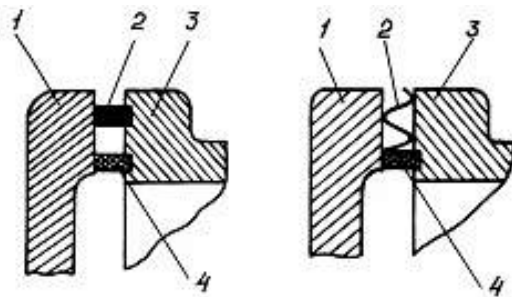
У герметичних конструкціях порівняно невеликих розмірів замість гумових прокладок іноді використовують свинцеві, які забезпечують надійний тепловий контакт. Для створення теплового контакту шасі із зовнішньою поверхнею корпусу застосовують бронзові пластинчасті пружини (рис. 1.61). Гвинтові з'єднання забезпечують добрий тепловий контакт при великих навантаженнях, тому доцільно використовувати гвинти великого діаметра (більше 4 мм).

При конструюванні частин і блоків необхідно враховувати такі вимоги:

- 1) чарунки з мікросхемами 3-го і 4-го рівнів інтеграції і печатними платами з потужними шинами, що віддають тепло, і металевими основами повинні мати надійний тепловий контакт з несучою конструкцією блока через максимально можливу поверхню;

- 2) при герметичному виконанні кожух електронного блока, як правило, виготовляють з листового алюмінієвого сплаву або з листо-

вої сталі, оскільки ці матеріали мають досить велику теплопровідність;



а

б

Рисунок 1.60 – Забезпечення теплового контакту між передньою панеллю і кожухом за допомогою металевго шнура (а) і пластинчастої пружини (б): 1 - передня панель; 2 - металевий шнур (а); пластинчаста пружина (б); 3 - кожух; 4 – гумова прокладка

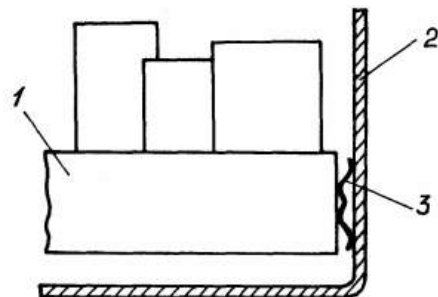


Рисунок 1.61 – Розміщення пластинчастої пружини, яка здійснює тепловий контакт між кожухом і шасі: 1 - шасі; 2 – кожух; 3 – пластинчаста пружина

3) для збільшення конвективного теплообміну між корпусом блока й повітряним середовищем зовнішні поверхні кожухів блоків можуть бути перевернуті, при цьому доцільно використовувати вертикальні ребра максимально можливої ширини, але не більше 20 мм, з відстанню між сусідніми ребрами 8...10 мм;

4) теплопередавальні поверхні чарунок і блоків слід покривати гальванічними й лакофарбовими покриттями, ступінь чорноти яких має бути $\varepsilon \geq 0,9$.

При природному повітряному охолодженні доцільне застосування таких основних заходів, які дозволяють знизити температурний фон у блоці:

1) забезпечити обтікання холодним повітрям усіх елементів конструкції;

2) теплонавантажені елементи розташовувати ближче до стінок блока;

3) теплочутливі елементи слід захищати від обтікання нагрітим повітрям;

4) забезпечити таку структуру конструкції, при якій теплочутливі елементи були б ізольовані від теплонавантажених;

По можливості теплонавантажені й теплочутливі елементи доцільно розміщувати в окремих блоках або відсіках;

5) при впливі променевої енергії теплочутливі елементи необхідно захищати екранами;

6) усі теплонавантажені елементи повинні мати добрі теплові контакти з несучими вузлами (шасі, плати, кожухи та ін.);

7) слід враховувати, що в літаковій електронній апаратурі, розташованій поза гермовідсіком, з підвищенням висоти польоту різко падає ефективність конвективного охолодження;

8) корпуси мікросхем, мікрозборок і дискретних електрорадіо-елементів доцільно розташовувати правильними геометричними рядами по осях X і Y, забезпечуючи тим самим формування повітряних каналів з найменшим гідравлічним опором (рис. 1.62);

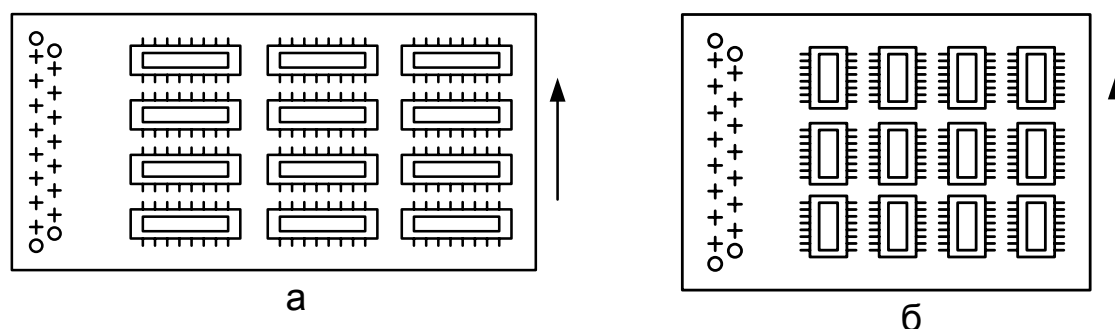


Рисунок 1.62 – Орієнтація мікросхем відносно вихідних контактів без урахування напрямку повітряного потоку (а), з урахуванням напрямку повітряного потоку (б)

9) частини в блоках необхідно установлювати вертикально (паралельно або перпендикулярно лицьовій панелі) і таким чином, щоб найменшим був розмір по вертикалі, тобто у напрямі руху охолоджувального повітря (рис. 1.62);

10) з метою створення достатнього за шириною повітряного каналу й збільшення конвективного теплообміну відстань $\Delta П$ між крайніми точками корпусів мікросхем і мікрозборок для сусідніх чарунок рекомендується вибирати не менше 5 мм (рис. 1.63);

11) при виборі габаритних розмірів блока слід враховувати явище “кам’яного” ефекту - у корпусів меншої висоти (при тих же поверхні й об’ємі) температура джерел тепла, корпусу, а також внутрішня температура нижчі, ніж у більш високих корпусів;

12) треба пам’ятати, що вертикальне розташування печатних плат більш вигідне для конвекції повітря порівняно з горизонтальним, але в невеликих приладах моноблокової конструкції теплові умови роботи горизонтально розташованих печатних плат сприятливі, якщо відношення висоти до ширини приладу менше 0,6;

13) у закритих і вентиляльованих корпусах температура печатних

плат підвищується менше при їх розміщенні на меншій висоті;

14) між даною поверхнею і поверхнею, на якій встановлено прилад, має бути достатньо відстані ΔY : для приладів $\Delta Y \geq 30$ мм, для приладових шаф і стояків $\Delta Y \geq 60$ мм (рис. 1.64);

15) якщо корпус приладу має перфорацію, то в горизонтальних печатних платах і шасі треба передбачати отвори, які забезпечують безперешкодний прохід повітряних потоків;

16) при перфорації корпусів і кожухів необхідно враховувати те, що перевагу слід віддавати вертикальним повітряним каналам (рис. 1.64).

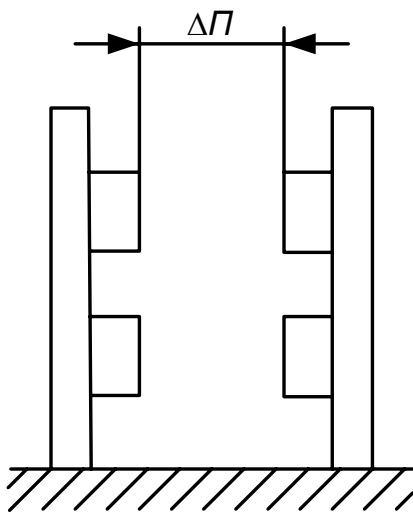


Рисунок 1.63 – Розміщення сусідніх чарунок електронної апаратури

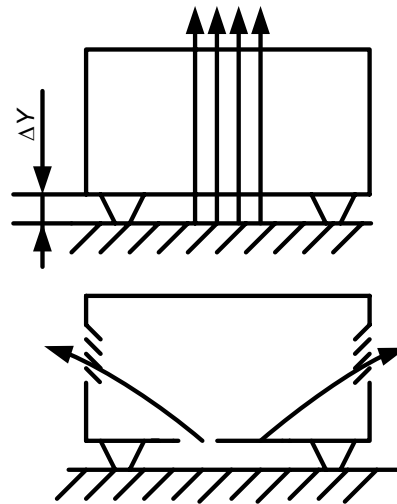


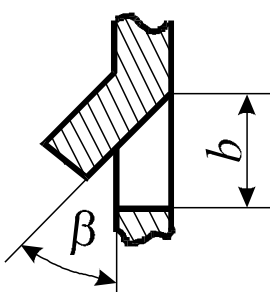
Рисунок 1.64 – Розміщення повітряних каналів у приладах

Отвори (перфорацію) і жалюзі для вентиляції розташовують у нижніх і бокових частинах кожуха, стояка або шафи. При цьому кількість повітря, що проходить, залежить від площини перфорації і різниці між густиною повітря на вході й виході блока. Оптимальне співвідношення між площиною отворів і поверхнею кожуха лежить у межах 20... 30%.

Розташування отворів залежить від розподілення тепловантажених елементів у об'ємі блока. Так, наприклад, при рівномірному їх розподіленні вентиляційні отвори теж рівномірно в шаховому порядку розміщені на відповідних частинах кожуха. Діаметри зазначених отворів вибирають з таких міркувань: для невеликих блоків із загальною площею поверхні до 3000 см^2 діаметр вибирають близько 6 мм, а для блоків з площиною поверхні 6000 см^2 і більше - 12 мм. Коли товщина стінок кожуха не забезпечує необхідної жорсткості, замість отворів

застосовують жалюзі, форма й розміри яких уніфіковані (табл. 1.18).

Таблиця 1.18 – Розміри вентиляційних жалюзі

β	b / l	Ескіз жалюзі
15	1 : 3	
30	1 : 2	
45	1 : 1	
60		
90		

У цій таблиці b - ширина жалюзі, а β - її довжина. Використання жалюзі, збільшуючи жорсткість стінок корпуса, погіршує теплообмін приблизно на 10% порівняно з отворами. Замість перфорації у верхній частині кожуха часто роблять вікно, яке займає до 70% усієї площини цієї частини кожуха й закривається кришкою, піднятою над кожухом на 10 мм.

При конструюванні блоків з примусовим повітряним охолодженням необхідно встановити потрібні витрати повітря й вибрати тип вентилятора, знайти теплові навантаження на окремі елементи конструкції, вибрати конструкцію блока щодо умов вентиляції, визначити розміщення елементів конструкції на шасі з точки зору їх найкращого охолодження. Конструкція, в якій використовується примусова повітряна вентиляція, повинна відповідати таким вимогам:

- мати малий аеродинамічний опір повітрю, що проходить;
- забезпечувати гарний доступ холодного повітря до теплонавантажених елементів;
- запобігати попаданню нагрітого повітря на теплочутливі елементи;
- захищати внутрішній об'єм від пилу;
- забезпечувати резервування примусового повітряного потоку;
- здійснювати автоматичне вимикання блока при виході зі строю системи примусової вентиляції;
- забезпечувати локальне повітряне охолодження для блоків з потужними лампами, транзисторами й мікросхемами. При цьому приплив охолодженого повітря може створюватися як спеціальним вентилятором, так і подачею повітря із загального повітроводу;
- не застосовувати наскрізні малоефективні канали, для чого вузли розташовувати в шаховому порядку або встановлювати між ними перегородки;

– розташовувати вузли, наприклад, у вигляді паралелепіпеда так, щоб їх найменша грань була перпендикулярна до повітряного потоку;

– віддавати перевагу використанню осьових вентиляторів, відцентрові вентилятори встановлюють в приладові стояки й шафи тільки у випадку високого опору в них потоку повітря;

– не перевищувати максимально допустимої швидкості ($\omega_{\max} = 4$ м/с) повітря усередині блока або приладової шафи;

– виконувати основні рекомендації, характерні для конструкцій частин і блоків, які працюють при природному конвективному теплообміні.

Системи примусового рідинного охолодження мають свою елементну базу, яка складається із гнучких і жорстких мідних трубопроводів, вентилів, циркуляційних насосів і гідрорознімань. При цьому як трубопроводи переважно необхідно використовувати мідні трубки із внутрішнім діаметром 8 мм, які забезпечують гарну тепловіддачу і мають необхідну корозійну стійкість.

В електронній апаратурі широко використовують індивідуальні засоби захисту радіоелементів від теплових впливів. Найпоширенішим типом індивідуального тепловідвідного пристрою для напівпровідникових приладів (діодів і транзисторів) є радіатор, який являє собою металеву теплопровідну пластину з гладкою або розвинутою поверхнею. Існують такі типи радіаторів: пластина, радіатор з повздовжнім розташуванням ребер, радіатор із зигзагоподібним розташуванням ребер, радіатор із “крильцями”, “зірочка”, ребристий, двобічний штировий, гольчасто-штировий радіатори, гольчастий і спіральний радіатори.

Металева пластина товщиною 2...5 мм є найпростішою формою радіатора, яку застосовують для приладів з невеликою потужністю розсіювання.

Штирові радіатори порівняно з ребристими за потужністю розсіювання, віднесеною до одиниці маси радіатора на 1 градус перегріву ($P/G \Delta t$), дають вигоду у 20... 60%.

Для радіаторів використовують матеріали, які мають гарну теплопровідність і малу питому вагу, як правило, алюміній і його сплави (Амц, Д16, АІ2 та ін.), магнієві (МА1, МА8) і берилієві сплави. Ребристі й штирові радіатори виготовляють литтям або фрезеруванням із суцільної заготовки. Для підвищення тепловіддачі випромінюванням поверхню радіатора фарбують темною матовою фарбою або піддають травленню і окисдуванню з додаванням чорного фарбника. Для зниження теплового опору контакту рекомендується поверхню радіатора, яка контактує з напівпровідниковим приладом, обробляти з чистотою,

для якої $1,25 \leq R_a \leq 2,5$. На контактну поверхню слід наносити в'язкі речовини з високою теплопровідністю, наприклад поліметилсилоксанові рідини.

Між корпусом напівпровідникового приладу й радіатором недоцільно встановлювати ізоляційні прокладки, краще електрично ізолювати радіатор від шасі електронної апаратури, а напівпровідниковий прилад кріпити на радіатор без ізоляції. Напівпровідниковий прилад розташовують у центрі радіатора. При розміщенні кількох приладів їх установлюють з урахуванням рівномірного розподілу теплової потужності на поверхні радіатора. При охолодженні радіатора за рахунок природної конвекції повітряні канали слід розташовувати вертикально, а при обдуванні повітрям - у напрямі його руху.

1.11 Радіаційний вплив і конструювання приладових пристроїв

1.11.1 Джерела іонізуючого випромінювання

Основними джерелами іонізуючих випромінювань (ІВ) [18, 22] є: ядерний вибух, ядерні енергетичні й силові установки, космічний простір. За характером випромінювання розрізняють корпускулярні й електромагнітні іонізуючі випромінювання. Корпускулярні утворюються елементарними частинками: нейтронами, протонами, електронами, бета- і альфа-частинками й осколками ділення ядер; електромагнітні - це рентгенівське й гамма-випромінювання, а також світлове (теплове) випромінювання й електромагнітний імпульс ядерного вибуху. При цьому слід враховувати, що бета- і альфа-частинки мають слабку проникну здатність. Найсильніший вплив на функціонування апаратури мають нейтрони й гамма-випромінювання, інші частинки ядерного вибуху звичайно поглинаються атмосферою і суттєво не впливають на апаратуру. Нейтрони, будучи важкими частинками з високою масою і кінетичною енергією, мають велику проникну здатність. Гамма-кванти, які створюються в реакціях поділу, синтезу й захвату нейтронів, поширюються в просторі зі швидкістю світла, загасаючи знов обернено пропорційно квадрату відстані. Тому захист апаратури від впливу нейтронів є складнішим завданням, ніж захист від гамма-квантів.

Застосування ядерних установок як двигунів літальних апаратів і ракет дозволило забезпечити їх високу енергоозброєність порівняно з літальними апаратами на хімічному паливі й із сонячними елементами. Проте наявність ядерних установок на об'єкті призводить до того,

що на його апаратуру й електрорадіовироби можуть впливати іонізуючі випромінювання протягом досить тривалого періоду часу. При цьому до складу випромінювань входять нейтрони, гамма-випромінювання, бета-випромінювання і рентгенівські промені.

Джерелами іонізуючих випромінювань у навколоземному просторі є потоки космічних променів, утворені галактичними космічними променями (ГКП) і космічним випромінюванням Сонця (КВС), і радіаційні пояси Землі, розташовані на відстанях від декількох сотень до кількох десятків тисяч кілометрів від її поверхні. ГКП являють собою протони, ядра гелію, електрони, рентгенівські й гамма-випромінювання. Через низьку густину потоку галактичних космічних променів ці частинки спричиняють малу небезпеку для апаратури. КВС - це протони, ядра гелію і більш важких елементів, електрони, рентгенівське й радіовипромінювання. Космічне випромінювання Сонця виникає тільки в період сонячної активності й триває до 4 діб. Найсерйознішу небезпеку для апаратури літальних апаратів несуть в собі радіаційні пояси Землі. Магнітне поле Землі захоплює заряджені частинки (електрони, протони, іони), що падають на нього, і які й створюють радіаційні пояси Землі.

1.11.2 Особливості впливу іонізуючого випромінювання на радіокомпоненти й апаратуру

Вплив іонізуючого випромінювання може спричинити суттєві зміни характеристик електронної апаратури, оборотні й необоротні порушення її працездатності.

Тому при проектуванні цієї апаратури слід передбачати заходи щодо забезпечення потрібної радіаційної стійкості. Для цього у першу чергу необхідно мати уявлення про фізику радіаційних процесів в електровиробах, зміни їх параметрів, зміни вихідних параметрів підсистем і апаратури в цілому.

Радіаційний вплив спричиняє як негайну, так і реакцію, що накопичується в елементах ЕА. Серед існуючих видів випромінювань найбільш небезпечні електромагнітні випромінювання й частки високих енергій.

Повний спектр електромагнітних випромінювань охоплює діапазон довжин хвиль від десятків тисяч метрів до частинок нанометра. Найбільше на ЕА впливають рентгенівські випромінювання й гамма-промені (довжина хвиль менше 10 нм). Ці види випромінювання мають значну проникну й іонізуючу здатність і характеризуються дозою й потужністю випромінювання.

Експозиційна доза випромінювання, вимірювана в кулонах на кілограм (Кл/кг), являє собою кількість випромінювання, що створює за допомогою іонізації в одному кілограмі повітря заряд, що дорівнює одному кулону.

Потужність експозиційної дози характеризує інтенсивність випромінювання й вимірюється в амперах на кілограм (А/кг). Вона дорівнює експозиційній дозі випромінювання в 1 Кл/кг, переданій протягом 1 с. Значного поширення набули внесистемні одиниці вимірювання експозиційної дози, рентген, що дорівнює $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг, потужність експозиційної дози – рентгенів у секунду (Р/с).

Поглинена доза випромінювання, яка залежить від параметрів джерела випромінювання й особливостей речовини, що опромінюється, вимірюється відношенням середньої енергії, переданої випромінюванням речовині, до її маси. Одиницею поглиненої дози є (грей) $1 \text{ Гр} = 1 \text{ (Дж/кг)}$, що дорівнює поглиненій дозі, яка відповідає енергії в 1 Дж, переданій речовині масою 1 кг.

Потужність поглиненої дози характеризує інтенсивність передачі енергії випромінювання речовині й відповідає збільшенню поглиненої дози за одиницю часу (Гр/с). Допускається застосування внесистемних одиниць для опису поглиненої дози й потужності поглиненої дози, названих рад, або радій у секунду (радий/с); $1 \text{ радій} = 0,01 \text{ Гр}$.

На конструкцію ЕА істотно впливають заряджені частинки: α -частинки, протони, α -частинки й нейтрони, що мають високу проникну здатність. Для кількісного опису їхнього впливу застосовують фізичні величини, названі потоком і густиною потоку частинок.

Потік іонізуючих частинок характеризується відношенням числа частинок, що пройшли через дану поверхню за весь час опромінення, і вимірюється в с^{-1} .

Густина потоку іонізуючих частинок визначається потоком частинок, віднесеним до площі поверхні проникнення випромінювання, і вимірюється в $\text{с}^{-1} \cdot \text{м}^2$.

Опромінення частинками може спричиняти в речовинах оборотні, напівоборотні й необоротні явища. Оборотні явища виникають з початком опромінення, зберігаються протягом його дії і зникають з його припиненням. Напівоборотні явища виникають з початком опромінення, збільшуються з його дією і поступово зникають після його припинення. Необоротні явища виникають у процесі впливу певної дози опромінення, не зникають і не зменшуються після його припинення.

Найбільш стійкі до впливу опромінення метали. Так, інтегральний потік нейтронів величиною 10^{20} часток/см² на властивості більшості металів практично не впливає. Однак варто враховувати, що в більшості металів при опроміненні знижується межа текучості в 2 – 3

рази, ударна в'язкість зменшується, питомий опір зростає на 20...30%. Найменшу радіаційну стійкість мають магнітні матеріали й електротехнічні сталі. Деякі метали, наприклад марганець, цинк, молібден, після опромінення нейтронами самі стають радіоактивними.

Вплив випромінювання на полімери призводить до руйнування міжмолекулярних зв'язків, утворенню зернистих структур і мікротріщин. У результаті цього полімерні деталі втрачають еластичність, стають тендітними, зменшується їхня міцність на розрив.

При опроміненні резисторів виникають оборотні й необоротні зміни опору, рівень шуму збільшується, параметр вологостійкості зменшується. Керамічні й дотові резистори найбільш стійкі до дії опромінення. Інтегральний потік величиною до 10^{20} часток/см² майже не спричиняє змін їхніх параметрів. Менш стійкі до опромінення металоплівкові й плівкові вуглецеві резистори. Їхні параметри помітно погіршуються при інтегральному потоці понад 10 м частки/см². Так само чутливі до опромінення й композиційні резистори.

Опромінення конденсаторів погіршує їхню електричну міцність, змінює ємність і тангенс кута діелектричних втрат. Причиною цього є необоротні явища в структурі діелектрика, механічні деформації, іонізація діелектрика й повітряних проміжків. Найбільш стійкими до опромінення є керамічні, склоемалеві й слюдяні конденсатори. Конденсатори з органічним діелектриком (паперові, полістиролові, лавсанові, фторопластові тощо) мають знижену радіаційну стійкість. Електролітичні конденсатори мають найбільш низьку стійкість, у них розгерметизація й розкладання електроліту наступають при низьких дозах опромінення.

Порівняно з іншими типами електрорадіоелементів найменш стійкими до опромінення є напівпровідникові прилади й інтегральні мікросхеми внаслідок виникнення в них оборотних і необоротних явищ. Необоротні дефекти в напівпровідниках призводять до втрати випрямних властивостей діодів через поступове збільшення питомого електроопору вихідного матеріалу. Транзистори всіх типів при опроміненні втрачають підсилювальні властивості, у них зростають струми витоку, пробивна напруга знижується. Їхня радіаційна стійкість становить 10^{12} ... 10^{14} нейтронів/см² при опроміненні нейтронами й 10^4 ... 10^7 рад при гамма-опроміненні.

В інтегральних мікросхемах (ІМС) при опроміненні істотно змінюються характеристики внаслідок зміни параметрів вхідних резисторів, конденсаторів, діодів, транзисторів. Так само змінюються ізолюючі властивості р-п переходів, зростають струми витоку, з'являються численні паразитні зв'язки між елементами структури мікросхем, що в результаті призводить до порушення їхнього функціонування.

Варто відзначити, що радіаційний ефект зміщення - це переміщення атомів із свого нормального положення в кристалічні решітки матеріалу. Це спричиняє структурні дефекти кристалічної решітки: наявність вільних положень (вакансій) у решітці; виникнення додаткових атомів між її вузлами (міжвузлових упроваджень). В електронних пристроях ефекти зміщення впливають в основному на роботу напівпровідникових приладів, спричиняючи необоротні (довгочасні ефекти) та оборотні (імпульсне опромінювання) зміни їх параметрів. Іонізуючі ефекти зумовлені іонізацією й збуджуванням атомів речовини, тобто це пов'язано з утворенням вільних носіїв, які спричиняють виникнення струмів витоку, надмірних іонізаційних струмів. Це, у свою чергу, може спричинити виникнення хибних сигналів і перебоїв в апаратурі або перегорання її елементів.

У більшості випадків порушення працездатності апаратури при опромінюванні виникає через зміну параметрів напівпровідникових приладів та інтегральних мікросхем.

При впливі гамма-імпульсу в конструкції напівпровідникового приладу виникає іонізація, яка спричиняє появу короточасних міжелектродних провідностей і первинних фотострумів. У результаті цього виникають хибні електричні сигнали на виході схем, перегріваються й згорають транзистори. Вплив нейтронного імпульсу призводить до змін основних параметрів напівпровідникових приладів, наприклад, зміни вольт-амперних характеристик діодів, причому змінюються і зворотний струм, і напруга пробою.

Під час вибору напівпровідникових приладів слід враховувати такі особливості впливу іонізуючого випромінювання:

1) зворотні струми колекторного й емітерного переходів при впливі неперервних випромінювань у германієвих транзисторів збільшуються значно більше, ніж у кремнієвих;

2) на германієві транзистори в умовах дії іонізуючого випромінювання дуже впливає температура навколишнього середовища, а радіаційна стійкість кремнієвих транзисторів зі зміною температури практично не змінюється;

3) низьку радіаційну стійкість мають потужні низькочастотні транзистори;

4) польові транзистори із затвором на основі р-п переходу мають більшу радіаційну стійкість порівняно з транзисторами з ізольованим затвором;

5) уніполярні транзистори витримують менші рівні іонізуючого випромінювання, ніж біполярні;

6) більш високовольтні діоди менш радіаційно стійкі;

7) під впливом нейтронів у кремнієвих діодів суттєвим є збіль-

шення прямого, а у германієвих - зменшення зворотного опорів діодів.

При впливі імпульсного гамма-випромінювання в інтегральних мікросхемах усі зворотнозміщені переходи генерують фотоструми. Ці іонізаційні ефекти приблизно на порядок більші, ніж у схемах на дискретних елементах. Вплив нейтронного, електронного, протонного й гамма-випромінювань призводить до необоротних змін параметрів інтегральних мікросхем. Порушення їх працездатності виникає за рахунок зміни коефіцієнта посилення транзисторів цих мікросхем, причому для лінійних мікросхем зменшується, а у логічних - збільшується. Найбільшу радіаційну стійкість мають інтегральні мікросхеми на пасивних елементах. Зменшення відношення кількості активних елементів інтегральної мікросхеми до кількості пасивних, зниження розсіюваної в мікросхемі потужності, підвищення її універсальності, зменшення залежності вихідних параметрів мікросхеми від коефіцієнтів посилення транзисторів, що входять до її складу, - все це шляхи збільшення радіаційної стійкості мікросхем.

При впливі іонізуючого випромінювання на конденсатори змінюється їхня ємність. Більш стійкими до впливу нейтронного потоку є високочастотні керамічні, склокерамічні, скляні, слюдяні конденсатори. Найбільш радіаційно стійкі керамічні конденсатори. Електролітичні конденсатори мають невисоку радіаційну стійкість, з них найменш стійкі сухі алюмінієві фольгові й танталові рідинні конденсатори. Конденсатори з органічним діелектриком (паперові, полістиролові, лавсанові, триацетатні, фторопластові) мають занижену стійкість до іонізуючого випромінювання.

При впливі нейтронів змінюється опір резисторів, як правило, у бік його збільшення. Найбільш стійкі до впливу іонізуючого випромінювання керамічні й дровові резистори, оскільки в їх конструкції використовуються лише радіаційно стійкі матеріали, такі, як метал, кераміка, скло.

Найменш стійкі - боровуглецеві резистори, при дії іонізуючого випромінювання їх опір підвищується на 20%, тоді як у керамічних і дровових - на 2%.

Під впливом іонізуючого випромінювання опір ізоляції трансформаторів і дроселів зменшується порівняно з початковим на шість-сім порядків, але після припинення опромінювання відновлюється. Змінюється й опір ізоляції реле, електричних з'єднувачів. Радіаційна стійкість кабелів і проводів визначається радіаційною стійкістю їх ізоляційних матеріалів. Вплив ІВ (до $4 \cdot 10^{10}$ Р/с) на вироби з феромагнітних матеріалів спричиняє зміни проникності, коерцитивної сили, остаточної намагніченості, але не призводить до списання інформації як з феритових осередь, так і з пристроїв пам'яті на стандартних

кубах пам'яті.

Характерною реакцією резонансних фільтрів на іонізуюче випромінювання є зміна їхньої резонансної частоти в бік збільшення.

Із усіх електровакуумних приладів найбільшу стійкість до іонізуючого випромінювання мають приймально-посилувальні лампи. Найменш стійкі - фотоелементи й електронно-променеві трубки.

Вплив ІВ у деяких випадках може спричинити відмову контактної групи, перемикачів, щітково-колекторних вузлів і вузлів тертя електродвигунів. Критичність вузлів тертя до впливу випромінювання зумовлена зміною властивостей мастил.

Метали найбільш стійкі до впливу іонізуючого випромінювання, до того ж гамма-випромінювання на властивості металів практично не впливають. Найменшу радіаційну стійкість мають електротехнічні сталі й магнітні матеріали. Такі метали, як бор, марганець, кобальт, кадмій, цинк, молібден, після опромінювання тепловими нейтронами стають джерелами повторного іонізуючого випромінювання.

При опромінюванні скла змінюються оптичні властивості й колір.

При впливі радіації на апаратуру в цілому відбуваються зміна її вихідних характеристик, перекручення коду, зникнення кодових посилок та інші викривлення інформаційних потоків, наприклад, зміна порогів спрацьовування тригерів, перехід до режиму автоколивань, зміна амплітуди вихідних сигналів логічних схем. Це, у свою чергу, призводить до хибних спрацьовувань, перекручення імпульсних послідовностей, втрати записаної інформації та ін.

1.11.3 Конструювання радіаційно стійкої апаратури

При проектуванні радіаційно стійкої апаратури необхідно вміти раціонально вибирати електрорадіовироби для комплектації апаратури й застосовувати спеціальні схеми, структурно-функціональні рішення, конструктивні заходи. Можна виділити такі основні шляхи, спрямовані на підвищення радіаційної стійкості електронної апаратури [22]:

1. Особливу увагу слід приділяти вибору принципу дії системи, оскільки правильно вибраний принцип дії може стати єдиною можливим способом забезпечення радіаційної стійкості.

2. Необхідно підвищувати стійкість апаратури за рахунок зміни структури сигналів, наприклад, використання дискретних принципів оброблення інформації замість аналогових.

3. При розробленні структурних, функціональних і принципівих схем треба виділяти підсистеми, не критичні до впливу іонізуючого

випромінювання, що дозволяє зосередити увагу на підсистемах, в яких можуть виникнути хибні спрацьовування, перебої, що викликають порушення нормальної роботи апаратури.

4. У функціональні схеми підсистем, критичних до впливу іонізуючих випромінювань, доцільно вводити пристрої блокування, шунтування, резервні блоки зберігання інформації на магнітних ЗП, датчики, відновлювальні алгоритми системи, пристрої адаптивного захисту, фільтри та ін. Прикладом функціональної схеми, не чутливої до гамма-випромінювання, є схема пристрою, що використовує принцип резервування зі зсувом у часі за допомогою ліній затримок (ЛЗ) робочих сигналів у резервних каналах (рис. 1.65).

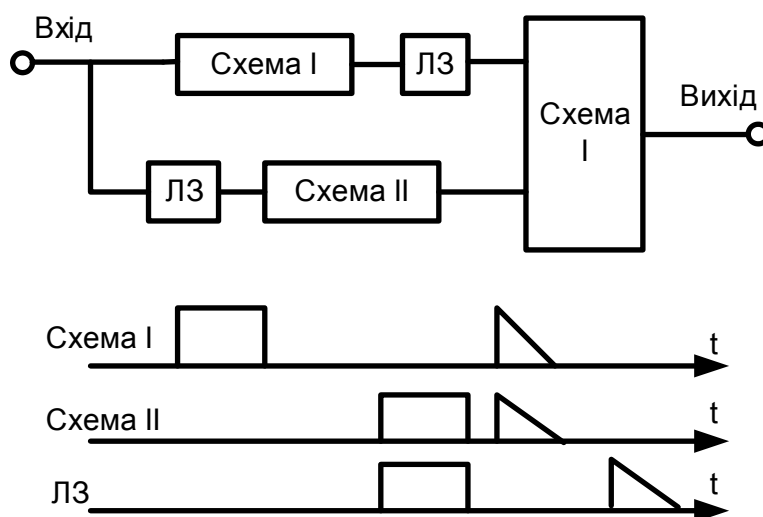


Рисунок 1.65 – Схема й часові діаграми пристрою, що використовує принцип резервуванням зі зсувом у часі робочих сигналів у резервних каналах

Пристрій забезпечує на виході схеми I, яка являє собою імпульсний трансформатор, заглушення хибного сигналу, який виникає одночасно в обох вузлах (схеми I і II), а корисний сигнал пропускає. При цьому час затримки ЛЗ має бути більшим за тривалість хибних імпульсів.

Іншим прикладом є схема пристрою адаптивного захисту, принцип дії якого базується на виявленні впливу іонізуючого випромінювання за первинним фотострумом діода або за перемиканням тиристора, переписуванням інформації із швидкодіючого ЗП, виконаного на мікросхемах, в радіаційно стійкий ЗП, реалізований на осердях, і відновленням інформації в початковому ЗП після закінчення перехідних

процесів, спричинених дією іонізуючого випромінювання.

5. Забезпечення стійкості апаратури до впливу нейтронів і гама-випромінювань на етапі складання функціональної й принципової схем у першу чергу слід здійснювати шляхом попереднього вибору комплектуючих виробів електронної техніки й електротехніки, які мають радіаційну стійкість, що відповідає заданим вимогам; при цьому необхідно враховувати особливості впливу іонізуючого випромінювання на електрорадіовироби й апаратуру і той факт, що визначальний вплив на радіаційну стійкість апаратури чинить стійкість приладів, виконаних на напівпровідниковій основі (діоди, транзистори, мікромодулі, мікросхеми, мікроскладання, фоторезистори та ін.);

6. Необхідно пам'ятати, що мінімізація розмірів напівпровідникових приладів і резисторів підвищує їх стійкість до іонізуючого випромінювання.

7. У радіаційно стійкій електронній апаратурі рекомендується використовувати малі ємності й опори, наприклад, застосовувати резистори з $r_{\text{ном}} < 10 \text{ кОм}$, а високоомні резистори захищати zalиванням або опресуванням епоксидною смолою.

8. Усюди, де це можливо, потрібно використовувати логічні схеми, що працюють у режимі насичення, пасивні елементи (індуктивності, трансформатори) і магнітні запам'ятовуючі пристрої. Із напівпровідникових приладів перевага віддається високочастотним приладам.

9. Щоб зменшити іонізаційний струм, рекомендується послідовно з напівпровідниковим діодом вмикати обмежувальний резистор.

10. За необхідності з'єднання в схемах кількох діодів кремнієві вмикаються паралельно, а германієві - послідовно. При послідовному з'єднанні діодів звичайно можна шунтувати їх опорами для зрівняння напруги, а при паралельному - послідовно з кожним із діодів вмикають додатковий опір (рис. 1.66).

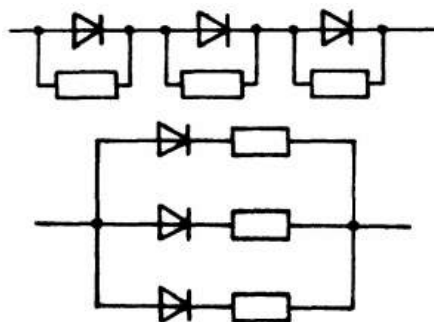


Рисунок 1.66 – Послідовне й паралельне ввімкнення діодів у радіоційно стійкій апаратурі

11. При розробленні принципів електричних схем необхідно, щоб заново створена схема допускала великі відхилення параметрів елементів, електрорадіовироби працювали в граничних режимах, чутливість схеми була мінімізована до зміни параметрів електрорадіовиробів;

12. Треба використовувати схеми з максимальним запасом за коефіцієнтом посилення і за перешкодостійкістю.

13. При виборі ненасиченого режиму роботи транзисторів слід забезпечити максимальний струм бази й мінімальний опір базового ланцюга.

14. Підвищити стійкість газорозрядних приладів до впливу імпульсного гамма-випромінювання можна вибором оптимального режиму роботи приладу.

15. Необхідно збільшувати стійкість контактних груп, перемикачів, щітково-колекторних вузлів і вузлів тертя електродвигунів шляхом підвищення контактних зусиль.

16. При проектуванні принципів схем апаратури можуть використовуватися вже конструктивно відпрацьовані у виробництві типові схеми, що мають необхідні характеристики радіаційної стійкості; у випадку відсутності таких схем слід створювати схеми, в яких максимальні зміни параметрів виробу, спричинені іонізуючим випромінюванням, не призводять до змін її вихідних параметрів за межі допустимих значень.

17. Якщо радіаційна стійкість виробу недостатня, то потрібне введення зворотних зв'язків між підсистемами й у системі в цілому, які дозволяють знизити вплив окремих параметрів вузлів і блоків на вихідні параметри апаратури.

18. Необхідно враховувати, що конструкція вузлів, блоків, їх компонування і електричний монтаж можуть суттєво впливати на радіаційну стійкість апаратури.

19. Доцільно використовувати корпуси вузлів, блоків, а також масивні вироби (трансформатори, дроселі та ін.) як захисні екрани для конструктивних елементів і виробів, чутливих до впливу іонізуючих випромінювань.

20. Оскільки лінії зв'язку, монтажні з'єднання при впливі імпульсу гамма-випромінювання можуть бути місцем виникнення іонізаційних струмів, то при розробленні конструкції апаратури слід передбачати оптимальний монтаж струмонесучих елементів і з'єднань, застосування спеціальних заливок на основі діелектричних матеріалів, які сприяють зменшенню іонізаційних струмів в електричних ланцюгах схеми.

21. Для захисту електронної апаратури від ІВ необхідно викори-

стовувати загальне екранування і локальний захист окремих компонентів апаратури багат шаровими екранами з таких матеріалів, як свинець, графіт, бор, нержавіюча сталь.

22. Поряд із спеціальними захисними оболонками й елементами конструкції апаратури, що виконують роль екранів, в окремих випадках слід передбачати використання як захисних екранів інших частин об'єкта, наприклад, баків з паливом для двигунів.

23. Для зменшення іонізаційних струмів між елементами й з'єднаннями схем апаратури доцільно розміщувати вузли або блоки у вакуумованих контейнерах або відсіках.

Контрольні запитання

1. Які способи використовують при інтенсифікації інтелектуального процесу пошуку нових конструктивних рішень?
2. Основні задачі стандартизації.
3. Класифікація схемної документації.
4. Вимоги за призначенням, що висуваються до конструкцій.
5. Кліматичне виконання РЕА.
6. Категорії розміщення РЕА.
7. Показники конструкції РЕА:
 - коефіцієнт використання мікросхем;
 - коефіцієнт густини компонування;
 - показник рівня мініатюризації;
 - показник заповнення об'єму.
8. Надійність конструкції РЕА.
9. Показники ремонтпридатності.
10. Показники безпеки.
11. Показники ергономіки:
 - антропометричні вимоги;
 - психофізіологічні вимоги.
12. Естетичні вимоги.
13. Показники технологічності й уніфікації.
14. Патентно-правові показники.
15. Умови експлуатації і їх вплив на вузли й прилади вимірювально-обчислювальних комплексів.
16. Вимоги щодо конструкцій РЕА в умовах механічних впливів.
17. Застосування віброізоляторів для захисту від механічних впливів.
18. Схеми розміщення віброізоляторів.
19. Статичний розрахунок систем віброізоляції.

20. Динамічний розрахунок систем віброізоляції.
21. Екранування вузлів і приладів для захисту від електромагнітного впливу.
22. Екранування проводів.
23. Захист конструкції РЕА від впливу електромагнітних перешкод.
24. Заземлення елементів конструкції для підвищення стабільної роботи.
25. Використання фільтруючих чарунок для послаблення перешкоди.
26. Забезпечення перешкодостійкості печатних плат електронних модулів.
27. Власна ємність і її вплив на працездатність печатного вузла.
28. Вплив перешкоди на печатний вузол, радіокомпоненти через власну ємність.
29. Вплив взаємної індуктивності на працездатність РЕА.
30. Зв'язок між взаємною індуктивністю і перехресною перешкодою.
31. Конструювання приладових пристроїв з урахуванням впливу кліматичних і біологічних факторів.
32. Захисні покриття.
33. Захист від впливу пилу.
34. Герметизація електронної апаратури.
35. Захист від температурних впливів.
36. Тепловідведення кондукцією.
37. Тепловідведення конвекцією.
38. Тепловідведення випромінюванням.
39. Методи охолодження при конструюванні приладових пристроїв.
40. Рекомендації щодо конструювання електромеханічних та електронних пристроїв з урахуванням теплових впливів.
41. Джерела іонізуючого випромінювання.
42. Особливості впливу іонізуючого випромінювання на радіокомпоненти й апаратуру.
43. Конструювання радіаційно стійкої апаратури.

2 КОНСТРУЮВАННЯ ОСНОВНИХ ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

2.1 Конструювання корпусів і блоків засобів вимірювальної техніки

Основним елементом при функціонально-блоковому конструюванні електронної апаратури є блок, який об'єднує касети, чарунки, печатні плати та інші елементи нижчих структурних рівнів. Відмінною рисою блока є наявність лицьової панелі. Блоки можуть мати самостійне застосування або входити до складу стояка, стелажа або шафи. Шафа характеризується наявністю дверей, які є його лицьовою стороною. Лицьову панель стояка утворюють блоки, що входять до неї.

Конструкції блоків, стояків та інших базових несучих конструкцій розробляють і випускають відповідно до конкретних умов експлуатації. Щодо застосування конструкцій блоків розрізняють сім видів апаратури: 1) стаціонарні ЕОМ; 2) апаратура дискретної автоматики; 3) стаціонарна апаратура (крім ЕОМ); 4) апаратура, призначена для розміщення на носіях, які мають колісний хід; 5) апаратура, призначена для розміщення на носіях, що мають гусеничний хід; 6) морська апаратура; 7) літакова й гелікоптерна апаратура.

Усередині кожного виду апаратури проведена уніфікація базових несучих конструкцій вищих структурних рівнів. Зараз промисловістю розроблені й випускаються типові ряди блоків для розміщення на різних носіях. Так, наприклад, габаритні розміри корпусів блоків і приладових шаф суднової електронної апаратури вибираються відповідно до норм і вимог державних і галузевих стандартів, наведених у праці [23], і тактико-технічних вимог до апаратури.

При конструюванні шаф, стояків, рам блоків, панелей і каркасів ЕОМ можливо використати рекомендації, що розглянуті у працях [24, 25]. ГОСТ 26765.20-91 передбачає координаційні розміри літакової РЕА; ОСТ 4ГО.410.009 регламентує конструкції та розміри шаф і шасі блоків наземної РЕА. Подібні нормативні документи існують і на інші види апаратури, призначені для встановлення на рухомих наземних засобах та ін. Ці документи регламентують конструктивне виконання ряду типорозмірів електронної апаратури, передбачають їх зовнішнє оформлення та габарити блоків.

Блок електронної апаратури, його форма та розміри відіграють важливу роль при компонованні стояків і шаф, тобто елементів вищих структурних рівнів.

При конструюванні й конструюванні блоків і приладових шаф широко застосовують рознімний і книжковий варіанти блоків у герметичному й негерметичному виконанні. Кожен з них має свої переваги та недоліки. Варіант рознімної конструкції (див. рис. 1.6) забезпечує легкознімність модулів, простоту конструкції й електричних з'єднань. Книжковий варіант конструкції (див. рис. 1.7) забезпечує високу густину й ефективно використання об'єму блока, вільний доступ до мікросхем і мікрозборок, навісних елементів і монтажних електричних з'єднань, які знаходяться у ввімкненому стані.

Приступаючи до розроблення апаратури, конструктор повинен поділити принципову схему на логічно закінчені частини за критерієм функціональності з урахуванням максимальної кількості можливих з'єднань і уніфікованого ряду типорозмірів блоків для даних умов експлуатації, вибрати типорозмір блока для кожної одержаної частини схеми. При виборі конкретного типорозміру блока конструктор повинен брати до уваги вимоги експлуатації, обсяг передбаченого випуску, нормативні документи по рядах базових несучих конструкцій для конкретної електронної апаратури, коефіцієнти заповнення об'єму блока конструктивними елементами. Вибір типорозміру блока, чарунки, шафи та ін. здійснюється за максимальним заповненням об'єму елементами.

Ряди базових несучих конструкцій часто будуються так, щоб при переході з одного типорозміру блока на інший можна було одержати постійний приріст його об'єму, хоча можливі й інші критерії.

Блоки літакової радіоелектронної апаратури (див. рис. 1.6) бувають малі (М), короткі (К), середні (С) і довгі (Д), малі низькі (МН) і короткі низькі (КН) [2]. Ширина блока може дискретно змінюватися в межах від 57 до 390 мм і визначатися залежністю

$$B_1 = B_n + (n - 1) \Delta, \quad (2.1)$$

де B - ширина начального блока (57 мм); n - ціле число в межах від 1 до 6; Δ - зазор між блоками, $\Delta \approx 10$ мм.

За висотою блоки поділяють на низькі (Н) – 88 мм і високі (В) – 194 мм. Так, блок, позначений 2МН, має ширину 124 мм, висоту 88 мм.

Як приклад розглянемо вибір блока рознімної конструкції (рис. 2.1), в якому можна виділити кілька зон.

Зона 1, що є корисним об'ємом блока, призначена для розміщення чарунок і має довжину $L_{\text{я}}$.

Зона 2 необхідна для розміщення елементів комутації чарунок, її характерний розмір $B_{\text{к}}$ визначається використовуваним типом

з'єднувачів і вибраним варіантом монтажу.

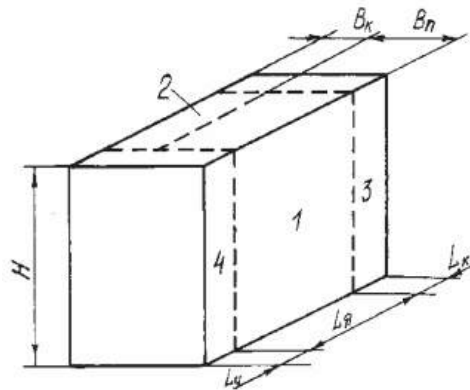


Рисунок 2.1. Конструктивні зони блока різимної конструкції

Зона 3 з характерним розміром L_k призначена для елементів міжблокової комутації, іноді в ній можуть розташовуватися повторні джерела постачання, фільтри та інші елементи.

Зона 4, що визначається розміром L_y , містить виступні елементи керування й індикації передньої панелі. З аналізу принципової схеми встановлюють складність апаратури N_a , із величини якої визначають кількість чарунок N_q . Висоту чарунки знаходять із нормативних документів, наприклад ОСТ 4ГО.010.009-84. Розміри печатної плати у цьому випадку визначені типом чарунки і будуть B_n , L_n . Ширину блока вибирають виходячи з ширини печатної плати B_n і ширини зони комутації B_k :

$$B = B_n + B_k. \quad (2.2)$$

Звичайно в блоках мікроелектронної апаратури $B_k = 30 \dots 40$ мм. Довжина пакета чарунок визначатиметься кількістю чарунок N_q і їх висотою H_q :

$$L_q = N_q H_q. \quad (2.3)$$

Довжина блока в цьому випадку

$$L = N_q H_q + L_k + L_y. \quad (2.4)$$

Її визначають його типом і звичайно вона не може бути підвищена або зменшена. Тому якщо кількість чарунок виявляється більше тієї, яка може вміститися в розмірі L_q , слід переходити на двоярусну конструкцію блока. При цьому дійсно збільшується висота блока.

2.2 Методи конструювання печатних плат і вузлів

Електричні й електронні функціональні вузли у більшості випадків складають на печатних платах (ПП). Їх класифікацію наведено на рис. 2.2.

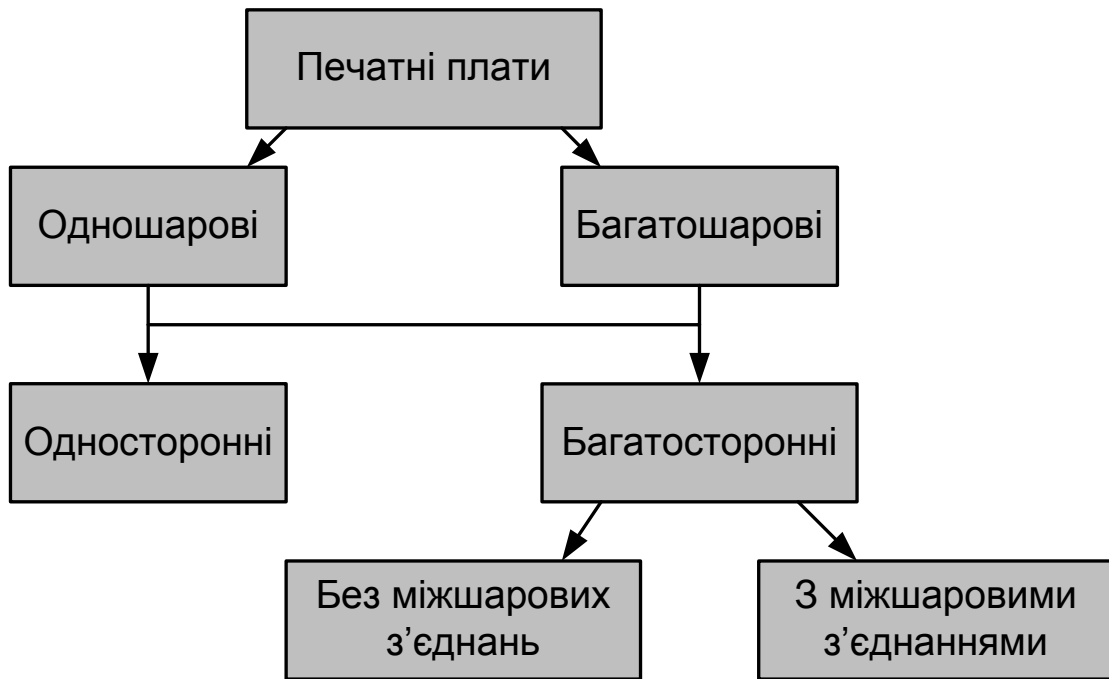


Рисунок 2.2 – Типи печатних плат

Перевага печатних плат порівняно зі звичайним електромонтажем полягає у тому, що вони мають більш високі електричні властивості, добру відтворюваність електричних і механічних параметрів, високу густину компонування електрорадіоелементів, малі масу й об'єм, невеликі витрати матеріалів і високу надійність.

2.2.1 Критерії вибору конструкції печатних плат

Під час вибору конструкції печатних плат слід враховувати габаритний критерій, критерій щільності рисунка і товщини провідного шару, критерій кількості шарів і матеріал основи.

Вибір габаритів плати безпосередньо пов'язаний з розбиттям електричної схеми блока на функціонально закінчені частини й послабленням негативного впливу таких явищ, як жолоблення, погіршений теплообмін у центрі плати, знижена ремонтпридатність, які зростають при збільшенні габаритних розмірів плати. Розміри печатних

плат вибирають за ГОСТ 10317-79. Довжина печатної плати звичайно регламентована з урахуванням розміру електричного з'єднувача.

Для літакової РЕА ширина становить 75 і 120 мм, а переважним є типорозмір печатної плати 170×75 мм. Згідно з ГОСТ 10317-79 розміри кожної сторони печатної плати інших типорозмірів мають бути кратними: 2,5 - при довжині до 100 мм; 5,0 - при довжині до 350 мм; 10,0 - при довжині 350 мм, а співвідношення лінійних розмірів сторін печатної плати не повинно перевищувати 3:1. Максимальний розмір будь-якої із сторін має бути не більше 470 мм.

Критерій густини рисунка безпосередньо пов'язаний з габаритним критерієм і класом точності печатної плати. При цьому визначальними розмірами елементів конструкції ПП (рис. 2.3) є: ширина t печатного провідника, відстань S між краями сусідніх печатних доріжок, гарантійний пояс b , відношення γ номінального значення діаметра найменшого із металізованих отворів до товщини печатної плати.

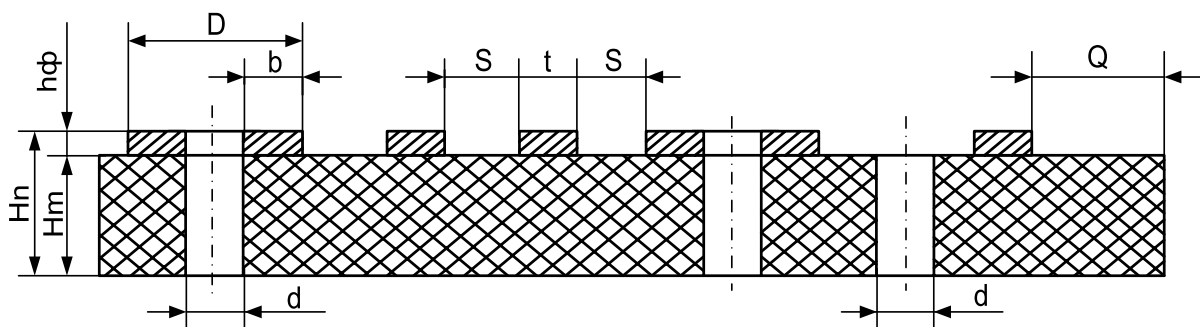


Рисунок 2. 3 – Конструкція односторонньої печатної плати (ОПП)

Найменші номінальні значення основних розмірів елементів конструкції печатних плат для вузького місця залежно від класів точності (ГОСТ 23751-86) наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Класи точності ПП

Умовне позначення	Номінальні значення основних розмірів для класу точності				
	1	2	3	4	5
t , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
S , мм	0,75	0,45	0,25	0,15	0,10
b , мм	0,30	0,20	0,10	0,05	0,025
γ	0,40	0,40	0,33	0,25	0,20

Для вільного місця ці значення допускається встановлювати за

будь-яким більш низьким класом, а для першого класу – збільшувати в два рази. Вибраний клас точності ПП конструктор перевіряє за нормою допустимих робочих напруг між елементами провідного рисунка, розташованого на зовнішньому шарі печатної плати (див. табл. 2.1, ГОСТ 23751-86), а також за допустимою густиною струму в печатному провіднику, яка для фольги лежить у межах $100...250 \text{ A/мм}^2$, а для гальванічної міді – $60...100 \text{ A/мм}^2$. Густина струму, у свою чергу, залежить від товщини провідного шару, яка регламентована трьома значеннями 20, 35, 50 мкм, і ширини печатного провідника.

За критерієм кількості шарів розрізняють односторонні (ОПП), двосторонні (ДПП) і багатошарові (БПП) печатні плати. Можливості трасування зростають уздовж ряду ОПП - ДПП - БПП, хоча при цьому збільшується трудомісткість виготовлення конструкції і зменшується її надійність.

Варіант печатної плати вибирає конструктор з точки зору технологічності конструкції. Він повинен намагатися застосовувати в першу чергу односторонні печатні плати й переходити до наступного типу тільки у тому випадку, якщо не можна забезпечити задані вимоги щодо розміщення й трасування. При цьому слід пам'ятати, що через технологічні труднощі трасування дозволено до 5% кількості всіх необхідних з'єднань виконувати за допомогою навісних переминок з ізольованого проводу, які напаюють вручну.

Через значні технологічні недоліки БПП конструктор повинен віддавати перевагу ДПП з прокладанням на їх поверхні провідних переминок замість печатних провідників, які не вмістились. При однакових габаритах і товщині плат жолоблення в ДПП завжди значно менше, ніж в ОПП, оскільки розташовані на основі з обох сторін металеві шари деякою мірою компенсують один одного.

Вибір товщини й матеріалу основи впливає на такі властивості печатних плат, як жорсткість, власна ємність і теплопровідність. Залежно від механічних вимог і методу виготовлення номінальна товщина жорстких печатних плат вибирається з ряду 0,8...1,0; 1,5...2,0; 2,5...3,0 мм, а гнучких ПП - з ряду 0,1...0,2...0,4 мм.

У вітчизняній практиці найбільше поширення знайшли печатні плати товщиною 1,0 і 1,5 мм, які дозволяють одержати мінімальні металізовані отвори в основі відповідно з діаметрами 0,32 і 0,48 мм.

При виборі товщини основи з точки зору жорсткості печатного вузла слід враховувати, що жорсткість пропорційна товщині в кубі. Для основи застосовують ізоляційні матеріали типу склопластики (гетинакс, склотекстоліт) або листовий метал (сплав алюмінію або низьковуглецеву сталь) з полімерною плівкою.

2.2.2 Загальні вимоги щодо конструювання печатних плат

Печатні плати мають відповідати загальним технічним умовам (ГОСТ 23752-79). Їх рекомендовано виконувати прямокутної форми. Печатні провідники, контактні площадки, металізовані отвори та інші конструктивні елементи розташовуються з урахуванням кроку координатної сітки, який вибирається відповідно до ГОСТ 10317-79. При цьому основний крок координатної сітки повинен дорівнювати 2,50 мм. Кроки координатної сітки менші за основний і відповідно дорівнюють 1,25; 0,625 мм. Діаметри монтажних, перехідних, металізованих і неметалізованих отворів вибирають з ряду: 0,4...1,8 (з кроком 0,1); 2,0...2,8 (з кроком 0,1) і 3,0 мм. Центри зазначених отворів мають розташовуватися у вузлах координатної сітки. Діаметр отвору вибирають з наміром одержання зазору між виводом РК і стінкою отвору 0,1 мм. Контактні площадки можуть мати будь-яку форму.

Однак частіше застосовуються кільцеві контактні площадки з отвором у центрі для виводів РК. Діаметр кільцевої площадки бажано збільшувати для підвищення надійності контакту. Слід уникати вузьких місць, стикування печатних провідників під гострим кутом і ланцюжків контактних площадок (рис. 2.4).

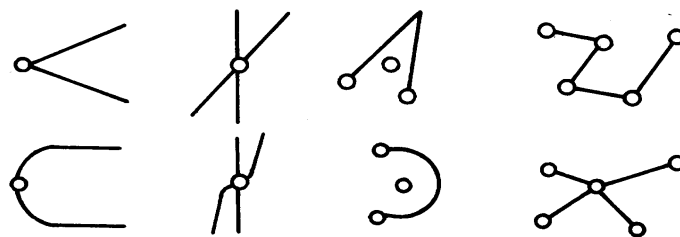


Рисунок 2. 4 – Правильні та неправильні варіанти підведення печатних провідників до контактних площадок

Для забезпечення перешкодостійкості печатних плат шини постачання й заземлення треба розташовувати з боку встановлення навісних елементів, сигнальні ланцюги - із зворотного боку, печатні провідники - на протилежних сторонах ПП орієнтують перпендикулярно один до одного. Необхідно також вибрати мінімальні довжини провідників, збільшені відстані між провідниками. Індуктивність шин постачання знижують шляхом збільшення їх ширини до 5 мм. При топологічному конструюванні ПП має бути досягнутий мінімум перетинів ліній з'єднань і мінімум довжини зв'язків. Мінімум перетинів означає також і мінімум перехідних отворів, а мінімум довжини зв'язків має велике значення для швидкодії й перешкодозахищеності пристрою.

2.2.3 Прямокутні вигини печатних доріжок

Є ще одна рекомендація, яка дозволяє підвищити стабільність роботи печатного вузла. У місці вигину під прямим кутом (рис. 2.5) ефективна ширина печатної доріжки зростає. Ділянка збільшеної ширини вносить у лінію передачі небажану паразитну ємність. Вигин під прямим кутом являє собою ємнісне навантаження, підімкнене посередині лінії передачі.

Можна скруглити зовнішній кут вигину, домігшись незмінної ширини доріжки. Це забезпечить ослаблення відбиття й перекручування фронтів сигналів при проходженні цього кута.

Ще простіше зрізати навскіс кут доріжки, як показано на рис. 2.6. Такий варіант зберігає ефективність до частот 10 ГГц (12 t. C. Edwards, Foundations for Microstrip Circuit Design, John Wiley and sons, New York, 1983). На практиці може виявитися, що простіше зрізати кути доріжок, ніж скругляти їх - це залежить від використовуваного програмного забезпечення (ПЗ) трасування печатної плати.

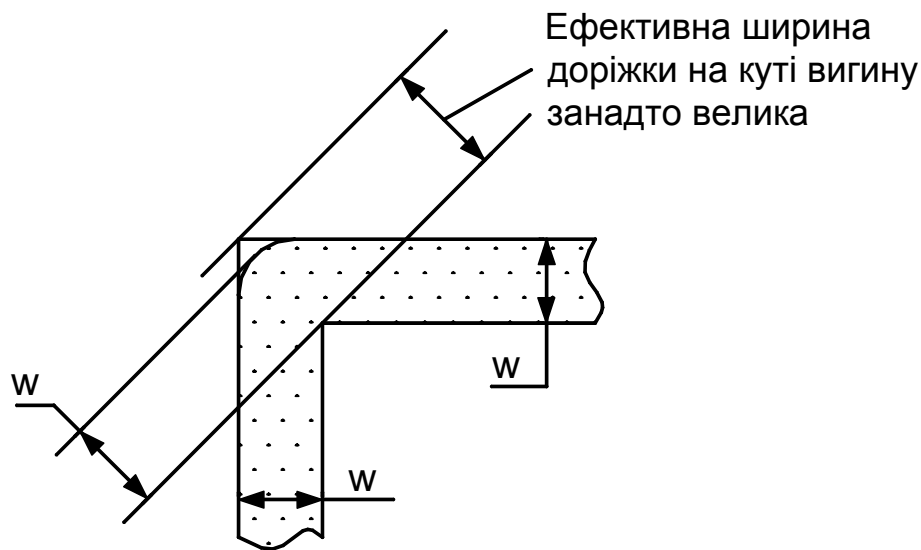


Рисунок 2.5 – Вигин печатної доріжки лінії передачі під прямим кутом

Величину ємнісної неоднорідності, створюваної заштрихованою ділянкою печатної доріжки, креслення якого наведено на рис. 2.6, визначають за формулою

$$C \approx \frac{61 \cdot w \cdot \epsilon_r^{0,5}}{Z_0}, \quad (2.5)$$

де w – ширина печатної доріжки, мм; ϵ_r – відносна діелектрична проникність підкладки; Z_0 – високочастотний хвильовий опір, Ом; C – паразитна ємність кута печатної доріжки, пФ.

Можна оцінити час наростання перехідної характеристики за рівнем 10...90%, що відповідає такому зосередженому ємнісному навантаженню, скориставшись формулою

$$T_{10...90} = 2,2 \cdot \left(\frac{2,4 \cdot w \cdot \epsilon_r^{0,5}}{Z_0} \right) \cdot \frac{Z_0}{2} = 2,64 \cdot w \cdot \epsilon_r^{0,5}. \quad (2.6)$$

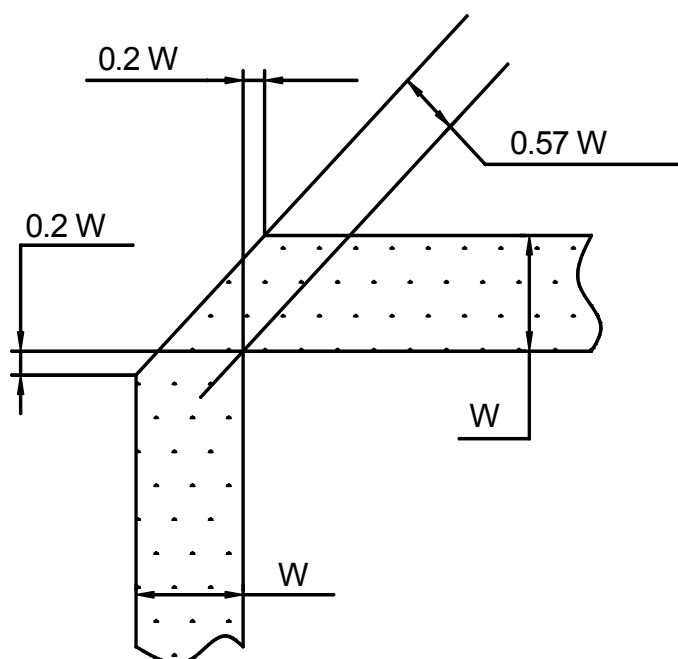


Рисунок 2.6 – Зріз кута на вигині печатної доріжки з метою зменшення ємнісної неоднорідності

Щоб зменшити цю ємність, потрібно зрізати навскіс кут доріжки так, щоб її ширина на цій ділянці скоротилася до 57% ширини доріжки на прямій ділянці. Цей спосіб дає ефект до частот на рівні 10 ГГц.

Безумовно, ця крихітна величина, цей "дріб'язок" може перетворитися в серйозну проблему для ланцюгів, у яких використовуються сигнали із тривалістю фронтів менше 100 пс і дуже широкі печатні доріжки (що у НВЧ-електроніці зустрічається всюди).

Не варто звертати увагу на вигини під кутом 45° – вони добре працюють без усяких скруглень.

2.2.4 Вимоги щодо використання й встановлення корпусів радіокомпонентів на печатній платі

Встановлення корпусних мікросхем та інших радіокомпонентів (РК) на печатні плати проводиться згідно з ОСТ 4ГО.010.030-81, в якому дано встановлювальні розміри, варіанти формування виводів радіоелементів та ін., решта РК поверхневого монтажу – згідно з вимогами встановлення використаних корпусів. Найбільш габаритні РК розташовують поблизу місць механічного кріплення плати. Навісні РК рекомендується встановлювати на печатні плати, використовуючи місця для мікросхем (IC) і мікрозборок (МЗ). За необхідності додаткового кріплення навісних РК на печатних платах деталі кріплення (кутники, кронштейни, тримачі, скоби, пелюстки та ін.) слід вибирати відповідно до вимог ОСТ 4ГО.812.000. Навісні РК при двосторонньому розміщенні корпусних IC, MC і безкорпусних MC рекомендується встановлювати з боку розташування

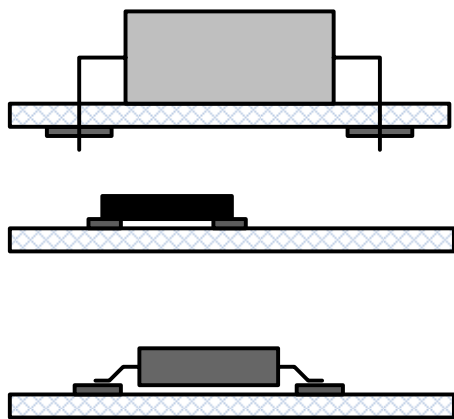


Рисунок 2.7 – Варіанти встановлення РК на печатній платі

електричних з'єднувачів або елементів електричної комутації. На рис. 2.7 зображено фрагменти встановлення навісних РК на печатній платі. Для забезпечення перешкодостійкості печатних вузлів мікросхеми підвищеного ступеня інтеграції (IC3 і IC4) слід розміщувати безпосередньо біля контактів з'єднувачів.

Невикористані контакти мікросхем розташовують між сигнальними виводами й з'єднують з шиною заземлення. Елементи з найбільшими кількостями загальних з'єднань розміщують якомога ближче один до одного.

Корпусні IC і MC установлюють на печатних платах відносно кінцевих контактів так, щоб виконувались вимоги щодо допустимого теплового режиму при природному або штучному охолодженні. При цьому виводи корпусів мікросхем і мікрозборок у випадку малих теплових навантажень можна розташовувати без урахування напрямку повітряного потоку (рис. 1.64, а). Для забезпечення найкращих умов охолодження корпусів IC і MC їх виводи відносно кінцевих контактів плати встановлюють з урахуванням повітряного потоку (рис. 1.64, б).

Мікросхеми й мікрозборки зі штирковими виводами розміщують тільки з однієї сторони печатної плати. IC і MC з планарними вивода-

ми можуть встановлюватися як з однієї, так і з двох сторін печатної плати симетрично один до одного. Корпусні ІС, МС і безкорпусні МС розташовують на печатних платах геометрично правильними рядами. При встановленні використовують клей і лак. Крок розміщення корпусних мікросхем і мікрозборок на ПП слід вибирати з урахуванням застосовуваної координатної сітки за ГОСТ 10317-79.

Для сучасних корпусних мікросхем і мікрозборок з кроком розташування виводів, кратних 2,54 мм, рекомендується вибирати крок установлення, кратний 2,54 мм. ІС і МС у корпусах зі штировими виводами з кроком 2,54 мм розміщують на печатній платі так, щоб виводи збігалися з вузлами координатної сітки (рис. 2.8). Якщо крок виводів не дорівнює 2,54 мм, то корпус ІС слід розташовувати так, щоб один або декілька виводів збігалися з вузлами координатної сітки (рис. 2.9). При цьому перший вивід корпусу суміщують з першою контактною площадкою, яка має ключ, нанесений на платі (рис. 2.9).



Рисунок 2.8 – Розміщення корпусних мікросхем зі штировими виводами (2) на печатній платі зі стандартною координатною сіткою (1)

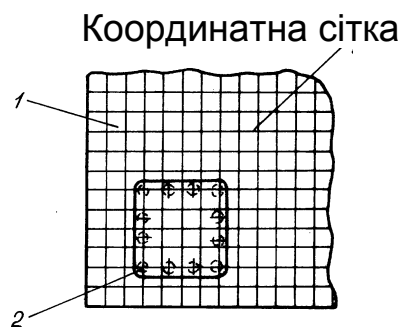


Рисунок 2.9 – Розміщення корпусних мікросхем зі штировими виводами (2) на печатній платі зі стандартною координатною сіткою (1) (крок виводів не кратний 2,54 мм)

Що стосується планарних або безвыводних мікросхем, то стрімкий розвиток технології виробництва напівпровідникових кристалів спрямований на значне зменшення їхньої площі. Завдяки цьому постійно з'являються нові типи корпусів в РК і відсоток РК зі штировими виводами стрімко зменшується. Наприклад, зараз набуває поширення заміна корпусу типу SO-8 (рис. 2.10) на Micro-8 (рис. 2.11).

Якщо порівняти ці корпуси, то стає зрозуміло, що Micro-8 майже в два рази менший за SO-8. Фрагменти цих корпусів взяті з мікросхем фірми International Rectifier. У своїй документації фірма навіть почала зазначати, що для нових розробок краще купувати РК у корпусі

Micro-8, оскільки вся потужність виробництва через деякий час буде переналаштована на них.

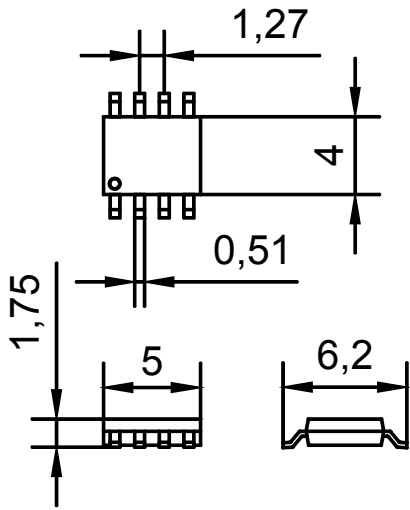


Рисунок 2.10 – Корпус типу SO-8

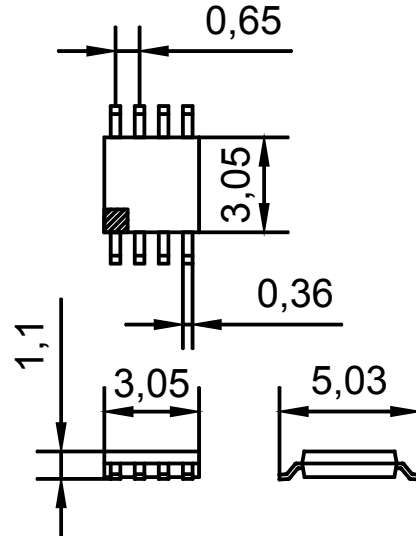


Рисунок 2.11 – Корпус типу Micro-8

Такі фірми, як Analog Device, Texas Instrumental, Dallas-Maxim, National Semiconductor, Atmel, Microchip, Intel, Infineon, NXP, Vishay, Motorola, Hitachi, Panasonic, Nec, ST Microelectronics, On Semiconductor та багато інших вводять поняття «In produce», що перекладається як радіокомпонент, що виробляється. На рис. 2.12 показано приклад корпусу TQFP

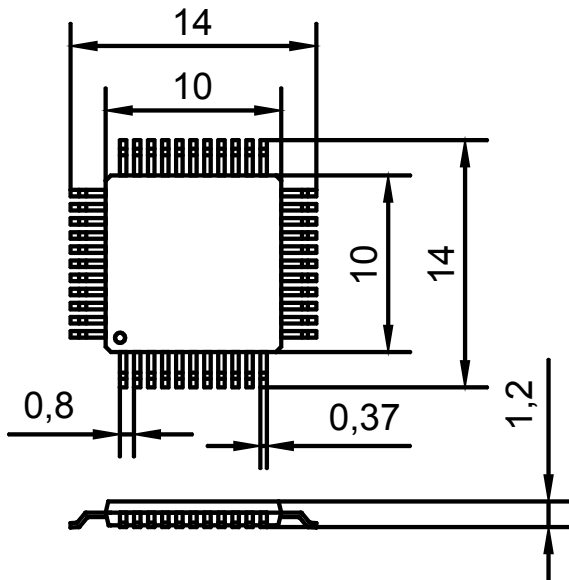


Рисунок 2.12 – Корпус TQFP

10x10 мм і товщиною 1 мм. У таких корпусах, як правило, випускаються мікроконтролери з великим рівнем інтеграції. Контакти розташовані з усіх боків і кількість їх приблизно 40 – 100 штук.

Детальну інформацію про ці типи корпусів можна знайти у фірмах, які виробляють мікропроцесори й мікроконтролери. На рис. 2.13 показано приклад розташування таких корпусів на контактах ПП. Контакти мікросхеми встановлюються на контактні площини.

Приклад корпусу типу TSSOP показано на рис. 2.14. Цей корпус більший за Micro-8, мінімальна кількість контактів 12 і більше, ширина

може бути в два рази більшою, ніж на прикладі. У таких корпусах випускається більшість аналогових і деяких модифікацій цифрових мікросхем. Щоб установлювати такі РК на ПП, потрібно мати устаткування з підвищеною точністю встановлення порівняно з корпусами типу SO-8 і обов'язкову наявність додаткової координатної сітки для травування ПП, яка має розмір 0,635 мм, що майже є половиною від координатної сітки 1,27 мм, але не кратна цьому крокові.

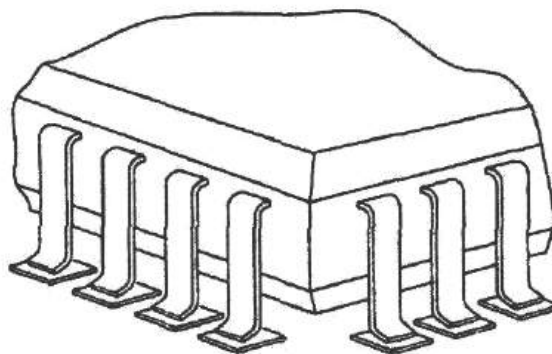


Рисунок 2.13 – Корпус TQFP, що розташований на ПП

І останні два типи корпусів дозволяють значно зменшити місце на ПП. Корпус типу QFN (рис. 2.15) буде ширше присутній на ринку пропозицій, бо технологія його виробництва потребує менших трудовитрат. Згідно з його специфікацією такі корпуси можуть розсіювати більшу потужність через металізований квадрат – радіатор за рахунок передачі теплової енергії печатній платі і більш довгим контактам, які розташовані з чотирьох сторін корпусу. Повністю пластмасовий корпус значно знижує вартість таких РК. У таких корпусах випускають різноманітні РК як мікроконтролери, так і аналогові мікросхеми.

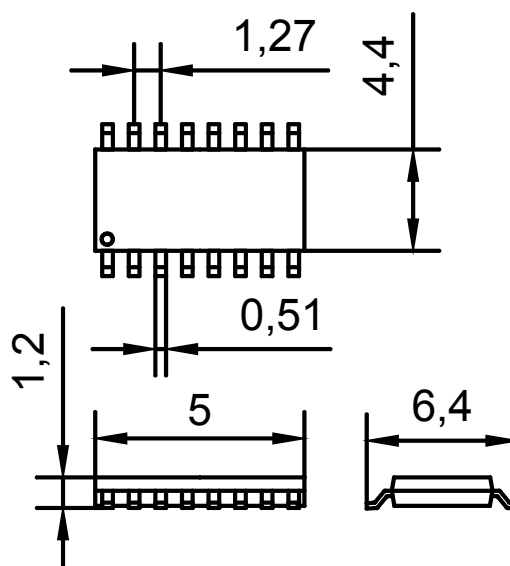


Рисунок 2.14 – Корпус TSOP

При розробленні ЗВТ потрібно ретельно ознайомитись із специфікацією РК і у разі необхідності забезпечити додаткову металізацію ПП, щоб не перегріти поряд розташовані РК.

Корпус типу BGA (рис. 2.16) був спеціально розроблений для мікросхем великого рівня інтеграції.

У таких корпусах випускають мікроконтролери, що мають багато різноманітних входів і виходів, мікроконтролери для мультимедійних застосувань, різні мікросхеми – чіпи, призначені для обчислювальної техніки.

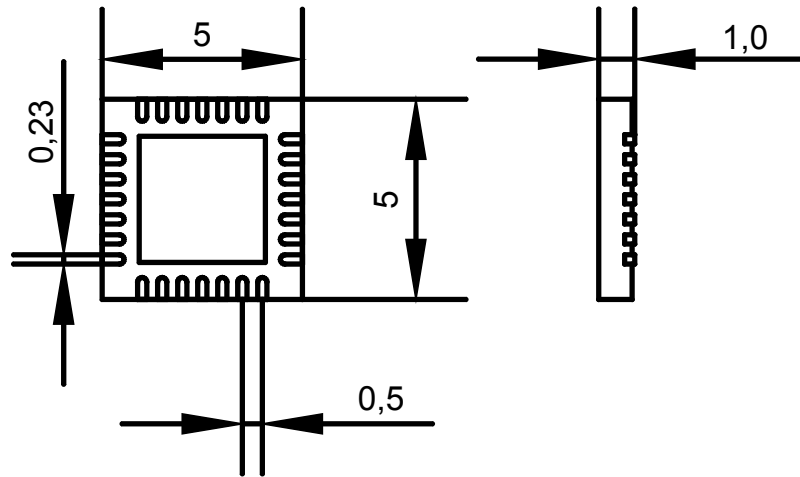


Рисунок 2.15 – Корпус QFN

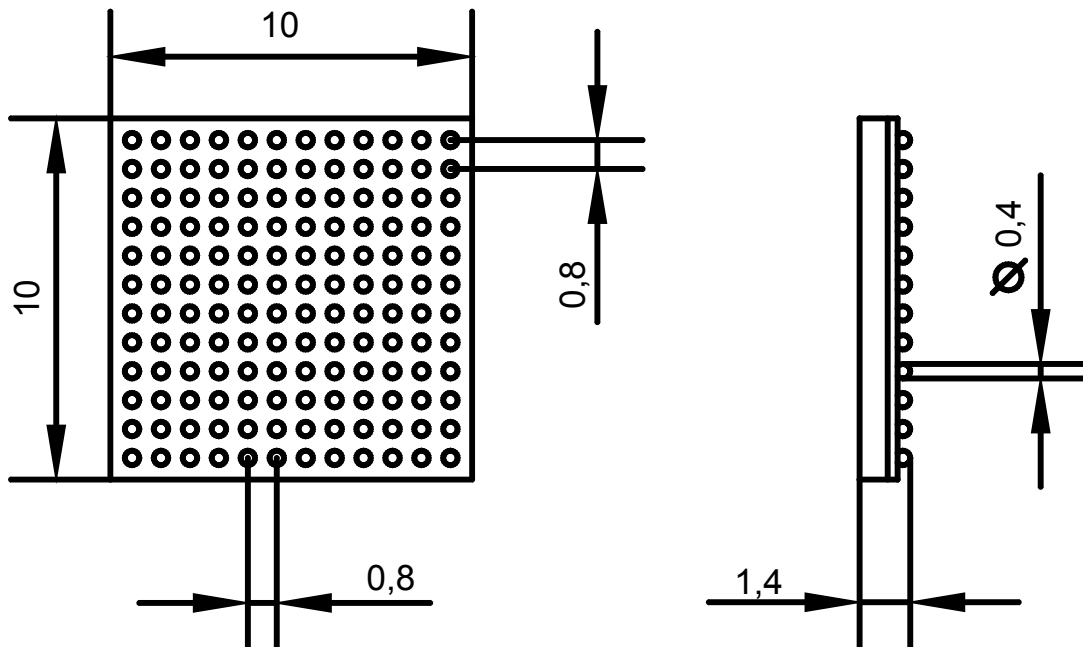


Рисунок 2.16 – Корпус LFBGA типу BGA

При конструюванні ЗВТ та іншої радіоапаратури розробнику й конструктору необхідно проаналізувати технологічну базу для виготовлення печатних плат і її складання. Щоб використати РК у такому корпусі, потрібно збільшити кількість печатних шарів (див. підрозд. 2.2.5) до чотирьох, шести, а то й більше, бо навіть п'ятий клас виготовлення ПП не дозволить розтрасувати ПП без порушення правил трасування ПП. Розміщувати такі корпуси потрібно в місці, де можливо додатково виконати металізацію на ПП для охолодження, якщо цього потребує специфікація.

При конструюванні ЗВТ як для РК у корпусі BGA, так і для QFN додатковою вимогою є використання «Кімнат» (див. підрозд. 3.2.6) з класом виготовлення ПП 4-5. Для авіаційного і промислового призначення ЗВТ з метою підвищення надійності й стійкості до зовнішніх впливів основний крок координатної сітки печатних провідників потрібно виконувати 4-м або 3-м класом точності виготовлення ПП. Розміщення поруч інших РК слід виконувати в декілька етапів, закінчуючи його оптимальністю щодо розміщення РК, з мінімальною кількістю перехідних отворів, задоволенням критеріїв трасування.

Дискретні РК менше модифікуються, але пропозиція кількості корпусів з великими розмірами зменшилась. На рис. 2.17 показано приклад поширеного корпусу (типорозміру) пасивних РК, а в табл. 2.2 – його модифікації. На практиці завжди вживають назву корпусів у дюймовій системі вимірювання, наприклад, резистор у корпусі СС1206, або конденсатор у корпусі СС0805. Приставка СС може змінюватись залежно від фірми виробника.

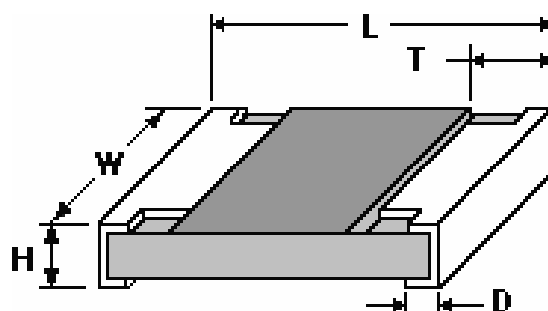


Рисунок 2.17 – Корпус пасивних SMD РК

При конструюванні радіоапаратури раціональним вибором є корпуси пасивних РК типорозміру 1206, 0805 і 0603, але останній потрібно перевіряти на потужність розсіювання тепла.

Таблиця 2.2 – Типорозміри корпусів пасивних РК

Типорозмір EIA	Типорозмір метричний	L, мм	W, мм	H, мм	D, мм	T, мм
0402	1005	1,0±0,1	0,5±0,05	0,35±0,05	0,25±0,1	0,2±0,1
0603	1608	1,6±0,1	0,85±0,1	0,45±0,05	0,3±0,2	0,3±0,2
0805	2012	2,1±0,1	1,3±0,1	0,5±0,05	0,4±0,2	0,4±0,2
1206	3216	3,1±0,1	1,6±0,1	0,55±0,05	0,5±0,25	0,5±0,25
1210	3225	3,1±0,1	2,6±0,1	0,55±0,05	0,4±0,2	0,5±0,25
2010	5025	5,0±0,1	2,5±0,1	0,55±0,05	0,4±0,2	0,6±0,25
2512	6332	6,35±0,1	3,2±0,1	0,55±0,05	0,4±0,2	0,6±0,25

Основний крок координатної сітки розміщення й трасування можна не змінювати, а один із виводів розміщувати у вузлі сітки. Крок розміщення координатної сітки можна вибирати 2,54; 1,27; 0,635. У більшості випадків рекомендується використовувати 3-й клас точності

виготовлення ПП. При трасуванні ПП між контактами таких корпусів

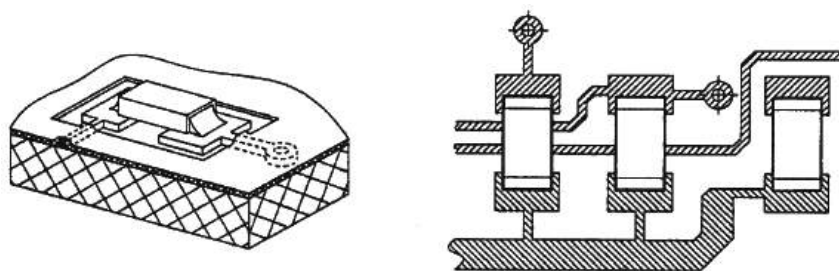


Рисунок 2.18 – Вигляд РК, що розташований на ПП, і печатні доріжки, які проведені між його контактами

можна проводити печатну доріжку (рис. 2.18) [26] для спрощення трасування у разі, якщо трасування задовольняє вимогам.

У якісних схемах поширені танталові електролітичні конденсатори. Вони мають низькі омичний і динамічні опори, тому їх часто використовують у цифрових схемах. Для поверхневого монтажу розроблено декілька типорозмірів корпусів (рис. 2.19). У

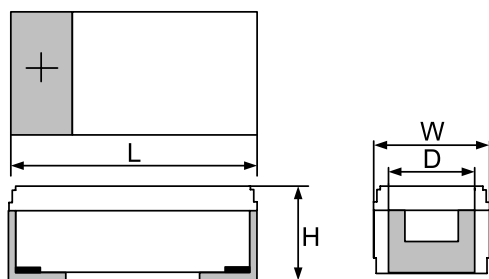


Рисунок 2.19 – Корпус танталових електролітичних SMD конденсаторів

табл. 2.3 наведено приклад основних типорозмірів поширених електролітичних конденсаторів серії 593.

Типорозмір корпусу танталового конденсатора залежить від електричної ємності й робочої напруги. Чим більші значення цих параметрів, тим більше типорозмір. Найбільш популярними є танталові конденсатори серії 593.

Таблиця 2.3 – Типорозміри корпусів танталових конденсаторів

Типорозмір	Типорозмір метричний	L, мм	W, мм	H, мм	D, мм
A	3216	3,2	1,6	1,6	1,2
B	3528	3,5	2,8	1,9	2,2
C	6032	6,0	3,2	2,5	2,2
D	7343	7,3	4,3	2,9	2,4
E	7343H	7,3	4,3	4,1	2,4

Наприклад, у переліку елементів і специфікації виконують позначення 593A, 593E. Основною перевагою такого типу корпусу є мала висота, легкість встановлювання на плату. При трасуванні варто приділити увагу підведенню печатної доріжки, адже контактні площини мають значні розміри (декілька міліметрів), тому корпуси конденса-

торів потрібно розміщувати з певним запасом, щоб була можливість провести у разі необхідності печатну доріжку.

Для дискретних радіокомпонентів розроблена велика кількість корпусів. Причому один тип корпусу може належати як транзистору, так діоду і мікросхемі. На рис. 2.20 показано приклад поширених корпусів для дискретних РК.

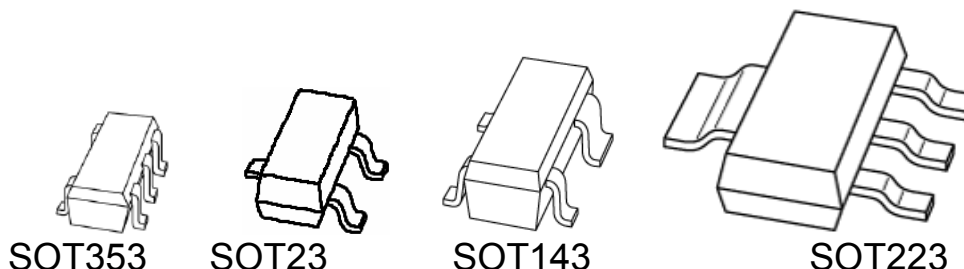


Рисунок 2.20 – Корпус РК типу SOT

Переваги таких корпусів очевидні: це легкість встановлювання, компактний розмір, достатньо велика потужність розсіювання тепла, яка досягається завдяки охолодженню через ПП. Максимальний струм сягає 1,5 А. Найпоширинішими є корпуси SOT23 і SOT223. При розміщенні РК на платі потрібно виконати прив'язку одного із контактів корпусу РК відносно першого контакту й розміщувати поряд з запасом, що дорівнює кроку координатної сітки. Якщо є можливість, то печатні доріжки можна прокладати між контактами корпусу.

При використанні всієї потужності розсіювання необхідно застосувати металізацію ПП. На рис. 2.21 зображено зовнішній вигляд корпусу типу SOT23 і його розміри. Як видно, розміри такого корпусу досить невеликі, що дозволяє конструювати ПП з великою щільністю розташування РК. Іноколи зустрічаються модифікації, що мають п'ять контактів (на рисунку вони позначені пунктиром). До недоліків використання SMD РК слід віднести збільшення кількості перехідних отворів, оскільки контакти корпусу розташовані тільки на одній стороні ПП, а також щільне

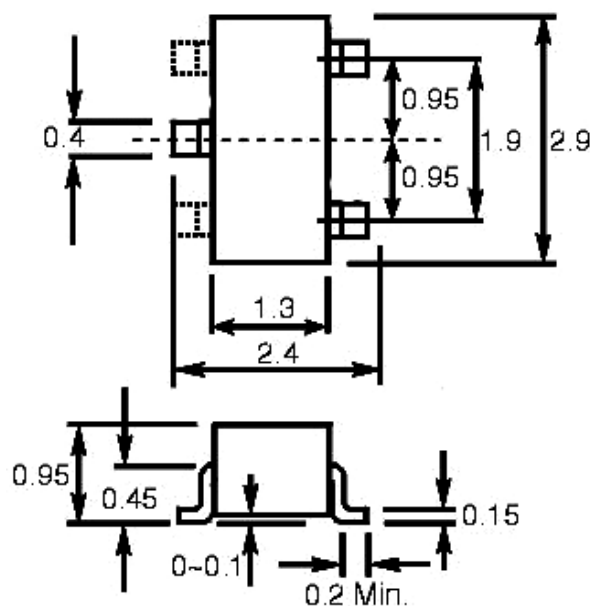


Рисунок 2.21 – Корпус SOT23

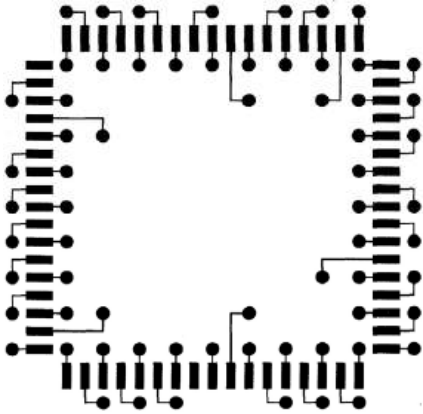


Рисунок 2.22 – Виводи від контактів – стрингери

розташування контактів не завжди дозволяє виконати трасування без перехідних отворів. Також до уваги слід брати ту особливість, що для зменшення паразитної ємності печатні доріжки в шарах розташовують перпендикулярно. Для оптимізації трасування трасувальники використовують спеціальні відводи печатних доріжок. На рис. 2.22 показано приклад таких відводів, які виконує система трасування Specstra. Вони називаються стрингерами [27].

Щоб розрахувати габарити ПП, необхідно розташувати всі РК з урахуванням вимог і скористатися такою методикою.

Наприклад, у схемі багато однотипних мікросхем, тоді кількість стовпців мікросхем або мікрозборок на основі печатної плати (рис. 2.23) визначають за формулою

$$n_x = E \left\lceil \frac{L_1 - X_1 - X_2 - L_0}{L_{x0}} \right\rceil + 1, \tag{2.7}$$

де n_x – кількість стовпців мікросхем або мікрозборок, шт.; E – символ процедури цілочислового значення, що полягає у відкиданні дробової частини числа; L_1 – довжина базової сторони основи печатної плати, уздовж якої встановлюється електричний з'єднувач, мм; X_1 – ширина лівої крайової зони основи печатної плати, мм; X_2 – ширина правої крайової зони основи печатної плати, мм; L_0 – довжина посадочного місця мікросхеми або мікрозборки, мм; L_{x0} – крок установлення мікросхеми або мікрозборки вздовж осі X , мм.

Кількість рядів мікросхем або мікрозборок на основі печатної плати визначають за формулою

$$n_y = E \left\lceil \frac{B_1 - Y_1 - Y_2 - B_0}{B_{y0}} \right\rceil + 1, \tag{2.8}$$

де n_y – кількість рядів мікросхем або мікрозборок на основі печатної плати, шт.; B_1 – довжина небазової сторони основи печатної плати, мм; Y_1 – ширина зони кріплення електричного з'єднувача, мм; Y_2 – ширина зони кріплення передньої панелі, мм; B_0 – ширина посадочного

місця мікросхеми або мікрозборки, мм; B_{y0} - крок установлення мікросхем або мікрозборок уздовж осі Y , мм.

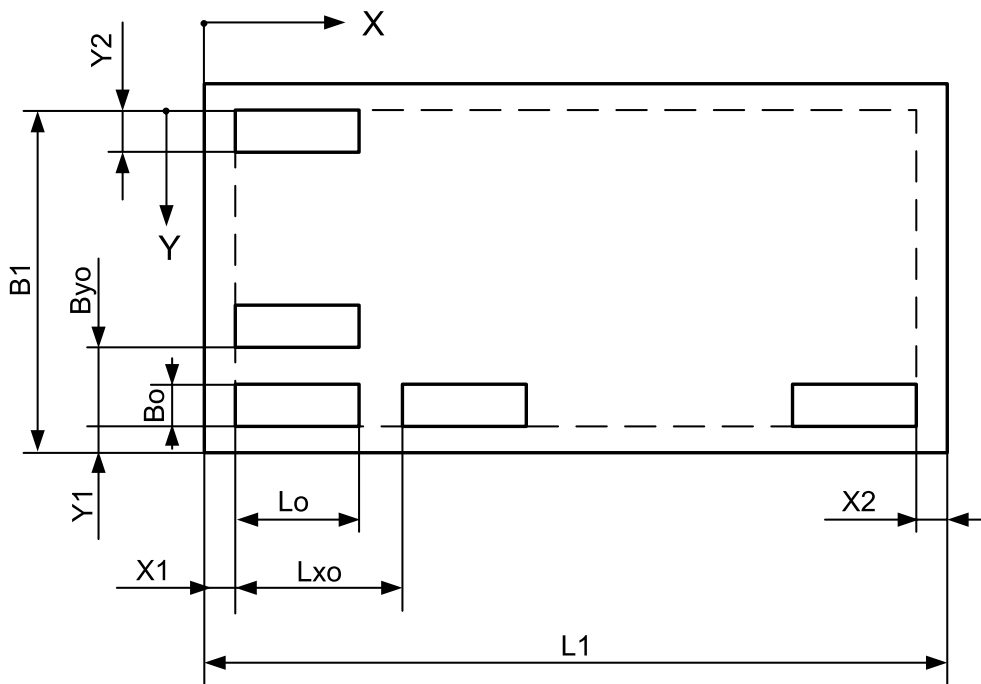


Рисунок 2.23 – Зони розміщення на основі електронного модуля першого рівня місць для встановлення корпусних мікросхем, мікрозборок і безкорпусних мікрозборок

Кількість ІС або МС при односторонньому їх розміщенні на основі печатної плати визначають за формулою

$$П1 = n_x \cdot n_y, \quad (2.9)$$

а при двосторонньому розміщенні –

$$П2 = 2 n_x \cdot n_y. \quad (2.10)$$

Розміри посадочного місця і крок установлення для мікросхем і мікрозборок залежать від класу точності виготовлення печатних плат і корпусів, що використовуються.

Розміри крайових полів x_1 , x_2 , y_1 , y_2 необхідно вибирати з урахуванням рекомендацій ОСТ 4ГО.010.030-81 і ОСТ 4ГО.010.011, значення цих полів дано у працях [2, 23]. Дуже часто ширину крайового поля з лівого і правого країв приймають такою: для штирових виводів $x_1 = x_2 = 5$ мм, для планарних – $x_1 = x_2 = 2,5$ мм. Ширину крайового поля вздовж осі Y за відсутності контрольних гнізд приймають $y_2 = 2,5$ мм, а за наявності цих гнізд – $y_2 = 12,5$ мм. Розмір крайового поля y_1 знаходять з табл. 2.4 залежно від типу вибраного з'єднувача.

Таблиця 2.4 – Розміри крайового поля печатних плат

Тип з'єднувача	Кількість контактів	Відповідна частина на ПП	Паяний шов	у ₁ , мм	Вузли, що з'єднуються
ГРППЗ	14,35,45	Вилка	В отворі	17,5	Вузол печатний (ВП) і вузол об'ємного монтажу
ГРППЗ	24,58	Те ж саме	Внапуск	17,5	Те ж саме
ГРПМ1-ШУ	31,45	Вилка або розетка	В отворі	22,5	- " -
ГРПМ1-ШУ	122	Те ж саме	Те ж саме	27,5	- " -
ГРПМ1-ГУ	25	- " -	Те ж саме	25,0	- " -
РППММ2	142	- " -	Внапуск	22,5	- " -
РППМ26	17,72	- " -	Те ж саме	17,5	- " -
СНП 34	135	Розетка	В отворі	15,0	- " -
Кабель гнучкий печатний	-	-	Внапуск	25,0	-
Джгут об'ємний	-	-	В отворі	5,0	-
ГРПМУ-Н	25	Вилка	Внапуск	17,5	ВД і ВД
РППМ	40	Те ж саме	В отворі	30,0	Те ж саме

2.2.5 Методи конструювання печатних плат

Існують такі методи конструювання печатних плат: ручний, напівавтоматизований й автоматизований. Складність топологічних робіт при конструюванні печатних плат можна орієнтовно оцінити за кількістю мікросхем, які розміщують на одній платі за умови компактного компонування: до 30 мікросхем - проста топологія; від 30 до 60 - середня; більше 60 - складна. Складна топологія вручну, без використання комп'ютера, практично не виконується.

При ручному методі конструювання печатної плати конструктор виконує такі роботи: вибирає елементну базу, типорозмір і технологію виготовлення печатної плати: розраховує кількість посадочних місць під корпуси ІС і РК, розміщення навісних елементів на ДП, трасування електричних з'єднань, перевіряє печатну доріжку плати на відповідність принциповій електричній схемі. Розташування навісних елемен-

тів і трасування електричних з'єднань виконуються конструктором у такому порядку:

1) принципова електрична схема пристрою поділяється на функціонально зв'язані групи;

2) у кожній групі розміщуються РК. При розміщенні обов'язково враховуються правила розташування елементів з урахуванням роботи пристрою в заданих умовах;

3) група, яка має найбільшу кількість зовнішніх зв'язків, розташовується поблизу електричного з'єднувача;

4) після виділення першої групи з тих, що залишилися, вибирається друга група, яка має найбільшу кількість зв'язків з першою і електричним з'єднувачем і розміщується поряд з першою;

5) процес розташування повторюється аналогічно до тих пір, доки не буде розміщена остання група. Потім здійснюється оптимізація розташування кожного з навісних елементів (роз'ємних з'єднувачів, тощо) і за необхідності вносяться корективи. Після розміщення всіх РК виконується трасування електричних з'єднань;

6) при напівавтоматизованому методі розміщення елементів на печатній платі виконують за допомогою комп'ютера, а трасування печатної плати – ручним (інтерактивним) методом, або навпаки: перше – вручну, друге - за допомогою комп'ютера. При автоматизованому методі на комп'ютері здійснюється й розміщення навісних елементів на платі й трасування печатних провідників;

7) трасування ПП виконується як в ручному, інтерактивному, так і в повністю автоматичних режимах (див. підрозд. 3.2). Перед початком трасування ПП формують правила й стратегію трасування. Це є в першу чергу розміри ПП і її контур, розміри печатних доріжок і відстань між ними, координатна сітка розміщення перехідних отворів, якщо є «Кімнати», то такі ж правила. Визначається основний клас точності ПП по ширині печатних доріжок і відстанях й додаткові класи, де ці параметри можуть бути іншими. Якщо на платі є заборонені зони для трасування, то їх теж необхідно позначити. Також можна розмістити і розтрасувати деякі ланцюги, зони металізації (екранування або охолодження), правильно розташувати позиційні позначення в шарі для шовкографії тощо;

8) у більшості випадків виконати трасування з першого разу не вдається. Тому виконують декілька ітерацій, де можуть змінюватися всі правила, стратегії, а також розташування РК. Трапляється багато випадків, коли рисунок трасування досить складний і присутня велика кількість перехідних отворів. У такому випадку потрібно переглянути всі вимоги і навіть змінити форму або розміри ПП;

9) якщо зазначені вище заходи не допомагають виконати

трасування, то потрібно збільшити число електричних шарів, де будуть розташовані печатні доріжки (рис. 2.24).

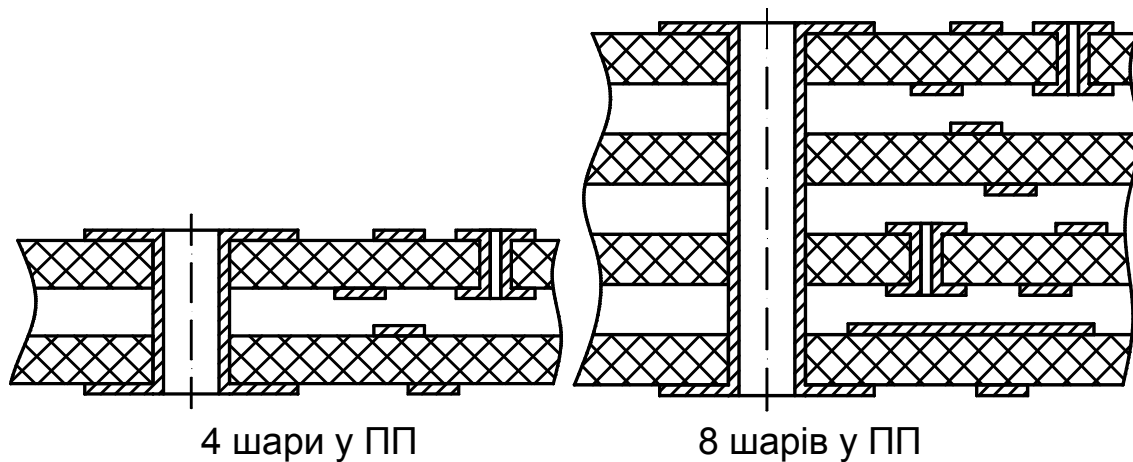


Рисунок 2.24 – Багатошарові ПП

2.3 Конструювання внутрішньоблокового й міжблокового провідного монтажу

В електронній апаратурі, побудованій на мікросхемах і мікрозборках, до 60% об'єму займають елементи монтажу (з'єднувачі, джгути, кабелі та ін.). Подальше скорочення габаритів мікроелектронної апаратури за рахунок зменшення розмірів радіоелементів виявляється малоефективним. Тому необхідно проводити роботи, спрямовані на зменшення габаритів монтажних з'єднань і елементів монтажу. Усі електричні з'єднання в електронній апаратурі можна поділити на три групи: з'єднання частин усередині блоків, з'єднання блоків у стояках і зовнішні кабельні з'єднання, у тому числі з'єднання стояків між собою. Електричні з'єднання в електронних модулях виконуються за допомогою електричних з'єднувачів, плоских кабелів і елементів об'ємного монтажу.

2.3.1 Типи проводів і кабелів

Монтажні проводи випускають з поліхлорвініловою, гумовою, фторопластовою та іншими ізоляціями. Проводи в поліетиленовій, поліхлорвінілової і гумовій ізоляції застосовують в умовах підвищеної вологості, при різких коливаннях температури. Фторопластові провони використовують в умовах високих температур. За конструкцією струмопровідної жили розрізняють однодротові негнучкі й багатодотові

гнучкі проводи, в яких струмопровідні жили сплетені з тонких мідних дротів. Як приклад розглянемо умовні позначення монтажних проводів деяких марок: МПМ - багатопроводовий, ізольований поліетиленом; МГВ - багатопроводовий, ізольований поліхлорвінілом; МГВЕ - багатопроводовий, ізольований поліхлорвінілом, екранований. Переріз монтажних джгутів вибирають залежно від струму, що проходить по них. Наприклад, мідні дроти залежно від перерізу допускають значення струмів, подані в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Значення допустимого струму дроту

Переріз дроту, мм ²	0,05	0,07	0,1	0,2	0,3	0,5	0,7	1,0	1,5	2,0	4,0	6,0	10
Допустимий струм, А	0,7	1,0	1,3	2,5	3,5	5,0	7,0	10	14	17	25	30	45

Марки й перерізи проводів для виконання об'ємного монтажу в електричних блоках наведено в ОСТ 4ГО.022.400.

Кабелі виконують у вигляді об'ємного джгута, але й бувають також плоскі кабелі. Перевагою плоского кабелю є значно менший об'єм порівняно з круглим. Плоскі кабелі застосовують переважно в блоках книжкової конструкції, що дозволяє більш раціонально використовувати об'єм блока, зменшити його габаритні розміри й масу. Розрізняють такі типи плоских кабелів: гнучкий печатний кабель (ГПК), плоский тканий або плетений кабель (ПТК) і плоский опресований кабель (ПОК). ГПК - система печатних провідників, розташованих паралельно один одному в одній площині на електроізоляційній гнучкій основі (рис. 2.25). ПТК - система монтажних проводів, розташованих паралельно один одному в одній площині й скріплених нитками ткацьким методом або методом плетіння (рис. 2.26). ПОК - система монтажних проводів, розташованих паралельно один одному в одній площині й скріплених методом опресування полімерними еластичними матеріалами (рис. 2.27).

Гнучкі печатні й ткані кабелі використовують, як правило, для нефіксованого монтажу, опресовані - для фіксованого. Порівняльний аналіз плоских кабелів показує таке. Переваги ГПК: печатні провідники мають високорозвинуту поверхню, що забезпечує ліпше їх охолодження і допускає велику густину струмів (до 20 А/мм²), у ГПК менший об'єм, цей кабель дозволяє автоматизувати процес монтажу, але потребує додаткового механічного кріплення до печатної плати. Спосіб переплетення капроновими нитками круглих провідників в ізоляції дає змогу з'єднати в єдину конструкцію провідники різного перерізу, і з

різною ізоляцією, що є безумовною перевагою ПТК. Основною позитивною якістю ПТК є їх низька вартість.

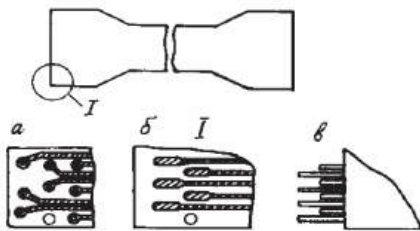


Рисунок 2.25 – Гнучкий печатний кабель з металізованими контактними площадками з отворами (а) і без отворів (б), з контактними пелюстками (в)



Рисунок 2.26 – Плоский тканий кабель



Рисунок 2.27 – Плоский опресований кабель з ізованими круглими провідниками

Оскільки провідники в ПОК розміщуються між двома шарами термопластичної ізоляції (поліхлорвініл, фторопласт, поліефірні профіліровані плівки), які склеюються між собою під впливом тепла й тиску, то опресовані кабелі відрізняються високою якістю й надійністю в роботі.

За конструктивним оформленням і способами електричного приєднання до печатних плат ГПК можуть виконуватися в трьох варіантах (рис. 2.25):

- 1) ГПК, що закінчуються металізованими контактними площадками з отворами; кабелі цього типу встановлюють і запаюють на контактні штирі, розміщені на печатній платі або колодці;
- 2) ГПК, що закінчуються металізованими контактними площадками, які після суміщення припаюють до контактних площадок на печатній платі;
- 3) ГПК, що закінчуються контактними пелюстками, які припаюють до контактних площадок на печатній платі.

Усі типи ГПК виконують на основі гнучкого фольгованого діелектрика товщиною 0,1; 0,2; 0,4 мм. ГПК з боку печатних провідників покривають кількома шарами лаку або захищають плівкою, яка з'єднується з печатними кабелями за допомогою адгезійного шару. Розміри печатних провідників, контактних площадок і пелюсток печатних плат і ГПК мають задовольняти вимоги ОСТ 4ГО.010.011. Крок розміщення контактних площадок ГПК у випадку приєднання до контактних площадок печатної плати (варіанти 2 і 3) рекомендується вибирати кратним 1,25 мм; у випадку припаювання до штирів (варіант 1) – кратним 2,5 мм. Відстань від краю ГПК до провідника або

контактною площадки має бути не менше 2 мм. Максимальну ширину ГПК рекомендується вибирати такою, що дорівнює 150 мм, максимальну довжину - 350 мм. ГПК, виготовлений за варіантами 2 і 3, бажано використовувати при великій кількості вихідних контактів з печатних плат. ГПК, виготовлені за варіантом 1, розміщуються з однієї сторони печатної плати, а для ГПК, виготовлених за варіантами 2 і 3, допускається їхнє установлення з двох сторін. ГПК мають бути механічно закріплені на чарунці в зоні електричного приєднання до печатних плат.

Ткани й опресовані кабелі рекомендується розташовувати з однієї сторони печатної плати. Крок розміщення отворів під розпаювання жил тканих і опресованих кабелів на печатній платі доцільно вибирати кратним 2,5 мм. Оброблення і електромонтаж плоских тканих і опресованих кабелів у печатній платі й електричні з'єднувачі повинні проводитись згідно з ОСТ 4ГО.053.034. Не допускається проводити укріплення в один електричний з'єднувач більше трьох плоских кабелів, але можливе оброблення всіх видів кабелів. Для фіксованого монтажу рекомендується такі опресовані кабелі: КПВР, КППР, КППРО, КППРЕ, ПВП. Розглянемо параметри цих кабелів на прикладі кабелю КПВР: кількість жил у кабелі й переріз, мм² – 20·0,50; відстань між центрами жил, мм - 2,4; ширина кабелю, мм - 47,5; товщина кабелю, мм - 1,9; вид ізоляції - полівінілхлоридна.

Марки й типорозміри кабелів доцільно вибирати, виходячи з електричної схеми електронної апаратури, типу електричного з'єднувача, механічних і кліматичних умов експлуатації даної апаратури.

У зв'язку з розвитком оптоелектроніки широке застосування знайшли світлопровідні кабелі, які забезпечують передачу на відстань світлового потоку в результаті багаторазового внутрішнього відбиття променя усередині скляної основи світлопровідної жили (рис. 2.28).

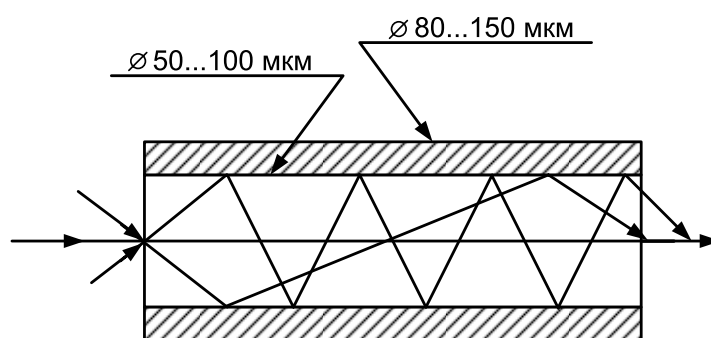


Рисунок 2. 28 – Волоконний світлопровід

Скляне волокно світлопровідної жили має покриття, що дозволяє набирати волокна в джгути у вигляді світлопровідного кабелю. Як

покриття використовують такі прозорі матеріали, як скло, леговане B_2O_3 , кварцове скло, леговане титаном, германієм, фосфором, бором, та інші, а світлопровідна жила може бути виготовлена з кварцового скла, легованого Al_2O_3 , GeO_2 , TiO_2 , P_2O_5 , а також оксидних, халькогенідних, оксихалькогенідних, галогенідних та оксигалогенідних стекол. Детальніше конструкції волокнисто-оптичних кабелів описані у [28]. Важливою особливістю світлопроводів є те, що носіями сигналів у них є не електрони, а фотони, завдяки чому вони практично не схильні до наводок від зовнішніх електромагнітних полів. Крім того, відсутня завада усередині потоку, оскільки фотони на відміну від електронів електрично нейтральні. Світлопровідні кабелі мають малі масогабаритні характеристики, наприклад, у світлопровідного кабелю, що складається з восьми волокон, погонна маса становить 50 г/м. Світлопровідні кабелі застосовують у волокнисто-оптичних системах передачі даних і пристроях оптичної обробки сигналів.

Їхні переваги такі: низьке загасання сигналу, велика смуга пропускання, гальванічне розділення вхідних і вихідних ланцюгів, відсутність впливу електромагнітного поля, мала маса.

Недоліком є те, що найбільше загасання оптичного сигналу спостерігається на вході й виході світлопроводу, тобто у з'єднувачах, які поділяють на пасивні й активні.

Пасивні з'єднувачі призначені для стикування торців скляних волокон один з одним. Тут на загасання найбільше впливають поперечна й кутова неспіввісності волокон, зазор між торцями з'єднаних волокон, причому найбільшу частину загасання вносить саме неспіввісність волокон. Активні з'єднувачі містять перетворювачі оптичних сигналів в електричні та за принципом своєї роботи розривають не світлопровід, а електричний ланцюг. Оптичні й оптоелектронні пристрої використовують світлодіоди, лазерні діоди, фотодіоди, фоторезистори, фотоумножувачі, голографічні запам'ятовуючі пристрої. Активні світлопровідні з'єднувачі конструктивно більш надійні, ніж пасивні, а їх застосування найліпшим.

2.3.2 Електричні з'єднувачі. Основні типи

Сучасні мініатюрні електричні з'єднувачі поділяють на дві групи: для внутрішньоблокового печатного й об'ємного монтажу і для міжблокового об'ємного монтажу. До електричних з'єднувачів, що використовують в електронній апаратурі на мікросхемах, ставляться такі вимоги: висока надійність електричних з'єднань; малі габаритні розміри й маса; раціональне компонування (сумісність) з мікросхемами;

зручність експлуатації. Для внутрішньоблокових електричних з'єднань вузлів, чарунок і касет рекомендується застосовувати малогабаритні електричні з'єднувачі, наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.6 – Типи з'єднувачів

Вид з'єднання	Тип електричного з'єднувача	Технічні умови
Печать – печать	ГРППЗ	КЕО. 364. 003 ТУ
Печать – об'ємний монтаж	ГРПМ1	КЕО. 364. 006 ТУ
	ГРПМ9	КЕО. 364. 009 ТУ
	РППМ8	КЕО. 364. 194 ТУ
	РППМ17	КЕО. 364. 011 ТУ
	СНП 34	КЕО. 364. 043 ТУ
	СНП 34С	КЕО. 364. 043 ТУ
Об'ємний монтаж – об'ємний монтаж	ГРПМ2	КЕО. 364. 002 ТУ
	ГРПМ3	КЕО. 364. 008 ТУ

Технічні характеристики деяких електричних з'єднувачів промислового призначення наведено у працях [2, 23, 25], можна також скористатись інформацією відомих фірм, таких, як Tусо, Molex, Amphenol, Wago та інші. Найпоширенішими є з'єднувачі типу ГРПМ з гіперболоїдними контактними парами. Умовне позначення спряжених частин електричного з'єднувача таке: ГРПМ2-30ШО; ГРПМ2-30ГП, де 30 - кількість контактів; Ш - штирі, Г - гнізда; О - розетка з жорстким кріпленням в апаратурі; П - розетка з плаваючим кріпленням, яке передбачає можливість її переміщення в межах одного міліметра в будь-якому напрямі. Залежно від кліматичних умов слід використовувати позолочені контактні пари (індекс в позначенні "1") або посріблені (індекс "2").

При виборі з'єднувача має значення, під яке паяння на печатній платі вони призначені (внапуск або в отвори), якою частиною (розеткою або вилкою) їх встановлюють на печатній платі, чи забезпечують динамічну стабільність контактних опорів під час вібрації. Наприклад, тільки електричні з'єднувачі РППМ26 і СНП34 гарантують динамічну стабільність контактних опорів при вібрації, з них РППМ26 призначені під паяння внапуск, а СНП34 - в отвори, причому їх встановлюють на печатній платі. При виборі з'єднувача за кількістю контактів з метою підвищення ремонтпридатності слід передбачати резервні контактні пари в кількості 10% від числа пар, необхідних за електричною схемою.

Для електричних міжблокових з'єднань рекомендується засто-

совувати такі електричні з'єднувачі: РПКМ - АВО.364.040 ТУ, 2РМТ - А1 ГЕО.364.134 ТУ, 2РМДТ - А1 ГЕО.364.136 ТУ, ГРПМ2 - КЕО.362.002 ТУ, ГРПМ3 - КЕО.364.008 ТУ, РППМ8 - КЕО.364.194 ТУ, РП15 - ГЕО.364.160 ТУ. Електричні з'єднання блоків зі стояком або коробкою кабельних з'єднань (у літаковій апаратурі) найчастіше проводяться за допомогою врубних з'єднань типу РП і РПКМ. У низькочастотних ланцюгах для зовнішніх з'єднань широко використовують з'єднувач типу 2РМ, систему позначень таких з'єднувачів наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Система позначень з'єднувачів

Частини з'єднувача	Позначення
Блокові й кабельні частини: негерметизовані негерметизовані силові	2РМ 2РМД
Блокові частини: герметичні термостійкі герметичні термостійкі силові герметичні термостійкі прохідні герметичні термостійкі прохідні силові герметичні термостійкі спеціальні герметичні нетермостійкі	2РМГ 2РМГД 2РМГП 2РМГПД 2РМГС 2РМГК
Частини, що призначені для монтажу на приладах, у блоках, перегородках та ін. для монтажу на кабелях	Б К
Контакти в даній частині: штирі гнізда	Ш Г
Патрубок з'єднувача: прямий кутовий	П У
Кабель, що приєднується: екранований неекранований	Е Н
Покриття контактів: золото срібло нікель	А В Е

Електричний з'єднувач позначають, наприклад, таким чином: 2PM30КПН32Г1А1, де 2PM - тип з'єднувача; 30 - посадочний діаметр корпусу блокової частини з боку хвостовика, мм; КПН - частина з'єднувача для монтажу на кабелях, патрубках прямий, кабель неекранований; 32 - кількість контактів; Г - контакти в даній частині з'єднувача-гнезда; 1 - діаметр контакту; А1 - вид покриття (позолочення). Як електричні з'єднувачі можуть використовуватись з'єднувальні колодки й перехідні контакти. Приклади рекомендованих варіантів з'єднувальних колодок і їх установлення наведено в ОСТ 4ГО.010.009-84. Електричні з'єднання між печатними платами чарунок доцільно виконувати плоскими й Г-подібними перехідними контактами. Під час установлення перехідних контактів треба передбачати їх механічне кріплення на печатній платі з кроком установлення 2,5 мм. Види контактів і методи їх установлення дано в ОСТ 4ГО.010.009-84.

2.3.3 Правила конструювання внутрішньоблокового й міжблокового провідного монтажу

Внутрішньоблоковий монтаж виконується об'ємним гнучким проводом або плоским кабелем, а міжблоковий - об'ємним кабелем або джгутом. При проектуванні цих з'єднань необхідно враховувати такі рекомендації:

1. Найменшу механічну міцність при впливі вібрації мають проводи з одним дротом у жилі, найбільшу - багатожильні проводи.
2. Під час роботи в умовах сильних вібрацій і у випадку використання великих міжблокових джгутів треба застосовувати проводи з перерізом не менше $0,35 \text{ мм}^2$, навіть за наявності кріпильних скоб.
3. Слід запобігати натягам монтажних проводів і різким вигинам.
4. Мінімальний внутрішній радіус згину провідника має бути не меншим діаметра проводу з ізоляцією.
5. Проводи не повинні торкатися гострих металевих кромки.
6. Проводи постачання змінного струму слід сплітати в загальний джгут для зменшення наводок.
7. Проводи, які підводяться до змінних елементів, повинні мати деякий запас по довжині, який допускає повторне приєднання проводу.
8. Монтажні проводи мусять забезпечувати вільний доступ до елементів конструкції під час виготовлення, огляду, контролю й ремонту.
9. Для зручності складання й ремонту апаратури доцільно під

час монтажу різних ланцюгів використовувати проводи різних кольорів (табл. 2.8), причому монтаж кожного електричного ланцюга, який має один і той самий потенціал, повинен виконуватись від початку до кінця проводом одного кольору.

Таблиця 2.8 – Джгути проводів

Ланцюг	Колір проводу
Високовольтний з позитивним потенціалом	Червоний і всі його сполучення з іншими кольорами, крім синього й зеленого
Високовольтний з негативним потенціалом	Синій і всі його сполучення з іншими кольорами, крім червоного й зеленого
З нульовим потенціалом відносно корпусу	Чорний або фіолетовий
Розжарювання ламп	Зелений і всі його сполучення з іншими кольорами, крім червоного й синього

10. У кожному отворі пелюстки допускається кріпити не більше двох проводів, а до одного затискного контакту - підмикати також не більше двох проводів з кабельними наконечниками.

11. Кінці екрануючого обплетення, з'єднані з корпусом (шасі) апаратури, мають бути розділені розплетенням екрануючого обплетення та відведенням його в бік зі скручуванням і обробленням кінця обплетення на проводі.

12. Дротові виводи багатоконтактних елементів з'єднують з монтажними проводами закручуванням на один-два оберти з наступним паянням.

13. На пелюстки й дротові виводи необхідно надівати ізоляційні трубки, які закріплюють за допомогою клею.

14. Під час монтажу штепсельних електричних з'єднувачів допускається приєднання до одного контакту двох або трьох скручених проводів за умови, що сумарний діаметр цих проводів менший за отвір у контакті.

15. Після припаювання проводів на контакти треба надягнути ізоляційні трубки, причому для міцного закріплення трубок на контактах їх внутрішній діаметр не повинен бути більше зовнішнього діаметра контакту;

16. Монтажні проводи, особливо ті, що підведені до багатоконтактних елементів, доцільно сплітати в джгути.

17. Цифрове маркування проводів джгутів у випадку необхідності потрібно проводити за допомогою маркувальної стрічки, трубки

або бирки.

Джгут складають з паралельно розміщених проводів, обв'язаних нитками № 00 з кроком зв'язування 20...40 мм залежно від діаметра джгута. Екрановані проводи й проводи малих перерізів розміщують усередині джгута. Для захисту джгута від механічних і кліматичних впливів джгут перед обв'язкою обмотують бавовняною (кіперною) або м'якою поліхлорвініловою стрічкою.

Примітка. Інші ланцюги монтують проводами будь-якого кольору за винятком перелічених вище.

Кінець обмотки джгута слід кріпити бандажем з ниток. На рис. 2.29 показано приклади в'язки джгутів. Джгути кріпляться до стінок блоків і шасі скобами, що встановлюють з інтервалом, який дорівнює приблизно десяти діаметрам джгута.

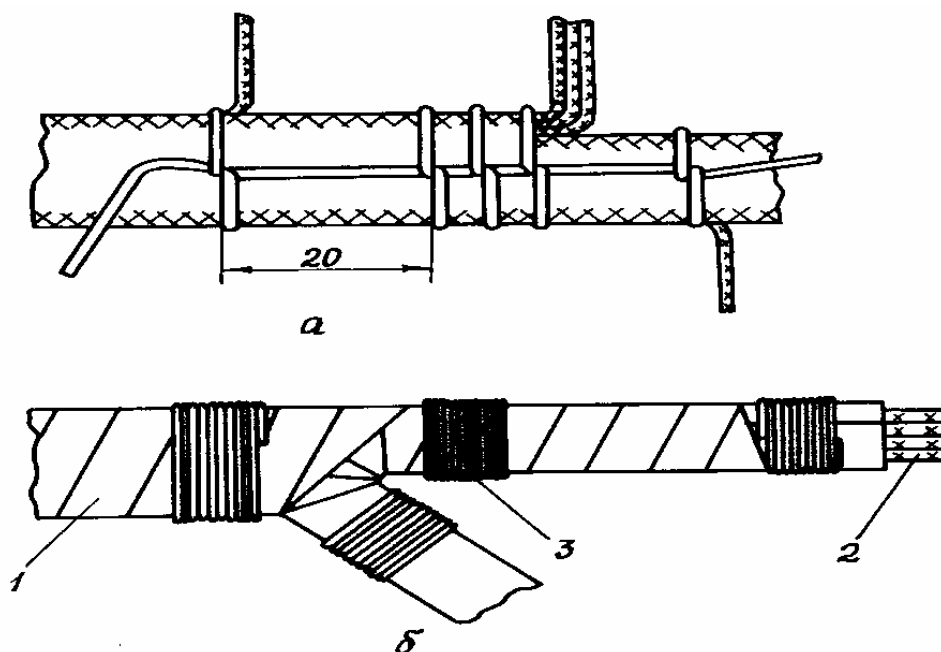


Рисунок 2.29 – В'язка джгута нитками (а) і кріплення стрічки джгута бандажами з ниток (б): 1 - ізоляційна стрічка; 2 - джгут; 3 - бандаж з ниток

Джгути рекомендується закріплювати за допомогою скоби, хомутка або пластмасовим самозатяжним хомутом поблизу місця розпайки. Між джгутом і металевою скобою розташовують прокладку з електрокартону або хлорвінілу. При проходженні джгутів через металеві стінки необхідно застосовувати ізоляційні втулки (рис. 2.30). При переході джгутів з нерухомої частини (стояки) на рухому (блок) їх розміщують з урахуванням того, щоб вони працювали на згин, а не на кручення. Це, у свою чергу, зменшує ймовірність обриву провідників.

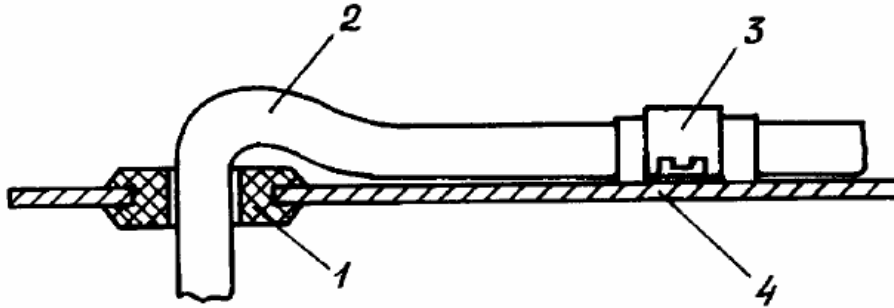


Рисунок 2.30 – Приклад прокладки джгута у вікно металевої стінки:
1 - ізоляційна втулка; 2 - джгут; 3 - скоба; 4 - стінка

2.4 Електричні параметри ПП

2.4.1 Первинні електричні параметри ПП

Первинними електричними параметрами ПП є: опір печатних доріжок; електрична ємність між двома провідниками (печатними доріжками); індуктивність одиничних печатних доріжок. Інколи в літературі можна зустріти найменування цих параметрів як паразитний опір і паразитні реактивності. Із зростанням частот інформаційних сигналів зневажити первинними сигналами недоцільно, їх обов'язково необхідно включати при розробленні схеми пристрою. Але для повноти описання процесів, що виникають в ланцюгах, слід також враховувати вторинні параметри печатних провідників – довгі лінії [29, 30, 16, 17].

Паразитний (кінцевий) опір печатних доріжок ПП. Усі провідники мають кінцевий опір, але в деяких випадках він настільки малий, що ним можна знехтувати. Так було до тих пір, поки клас виготовлення ПП був невисоким, ширина печатних доріжок сягала 0,75 мм і більше. Зараз технологія виготовлення значно прогресувала, тому ширина печатних доріжок має бути менше 0,25 мм. На рис. 2.31 наведено фрагмент плоскої печатної доріжки й круглого провідника [31].

Формула для визначення опору плоских печатних доріжок (рис. 2.31, а) має вигляд

$$R = \rho \frac{Z_p}{X \cdot Y} \text{ Ом}, \quad (2.11)$$

де $\rho = 1,724 \cdot 10^{-5}$ Ом·мм – погонний опір; Y – товщина печатної доріжки, мм; Z_p – довжина печатної доріжки, мм; X – ширина печатної доріжки, мм.

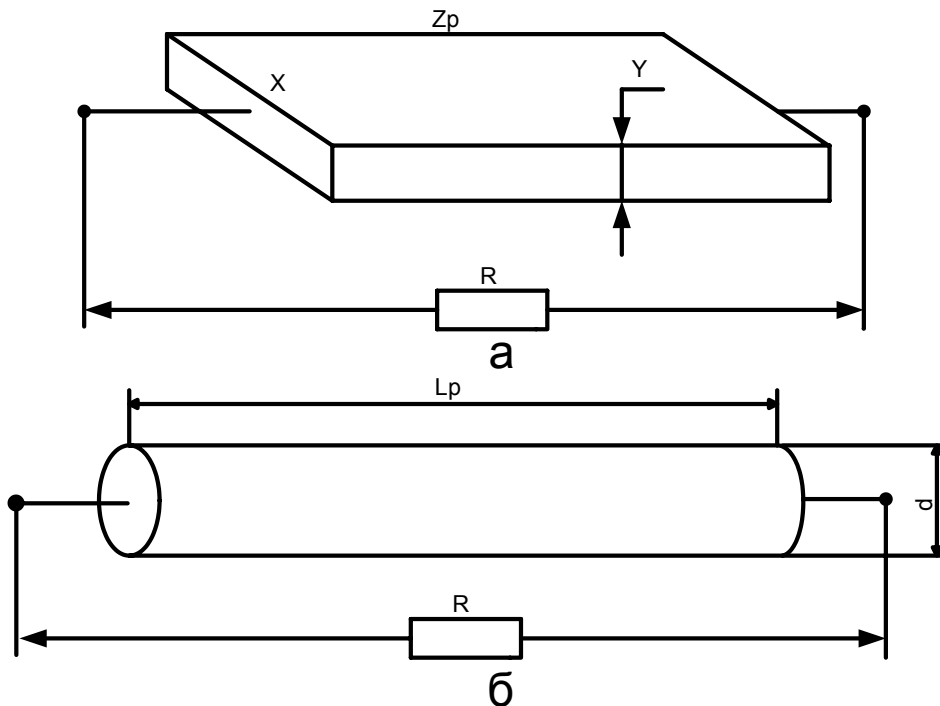


Рисунок 2.31 – Опір печатних провідників

Формула для визначення опору круглих провідників (рис. 2.30, б) має вигляд

$$R = \frac{0,219 \cdot 10^{-3} \cdot L_p}{d^2} \text{ Ом}, \quad (2.12)$$

де d – діаметр круглого провідника, мм; L_p – довжина, мм.

Цей опір можна назвати як паразитний і його вплив розділити на дві категорії:

- втрати IR – це втрати, які спричиняють обмеження електричного струму внаслідок збільшення опору електричного ланцюга. Такі втрати варто враховувати при розробленні мереж живлення в схемі й особливо в схемах з потужними джерелами живлення;

- втрати поділення напруги – це втрати, які спричиняють ділення напруги на вході радіокомпонента через опір печатної доріжки і вхідний імпеданс (вхідний опір) радіокомпонента. Такі втрати актуальні, коли вхідний імпеданс не перевищує 0,001...10 кОм.

На рис. 2.32 показано типовий приклад від втрати поділення напруги.

Що може спричинити печатна доріжка довжиною 100 мм у схемі, де використовують АЦП з розрядністю 16 біт. Наприклад, АЦП має опорне джерело 5 В, тоді величина напруги молодшого розряду становитиме $5 \text{ В} / 2^{16} = 76,3 \text{ мкВ}$. Дільник напруги, який виник внаслідок

опору печатної доріжки величиною 0,18 Ом і вхідний імпеданс АЦП 5 кОм, матиме величину 180 мкВ.

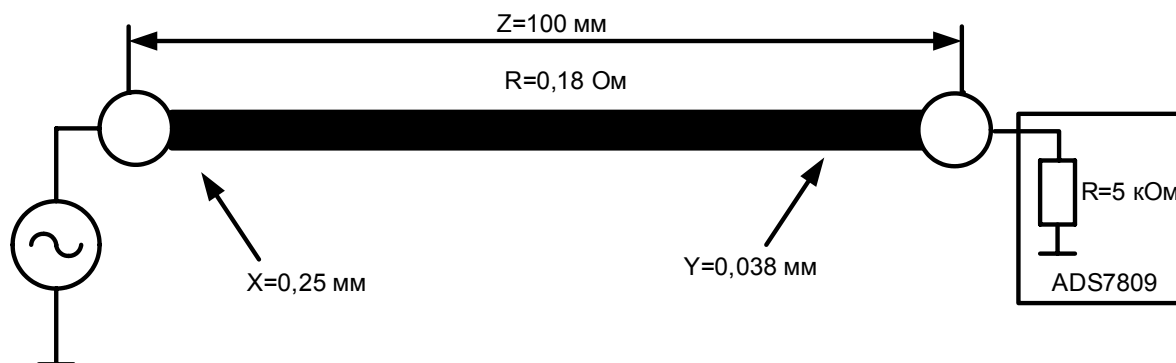


Рисунок 2.32 – Опір провідника

Отже, чутливість АЦП у такій схемі становитиме 180 мкВ, що еквівалентно втраті майже 2-3 розрядів АЦП. Таким чином, сигнали, менші за 180 мкВ, АЦП не зможе виміряти.

Паразитна індуктивність провідників і печатних доріжок. При розробленні високочастотної радіоапаратури, а її вже можна вважати такою, бо використання мікропроцесорної техніки потребує більш досконалих алгоритмів оброблення інформації, що, в свою чергу, змушує розробників використовувати мікропроцесори з високими частотами. По-друге, сучасна вимірювальна техніка досягла значних успіхів, що також піднімає спектр робочих частот радіокомпонентів. У таких умовах нехтувати ефектом індуктивності просто неможливо, бо інакше радіоапаратура не буде відповідати заявленим параметрам.

Отже, індуктивність провідників виникає тільки в динамічному режимі, яким є змінний струм. Як правило, індуктивність виражається у вхідному імпедансі будь-якого радіоелектронного пристрою. Ефект від впливу індуктивності можна поділити на три категорії:

- IR втрати аналогічні кінцевому опору;
- втрати поділення напруги аналогічні кінцевому опору;
- комутаційні перехідні процеси, що можуть спричинити запізнення струму (зсув фази між струмом і напругою), у разі розмикання ланцюга з індуктивністю виникає перенапруга, що може на порядки перевищувати корисний сигнал. На рис. 2.33 показано приклад плоскої печатної доріжки й круглого провідника, які мають індуктивність.

Формула для визначення індуктивності плоских печатних доріжок (рис. 2.33, а) має вигляд

$$L = 0,0002 \cdot L_p \left[\ln \left(\frac{2 \cdot L_p}{W + H} \right) + 0,2235 \left(\frac{W + H}{L_p} \right) + 0,5 \right] \text{ мкГн}, \quad (2.13)$$

де L_p – довжина печатної доріжки, мм; H – товщина печатної доріжки, мм; W – ширина печатної доріжки, мм.

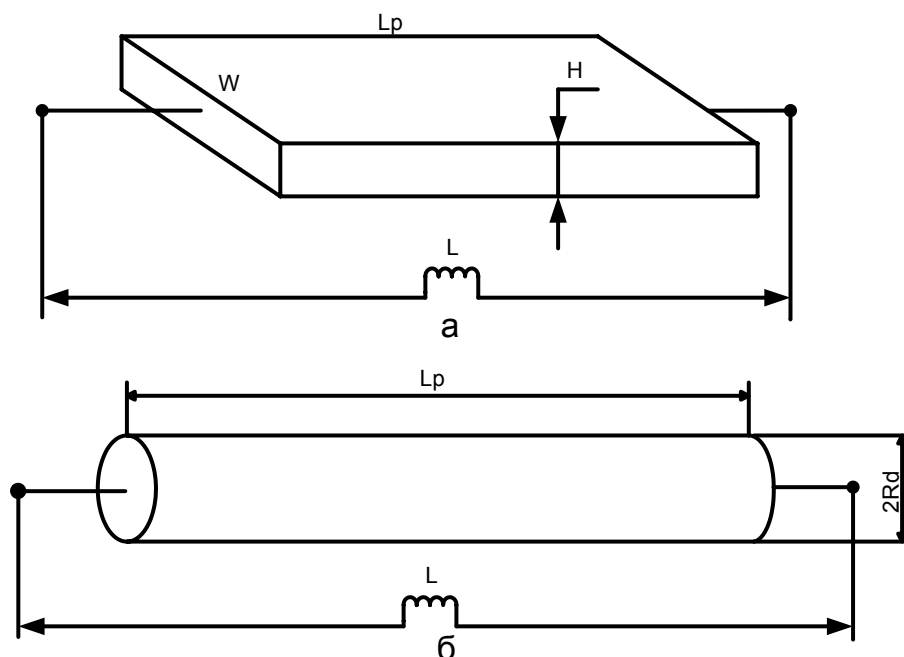


Рисунок 2.33 – Індуктивність печатних провідників

Формула для визначення індуктивності (рис. 2.33, б) така:

$$L = 0,0002 \cdot L_p \left(\ln \left(\frac{2 \cdot L_p}{R_d} \right) - 0,75 \right) \text{ мкГн}, \quad (2.14)$$

де R_d – радіус круглого провідника, мм; L_p – довжина, мм.

Розглянемо приклад впливу паразитної індуктивності при змінному струмі (рис. 2.34).

Сигналом для вимірювання є генератор змінної напруги $U_p=5$ В із частотою 100 кГц. Вхідний імпеданс паразитної індуктивності $Z_L=2 \cdot \pi \cdot 100 \text{ кГц} \cdot 0,141 \text{ мкГн}=0,268 \text{ Ом}$, вхідний імпеданс АЦП $R_{adc}=5 \text{ кОм}$.

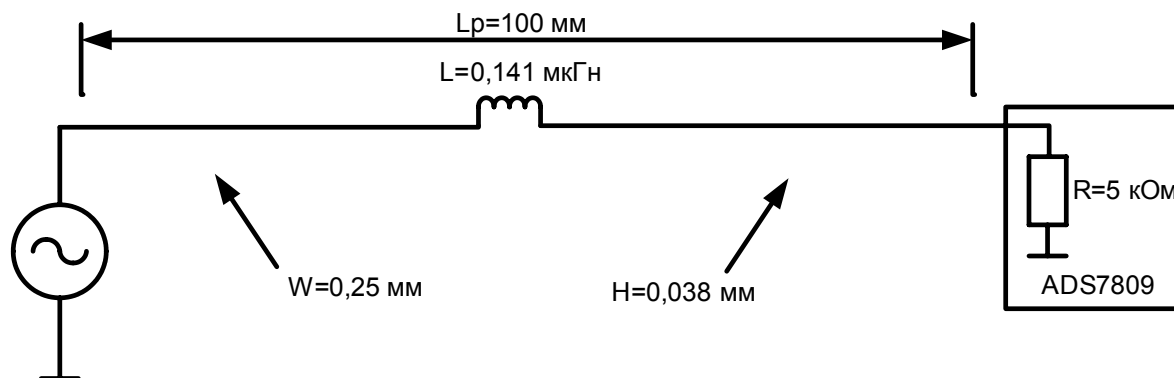


Рисунок 2.34 – Індуктивність провідника

Разом із вхідним імпедансом мікросхеми АЦП утвориться дільник напруги і в цьому випадку похибка від дільника сягатиме

$$\Delta U = U_p - U_p \left(\frac{U_p}{R_{adc} + Z_l} \right),$$

$$\Delta U = 5 \text{ В} - 5 \text{ В} \left(\frac{5 \text{ В}}{5 \text{ кОм} + 0,268 \text{ Ом}} \right) = 0,268 \text{ В}.$$

Статична похибка перетворення АЦП становитиме 3,5 біта і буде залежати від частоти сигналу. Чим більше частота, тим більше похибка.

Паразитна ємність провідників. У разі використання багатошарових ПП, де між двома провідниками розташований діелектрик (склотекстоліт), виникає електрична ємність (рис. 2.35).

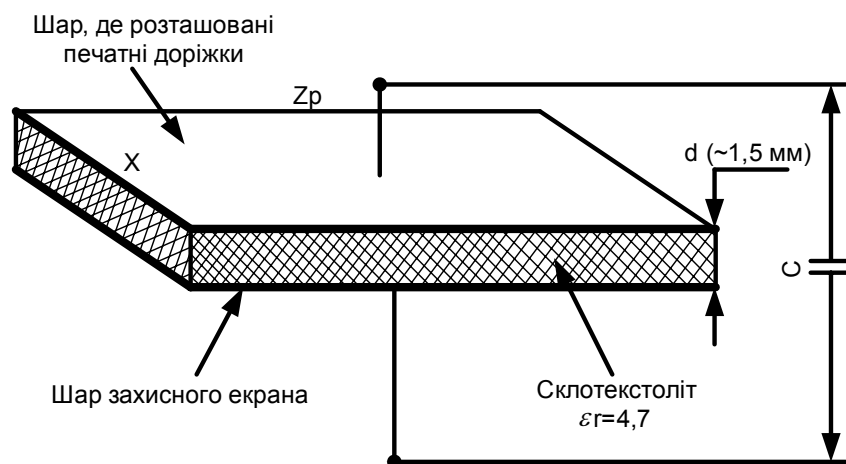


Рисунок 2.35 – Ємність печатних провідників

Таку ємність називають паразитною, оскільки вона має проти-лежну дію, оскільки якщо немає можливості зменшити довжину печатних доріжок для зниження паразитного опору й паразитної індуктивності, ширину печатних доріжок необхідно збільшувати, що, в свою, чергу, збільшує значення паразитної ємності.

За наявності такої проблеми первинні параметри ПП необхідно оптимізувати за тим параметром, який є важливішим, виконуючи при цьому декілька ітеративних кроків для досягнення оптимуму при заданих критеріях обмеження. Слід зауважити, що оптимізація може змінювати клас виготовлення ПП у менший бік і збільшити площину ПП, що в деяких випадках є негативним наслідком.

Електричну ємність печатних доріжок визначають за формулою

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot \frac{S}{d} \Phi, \quad (2.15)$$

де $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ – діелектрична стала; ε – діелектрична проникність діелектрика; S – площа печатної доріжки, що обчислюється як $S = X \cdot Z_p$; d – товщина шару діелектрика, який більш точно обчислюється за формулою – товщина печатної плати дорівнює подвійній товщині мідного шару (товщина мідного шару у більшості ПП становить 0,038 мм). Розглянемо електричну схему, де присутня паразитна ємність печатної доріжки (рис. 2.36).

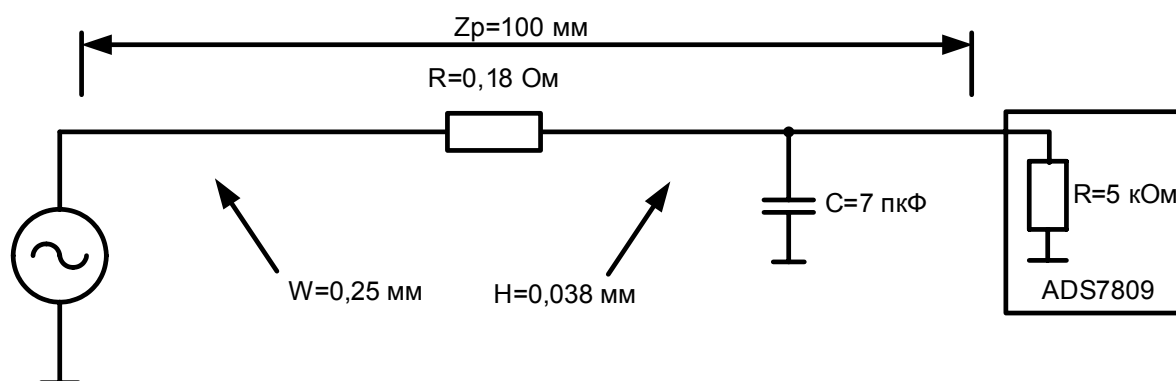


Рисунок 2.36 – Ємність провідника печатної доріжки

Для печатної плати із зазначеними параметрами фізичних розмірів ємність печатних доріжок сягатиме 7 пкФ на кожні 100 мм довжини провідника.

По-перше, паразитна ємність разом з паразитним опором спричиняє затримку передачі сигналу $t = R \cdot C \approx 1,26 \cdot 10^{-12}$ с, але вона стає проблемою у випадку частот, що мають діапазон гігагерців, тому нею можна знехтувати. По-друге, є небезпека потрапити на резонансну частоту коливального контуру, який утвориться паразитною індуктивністю і ємністю. Резонансна частота для такого випадку із зазначеними параметрами в прикладі становитиме $f = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L \cdot C}) \approx 160$ МГц. Для сучасної радіоапаратури ці частоти вже є фактично робочими і в таких випадках необхідно ретельно розробляти конструкцію ПП, проводити теоретичні й практичні випробування. По-третє, варто врахувати той факт, що ємність є реактивністю і тут необхідно брати до уваги стрибки струму, які можуть утворюватися в цифрових схемах. Чим вище частота, напруга й мала густина імпульсів, тим більшими будуть стрибки струму, що в деяких випадках є небезпечно для радіокомпонентів. Імпульсний струм можна обчислити за відомою формулою $I = C \cdot (dU/dt)$.

2.4.2 Вторинні параметри ПП (довгі лінії)

Конструювання ПП (трасування печатних доріжок) аналогічне конструюванню провідного монтажу, з'єднувальних кабелів, а особливо кабелів передачі цифрової інформації, де необхідно приділяти особливу увагу ефектам довгої лінії й процесам, які в ній відбуваються. Найбільш впливовим ефектом на погіршення або унеможливлення передачі інформації є ефект відбиття. Цей ефект виникає внаслідок вторинних ефектів ПП, які завдяки R , L , C параметрам ПП утворюють лінії з розподіленими параметрами – довгі лінії (ДЛ) [29, 30, 32]. Усі розрахунки будемо проводити для лінії без втрат, при цьому повинні виконуватися вимоги $\omega L > R$ і $\omega C_0 > G_0$. Враховуючи це припущення, запишемо формулу визначення хвильового опору

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}. \quad (2.16)$$

Хвильовий опір має постійний характер і залежить тільки від фізичних параметрів ДЛ. Якщо лінія має навантаження і його опір дорівнює хвильовому опору ДЛ, то сигнал буде повністю передаватися в навантаження. В інших випадках матиме місце відбиття. Для визначення характеру передачі енергії в ДЛ потрібно скористатися коефіцієнтом відбиття

$$\rho = \frac{Z_L - Z_0}{Z_L + Z_0}, \quad (2.17)$$

де Z_L – опір навантаження (у разі реактивного навантаження опір фіксується на обраній частоті).

Якщо $\rho=0$, навантаження узгоджене, якщо $\rho = -1$, навантаження має індуктивний характер. При цьому струм на навантаженні, якщо ДЛ накоротко замкнена, у два рази більший за струм падаючої хвилі (струму генератора). Якщо $\rho=1$, навантаження має ємнісний характер і при цьому напруга на навантаженні в два рази більша, якщо ДЛ розімкнута на кінці, ніж напруга на падаючій хвилі (напруга генератора). Інколи для визначення струму або напруги в схемі необхідно визначити вхідний опір (імпеданс) ДЛ. Це можливо зробити за формулою

$$Z_{ex} = \frac{\frac{Z_L}{Z_0} + j \operatorname{tg} \vartheta}{1 + j \frac{Z_L}{Z_0} \operatorname{tg} \vartheta}, \quad (2.18)$$

де $\vartheta = \beta \cdot \ell = 2 \cdot \pi \cdot \ell / \lambda$, а β – коефіцієнт фази між падаючою і відбитою хвилями; ℓ – довжина ДЛ; λ – довжина хвилі.

Для того щоб визначити резонансну частоту ДЛ, потрібно розбити ДЛ у будь-якому місці й записати вхідні опори з обох сторін лінії з місця розриву (рис. 2.37) і, записавши трансцендентне рівняння отриманих вхідних опорів, розв'язати його відносно резонансної частоти ω :

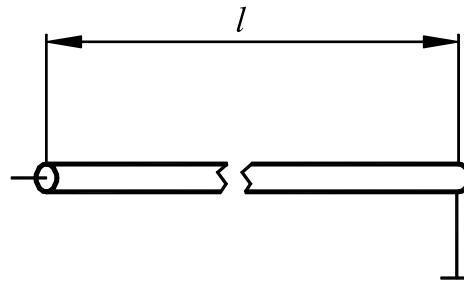


Рисунок 2.37 – Довга лінія, що утворена двома печатними доріжками

$$\frac{1}{Z_{вх1}(\omega)} = \frac{-1}{Z_{вх2}(\omega)}. \quad (2.19)$$

Вхідний опір для ДЛ, що розімкнута на кінці, обчислюють як

$$Z_{вхр} = -j \frac{Z_0}{\tan\left(\omega \frac{\ell}{v_\phi}\right)}, \quad (2.20)$$

де фазова швидкість $v_\phi = c \ell \sqrt{\varepsilon \cdot \mu} = \omega \ell \beta = 1 / \sqrt{L \cdot C}$; c – швидкість світла у вакуумі, м/с; ε і μ – діелектрична й магнітні проникності матеріалу.

Вхідний опір для ДЛ, що замкнута на кінці, обчислюють як

$$Z_{вхз} = -j Z_0 \tan\left(\omega \frac{\ell}{v_\phi}\right). \quad (2.21)$$

Враховуючи Z_0 , можливо отримати:

- сталу затримку ДЛ

$$T_{op} = \sqrt{L \cdot C}; \quad (2.22)$$

- коефіцієнт передачі на ділянці довжиною x , мм,

$$W_{ДЛ} = \frac{1}{25,4} e^{-\left[\frac{R \cdot x}{2\sqrt{L/C}}\right]}; \quad (2.23)$$

- коефіцієнт загасання на 1 мм довжини

$$\alpha = 0.17 \left[\frac{R}{\sqrt{(L/C)}} \right] \text{ дБ.} \quad (2.24)$$

2.4.3 Відбиття в довгих лініях (лініях передачі, які утворюються печатними доріжками)

Розглянемо декілька прикладів [20] для випадків, що потребують аналізу частотних характеристик, передатних функцій, часу запізнення. Відповідно до схеми, наведеної на рис. 2.38, амплітуда сигналу на вході лінії становить тільки частину амплітуди сигналу на виході джерела сигналу в режимі холостого ходу.

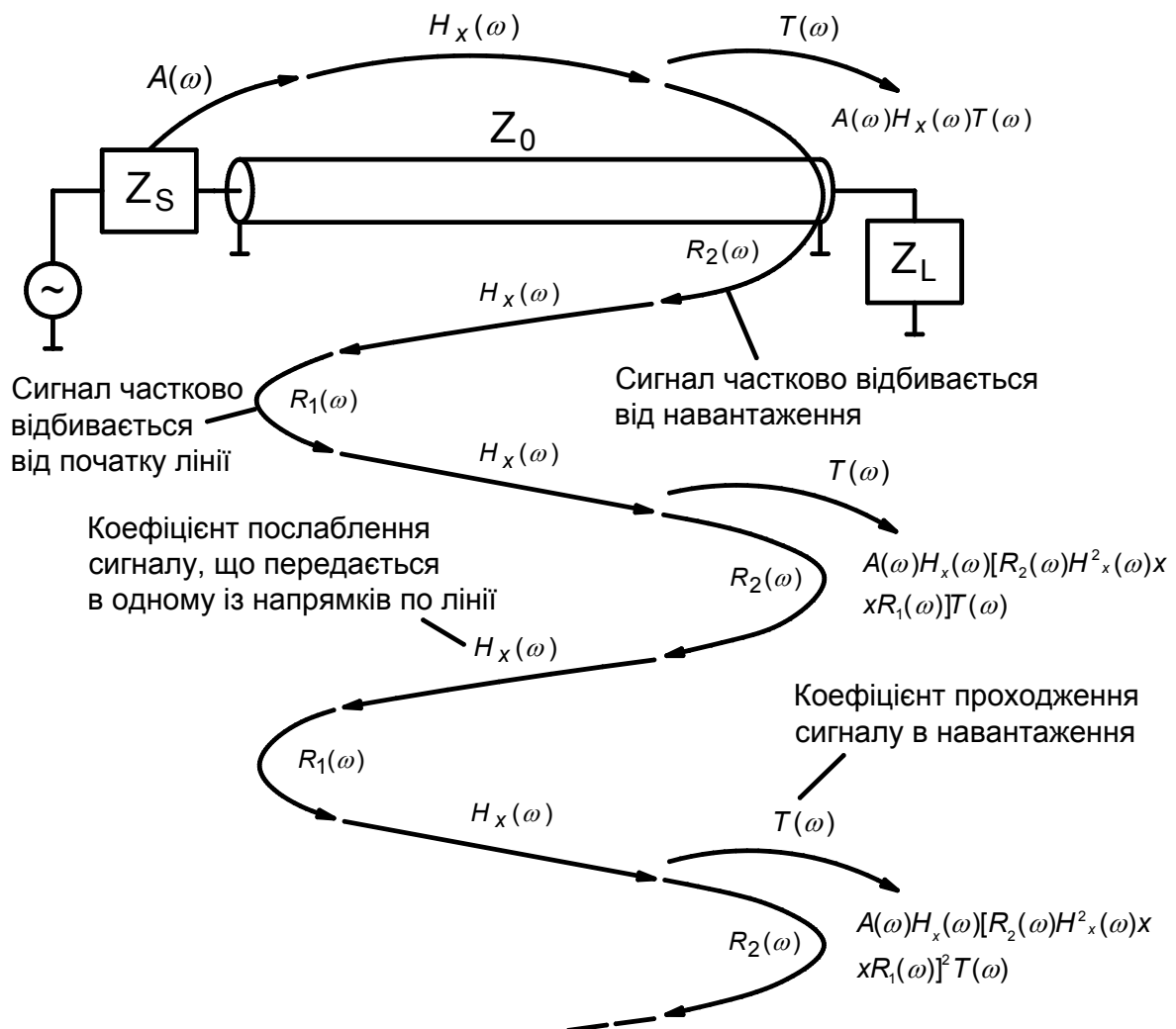


Рисунок 2.38 – Загальна схема передачі сигналу

Відносна амплітуда сигналу на вході лінії описується амплітудно-частотно-залежною функцією $A(\omega)$, яка називається коефіцієнтом

передачі ланцюга з виходу джерела сигналу на вхід лінії передачі на частоті ω . Відносна амплітуда сигналу на вході лінії визначається вихідним імпедансом джерела Z_S і вхідним імпедансом лінії передачі (2.16) і описується формулою

$$A(\omega) = \frac{Z_0(\omega)}{Z_S(\omega) + Z_0(\omega)}, \quad (2.25)$$

де Z_S – опір джерела живлення; $Z_0(\omega) = \left(\frac{R + j\omega L}{j\omega C} \right)$ – частотна залежність хвильового опору ДЛ.

Ослаблення сигналу при поширенні в лінії зв'язку описується коефіцієнтом передачі $H_X(\omega)$ лінії на частоті ω . Наведений нижче вираз коефіцієнта передачі з урахуванням поверхневого ефекту і де опір $R(\omega)$ є функцією частоти, матиме вигляд (2.6)

$$H_X = e^{-[(R(\omega) + j\omega L) \cdot (j\omega C)]^{1/2}}. \quad (2.26)$$

Амплітуда сигналу на навантаженні, підімкненому на далекому кінці лінії, становить частину амплітуди сигналу, ослабленого при передачі по кабелю. Вона залежить від частоти й характеризується коефіцієнтом передачі ланцюга з виходу лінії передачі в навантаження на частоті ω – $T(\omega)$. Функція $T(\omega)$ визначається імпедансом навантаження й хвильовим опором лінії передачі (2.5) і описується формулою (2.27). Функція $T(\omega)$ приймає значення в межах від 0 до 2:

$$T(\omega) = \frac{2 \cdot Z_L(\omega)}{2 \cdot Z_L(\omega) + Z_0(\omega)}. \quad (2.27)$$

З появою на навантаженні лінії передачі прямого сигналу виникає відбитий сигнал, що поширюється в напрямку сигналу до джерела сигналу. Відбитий сигнал поширюється назустріч прямому сигналу, що ще не дійшов до кінця лінії, але обидва сигнали поширюються в протилежних напрямках, не взаємодіючи один з одним.

Відносна амплітуда сигналу, відбитого в напрямку до джерела сигналу, описується функцією $R_2(\omega)$, що називається коефіцієнтом відбиття сигналу від навантаження на частоті ω :

$$R_2 = \frac{Z_L(\omega) - Z_0(\omega)}{Z_L(\omega) + Z_0(\omega)}. \quad (2.28)$$

При поширенні хвилі по кабелю у зворотному напрямку відбувається ослаблення сигналу, зумовлене коефіцієнтом передачі кабелю на частоті ω – $H_x(\omega)$. Сигнал, що повернувся на вхід лінії, відбивається від джерела. Відносна амплітуда сигналу, відбитого від ближнього кінця лінії, описується функцією $R_1(\omega)$, що називається коефіцієнтом відбиття від джерела на частоті ω :

$$R_1 = \frac{Z_S(\omega) - Z_0(\omega)}{Z_S(\omega) + Z_0(\omega)}. \quad (2.29)$$

При поширенні по кабелю сигналу, відбитого від джерела, знову відбувається його ослаблення, зумовлене коефіцієнтом передачі кабелю $H_x(\omega)$, а інша частина цього сигналу, зумовлена коефіцієнтом передачі з виходу лінії в навантаження $T(\omega)$, виділяється на навантаженні ланцюга. Цей другий сигнал удруге відбивається від навантаження в напрямку до джерела сигналу, і так триває без кінця.

Коефіцієнт ослаблення першого сигналу, що з'явився на виході ланцюга передачі, визначають добутком коефіцієнтів передачі $A(\omega)$, $H_x(\omega)$ і $T(\omega)$:

$$S_0(\omega) = A(\omega)H(\omega)T(\omega).$$

Коефіцієнт послаблення другого сигналу, що з'явився на виході ланцюга передачі, що відбився і на стороні навантаження, і на стороні джерела, становить

$$S_1(\omega) = A(\omega)H_x(\omega)[R_2(\omega)H_x^2(\omega)R_1(\omega)]T(\omega).$$

Коефіцієнт послаблення N-го сигналу

$$S_N(\omega) = A(\omega)H_x(\omega)[R_2(\omega)H_x^2(\omega)R_1(\omega)]^N T(\omega),$$

де $N = (0, 1, \dots, \infty)$.

Сума відносних амплітуд усіх сигналів, що з'явилися на виході ланцюга передачі,

$$S_\infty(\omega) = \sum_{n=0}^{\infty} S_n(\omega).$$

У спрощеному вигляді сума цього нескінченного ряду може бути перетворена в аналітичну форму:

$$S_{\infty}(\omega) = \frac{A(\omega)H_x(\omega)T(\omega)}{1 - R_2(\omega)H_x^2(\omega)R_1(\omega)}. \quad (2.30)$$

Рівняння (2.30) описує частотну передавальну характеристику ланцюга передачі, схему якого зображено на рис. 2.38.

При досить великій тривалості фронту вхідного сигналу всі вторинні відбиття накладалися б один на один і у результаті коливань сталого значення сигналу не спостерігалось б зовсім. Умови для виникнення викидів і "дзенькоту" з'являються тільки в тому випадку, коли тривалість фронту сигналу стає однаковою або менше часу кругової затримки (сума затримок поширення сигналу від входу лінії передачі до її виходу й назад).

Проаналізуємо можливі способи зменшення відбиттів у лініях передачі. З рівнянь (2.25) і (2.26) випливає рівняння зв'язку коефіцієнта передачі T і коефіцієнта відбиття від джерела R_2 :

$$T(\omega) = R_2(\omega) + 1.$$

З урахуванням цього рівняння формула матиме такий вигляд:

$$S_{\infty}(\omega) = \frac{H_x(\omega)A(\omega)T(\omega)(R_2(\omega) + 1)}{1 - R_2(\omega)R_1(\omega)H_x^2(\omega)}.$$

При фіксованому коефіцієнті передачі кабелю $H_x(\omega)$ у формулі залишаються два параметри, які можна змінити: імпеданс джерела й імпеданс навантаження. Імпеданс джерела входить у функції $A(\omega)$ і $R_1(\omega)$. Імпеданс навантаження входить тільки у функцію $A(\omega)$.

Достовірна передача цифрового сигналу забезпечується в загальному випадку за умови рівномірності передавальної характеристики ланцюга передачі як мінімум до частоти зламу обвідної спектра цифрового сигналу.

Для забезпечення рівномірності передатної характеристики ланцюга передачі придатні три способи, які вже давно стали стандартами. Це – узгодження лінії передачі на стороні навантаження, узгодження лінії передачі на стороні джерела і використання дуже короткої лінії.

2.5 Методи компонування електронних приладових пристроїв

Під компонуванням блока розуміють взаємне розміщення й орієнтацію чарунок або інших конструктивних елементів у заданому об'ємі блока. Компонування - одна з найскладніших і найвідповідальніших операцій, оскільки необхідно враховувати умови електромагнітної і теплової сумісності розташованих поряд конструктивних елементів, а також вплив інших факторів.

Розміщення елементів у просторі з точки зору формалізації більш важке, ніж на площині. Тому, як правило, просторове компонування виконують вручну, компонування на площині - за допомогою обчислювальної техніки.

Компонування виконують методом послідовних наближень і за його результатами складають компонувальну схему (схему розміщення, габаритне креслення). За прийомами виконання можна виділити такі методи компонування: аналітичний, номографічний, аплікаційний і модельний.

Аналітичний і номографічний методи компонування використовують на ранніх стадіях проектування електронної апаратури і дозволяють одержувати орієнтовну оцінку укрупнених характеристик конструкції. Аналітичне й номографічне компонування проводять за принциповою електричною схемою.

Під час аналітичного компонування підраховують кількість елементів кожного виду й орієнтовний об'єм кожного елемента, потім - об'єм конструкції, необхідний для досягнення потрібного коефіцієнта заповнення об'єму. Недолік методу - громіздкість обчислень.

При номографічному методі для обчислення використовують номограми, наведені в нормативних документах. Обидва методи не мають достатньої наочності, тому не дозволяють оцінити просторове компонування.

Аплікаційне й модельне компонування використовують для одержання ескізів, за якими розробляють конструкторську документацію. При площинному аплікаційному компонуванні трасування зв'язків між конструктивними елементами здійснюють автоматично за допомогою ЕОМ, яка керує графопобудовником, що видає ескіз конструкції, або фотоскладальною машиною, яка видає фотошаблон печатної плати.

При модельному компонуванні об'ємні складові частини виготовляють з пінопласту у вигляді кубів, циліндрів, паралелепіпедів та інших спрощених геометричних форм, які кріплять до несучої конструкції за допомогою клею або постійних феритових магнітів. Ескіз компонування одержують фотографуванням моделі.

При натурному компоюванні для макетування використовують реальні вузли, блоки, прилади. Натурне компоювання дозволяє вирішувати складні задачі, які графічно часто дуже важко показати, і має велику наочність. На практиці натурне компоювання суміщують з модельним. При цьому частину складних блоків і пристроїв заміняють їх моделями.

На рис. 2.39 зображено можливі схеми компоювання блоків рознімної і книжкової конструкції. При цьому об'єм блока V можна виразити як

$$V = V_1 + V_2, \quad (2.31)$$

де V_1 - об'єм, що займають чарунки; V_2 - об'єм, що займають елементи електричної комутації і монтажні з'єднання.

Для варіантів компоювання, наведених на рис. 2.40, об'єми V_1 і V_2 визначають таким чином:

1) для варіантів *a* і *б*

$$V_1 = L \cdot H \cdot (B - B_k), \quad V_2 = L \cdot H \cdot B_k; \quad (2.32)$$

2) для варіантів *в* і *г*

$$V_1 = L \cdot B \cdot (H - H_k), \quad V_2 = L \cdot B \cdot H_k; \quad (2.33)$$

3) для варіантів *д* і *е*

$$V_1 = B \cdot H \cdot (L - L_k), \quad V_2 = B \cdot H \cdot L_k. \quad (2.34)$$

На практиці при конструюванні блоків у більшості випадків виконуються умови $L > H$; $L > B$; $H > B$. Виходячи з формул (2.31) – (2.34) і враховуючи обмеження, одержимо

$$V_1^{д,е} > V_1^{в,г} > V_1^{a, б}; \quad V_2^{д,е} < V_2^{в,г} < V_2^{a, б}. \quad (2.35)$$

У варіантах компоювання *д* і *е* об'єм, що займають комутаційні елементи, буде найменшим, а об'єм, що займають рисунки, - найбільшим; у варіантах *a* і *б* - навпаки. Тому найраціональніше використовувати в апаратурі варіанти *д* і *е*, найменш раціональні варіанти *a* і *б*.

Для хорошого перемішування повітря усередині блока при натуральному повітряному охолодженні чарунки мають бути розміщені вертикально, тому варіанти компоювання *б* і *е* у цьому випадку на практиці не використовують. Їх можна застосувати при примусовому повітряному охолодженні. Оскільки $L / h_{я} > B / h_{я}$, де $h_{я}$ - крок розміщення чарунок, то кількість чарунок у варіантах компоювання *a* і *б* більша, ніж у варіантах *в* і *д*. У книжкових конструкціях блоків кількість "сторінок" (чарунок) звичайно буває невеликою, що зумовлено неможливістю достатнього розкриття чарунок.

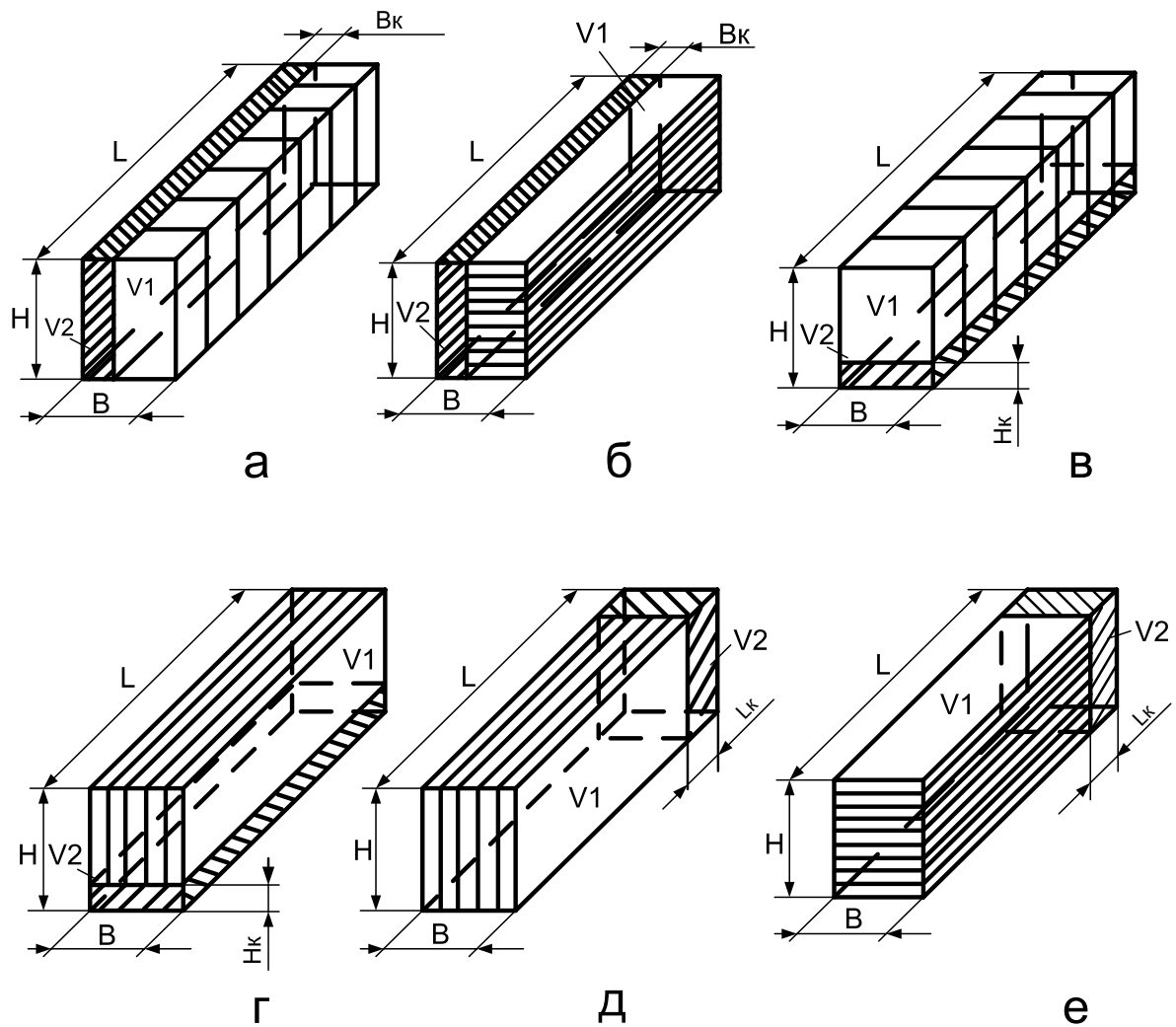


Рисунок 2.39 – Схеми компонування блока

Тому в книжкових конструкціях блоків використовують варіанти компонування *г* і *д*, а в рознімних конструкціях блоків - варіанти *а* і *б*.

При конструюванні печатних плат і чарунок кількість вихідних контактів, як правило, становить 60 - 80. З цих позицій переважні варіанти компонування *а* для рознімної конструкції і *г* - для книжкової. Але при цьому має місце програш у корисному об'ємі порівняно з варіантами компонування *в* і *д* відповідно.

При виборі варіанта компонування блока книжкової конструкції з урахуванням допустимої довжини печатних провідників на платі чарунки перевагу необхідно віддавати варіанту *г* порівняно з варіантом *д*. Це зумовлено тим, що довжина печатних провідників для варіанта *г* значно менша, оскільки $H < L$.

При остаточному виборі компонувальної схеми блока конструкторові часто доводиться йти на компроміс.

2.5.1 Модульний принцип конструювання, конструктивна ієрархія елементів, вузлів і пристроїв

У [18] запропоновано модульний принцип конструювання, що дозволяє знизити витрати на розроблення, виготовлення й освоєння виробництва ЕА, забезпечити сумісність приладових (апаратурних) рішень при одночасному поліпшенні якості, збільшенні надійності й терміну служби.

Під модульним принципом конструювання розуміється проектування виробів ЕА на основі конструктивної й функціональної взаємозамінності складових частин конструкції – модулів.

Модуль – складова частина апаратури, що виконує в конструкції додаткові функції, має закінчене функціональне й конструктивне оформлення й забезпечена елементами комутації і механічного з'єднання з подібними модулями й з модулями нижчого рівня у виробі.

Модульний принцип конструювання орієнтований на розукрупнення (розбиття, розчленовування) електронної схеми ЕА на функціонально-закінчені підсхеми (частини), що виконують певні функції. Ці підсхеми найчастіше розбиваються на більш прості схеми, поки електронна схема виробу не буде подана у вигляді набору модулів різної складності, а нижчим модулем не виявиться корпус мікросхеми. Модулі одного рівня поєднуються між собою в ЕА на будь-який конструктивній основі (несучій конструкції).

Можливий і інший підхід до конструювання, коли для частини детально розробленої функціональної схеми виробу використовуються певні серії МС, а електрична схема виробу в цілому може використовувати й інші МС і дискретні радіокомпоненти. У результаті цього буде отримано набір корпусів МС і ЕРЕ, що реалізує схему виробу. Ці корпуси й ЕРЕ встановлюються й комутуються між собою в модулях наступного рівня ієрархії, які розташовуються й комутуються в модулі більш високого рівня, і т.д. Залежно від складності проектованого виробу буде задіяна різна кількість рівнів модульності (рівнів конструктивної ієрархії).

Конструкція сучасної ЕА являє собою ієрархію модулів (порядок у розташуванні модулів від нижчого до вищого), кожний ступінь якої називається рівнем модульності. При виборі числа рівнів модульності проводять типізацію модулів, тобто скорочення їхньої різноманітності й установлення таких конструкцій, які виконували б найширші функції у виробі певного функціонального призначення. Функціонального різноманіття виробів досягають використанням різного числа рівнів модульності з можливістю конструктивного оформлення вищого, отже, самого складного модуля у вигляді закінченого виробу.

Можливо визначити чотири основних і два додаткових рівні модульності. Під основними розуміють рівні модульності, що широко застосовуються в різноманітній апаратурі, під додатковими – такі, що використовують в спеціальній апаратурі, але не завжди. Ієрархію модулів і їх входження в установку наведено на рис. 2.40, де модулі різних рівнів відділені подвійними вертикальними лініями.

Модулем нульового рівня є електронний радіокомпонент. Залежно від виконання апаратури модулем нульового рівня є ЕРЕ й МС.

Модуль першого рівня – типовий елемент печатного вузла (ПВ), який складається з ПП і встановлених на ній модулів нульового рівня й електричних з'єднувачів.

Модуль другого рівня – блок, основними конструктивними елементами якого є панель із відповідними з'єднувачами модулів першого рівня. Міжблокову комутацію виконують з'єднувачами, розташованими по периферії панелі блока. Модулі першого рівня розміщують в один або кілька рядів. На рис. 2.40 показано однорядний блок.

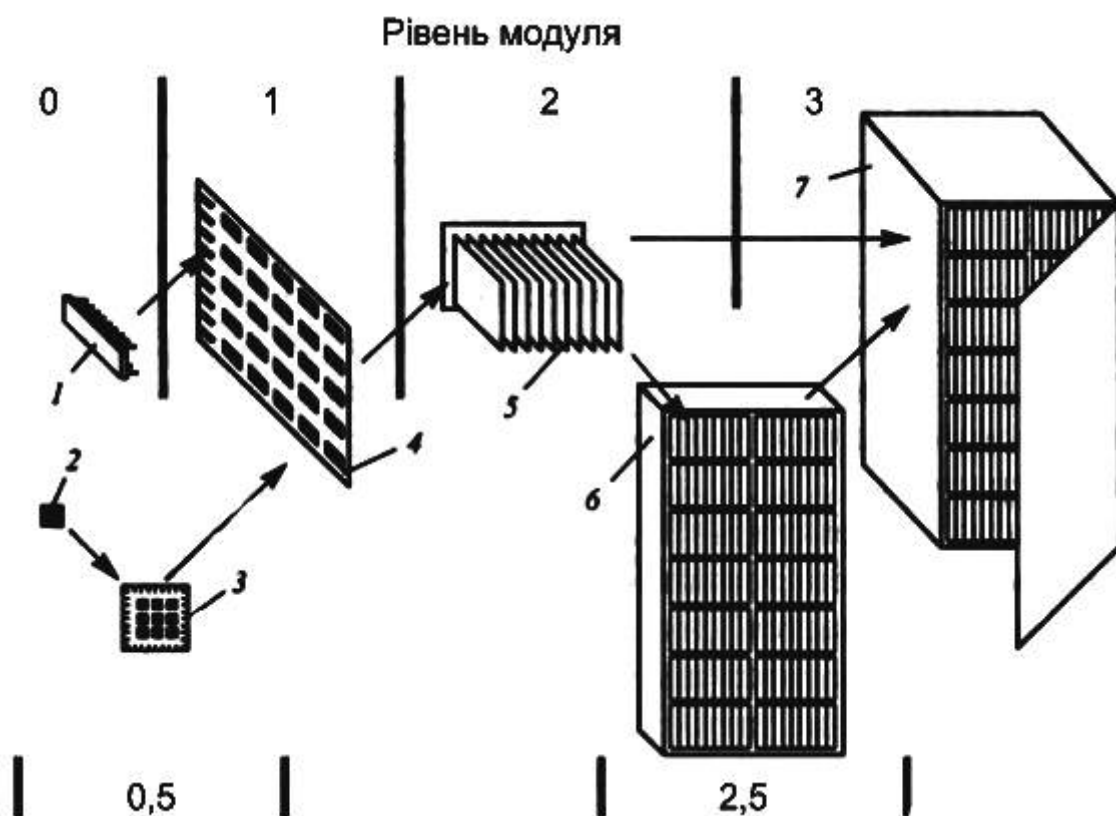


Рисунок 2.40 – Конструкції модулів і їхня ієрархія:

1 – мікросхеми; 2 – безкорпусні мікросхеми; 3 – мікроборки; 4 – печатний вузол; 5 – блок; 6 – рама (шасі); 7 – шафа (стояк)

Модуль третього рівня – стояк, у якому установлюють блоки або 2-3 рами.

Модулем рівня 0,5 є мікроборка, що складається з підкладки з розміщеними на ній безкорпусними мікросхемами. Міжмодульна комутація забезпечується введенням по периферії підкладки контактних площадок. Модуль уводиться для збільшення щільності компоновки апаратури.

Модуль рівня 2,5 являє собою раму, у якій розміщують 6-8 блоків. Раму застосовують в стояковій апаратурі, що використовує невеликі за розмірами модулі першого рівня.

Модульний принцип конструювання передбачає кілька рівнів комутації:

- 1-й рівень - комутація печатним і (або) провідним монтажем електронних компонентів на платі;
- 2-й рівень - комутація печатним або об'ємним монтажем певних з'єднувачів модулів першого рівня в блоці;
- 3-й рівень - електричне об'єднання блоків або рам у стійці й стійок між собою джгутами й кабелями;
- рівень 0,5 - електричне з'єднання виводів безкорпусних мікросхем плівковими провідниками;
- рівень 2,5 - комутація блоків у рамі проводами, джгутами або кабелями.

При розробленні нескладної апаратури вищі рівні модульності відсутні. Повну модульність, показану на рис. 2.40, використовують тільки в складній апаратурі, наприклад у супер-ЕОМ.

Вираз “функціонально-вузловий метод проектування” поширений у вітчизняній літературі. Цей метод дає підхід до розбивання функціональної схеми виробу на вузли (підсхеми), що конструктивно виконані на печатній платі модулями першого рівня. Дійсно, що завдання проектування ставиться ширше, оскільки складна апаратура має не одну схему, а, як правило, кілька структурних або функціональних схем.

Тому доцільно говорити про модульний принцип проектування, маючи на увазі під цим принципом виділення (розукрупнення, розбиття) схем на функціональні групи різних рівнів складності (вузли, пристрої, комплекси, системи).

Конструктивним модулям можна поставити у відповідність схемні модулі, які так само мають багаторівневу ієрархію і є функціональними вузлами, пристроями, комплексами, системами (табл. 2.9).

Необхідно відзначити, що наведений у табл. 2.9 зв'язок конструктивної й схемної модульності умовний. Він має відношення до апаратури, яка реалізована на мікросхемах малого ступеня інтеграції і в загальному випадку залежить від функціональної складності виробу, що проектується, й ступеня інтеграції застосованих МС.

Таблиця 2.9 – Зв'язок між конструктивною і схемною модульністю

Конструктивна модульність	Схемна модульність елемента цифрової логіки, пам'яті та інше
Корпус мікросхеми	Логічний і запам'ятовувальний елементи
Печатні вузли	Функціональний вузол
Блок	Пристрій
Рама	Комплекс
Стійка	Система

Справа в тому, що у великих інтегральних схемах (ВІС) реалізуються повністю пристрої (наприклад, перетворювачі, запам'ятовувальні пристрої) або їхні великі фрагменти. Можливо, що нескладна система буде конструктивно виконана на одній печатній платі.

При розбитті структурних і функціональних схем необхідно задовольнити багато вимог, інколи суперечливих:

- функціональної закінченості, коли виділена підсхема повинна мати необхідну повноту й виконувати приватні функції щодо прийому, оброблення, зберігання й передачі інформації;
- мінімізації зовнішніх зв'язків підсхем, щоб число зовнішніх зв'язків не перевищило числа контактів з'єднувача;
- максимального заповнення конструктивного простору (поверхні), що відведений для модулів (радіокомпонентів);
- модулі (компоненти) підсхем повинні розсіювати приблизно однакові потужності, щоб уникнути місцевих перегрівів;
- модулі (радіокомпоненти) підсхем не повинні бути надмірно чутливими до електричних, магнітних й електромагнітних перешкод і не повинні створювати надмірних перешкод.

Дотримання вимог функціональної закінченості покажемо на прикладі розроблення конструкції супергетеродинного приймача, що складається з таких підсхем: вхідного ланцюга, підсилювача радіочастоти, перетворювача частоти, підсилювача проміжної частоти, детектора, підсилювача звукової частоти.

При реалізації конструкції радіоприймача кожен функціональний вузол можна виконати на окремій платі, у той же час всю схему радіоприймача - на одній платі.

Функціональна закінченість буде виконуватись в обох випадках, але в другому випадку загальне число зовнішніх зв'язків менше, і надійність, якщо всі інші елементи схеми й конструкції однакові, виявиться вищою. Функціональна закінченість буде відсутня, якщо на

одній платі виконана схема вхідного ланцюга й частина підсилювача сигналу, а на іншій платі – друга частина підсилювача сигналу й перетворювача частоти. Функціональна закінченість підсхеми скорочує число міжмодульних електричних з'єднань, дозволяє вносити конструктивні зміни на більш пізніх стадіях проектування, спрощує й здешевлює контроль модулів.

Модулі вищих рівнів поставляються розроблювачам ЕА у вигляді базових несучих конструкцій (БНК), які складаються з деталей або сукупності деталей, призначених для розміщення, монтажу складових частин апаратури й забезпечення стійкості ЕА в умовах зовнішніх впливів. Під БНК розуміється стандартна несуча конструкція, що служить для розроблення різноманітної ЕА певного призначення.

2.5.2 Стандартизація при модульному конструюванні

Прискорення розроблення й виробництва апаратури, збільшення її серійності, зниження вартості можна досягти уніфікацією, нормалізацією й стандартизацією основних параметрів і типорозмірів печатних плат, блоків, приладових корпусів, стояків, широким застосуванням модульного принципу конструювання.

В основі стандартизації модулів й їхніх несучих конструкцій лежать типові функції, властиві багатьом електронним системам. При використанні модульного принципу конструювання застосовують державні стандарти, що встановлюють терміни, визначення, системи типових конструкцій модульних систем.

Конструкційна система повинна являти собою багаторівневу сім'ю модулів з оптимальним складом набору, що забезпечує функціональну повноту при побудові апаратури певного призначення. Усі модулі системи мають бути сумісні між собою за конструктивними, електричними й експлуатаційними параметрами.

Базовим називається принцип конструювання, при якому приватні конструктивні рішення реалізуються на основі стандартних конструкцій модулів або конструкційних систем модулів (базових конструкцій), дозволених до застосування в апаратурі певного класу, призначення й об'єктів установки.

При розробленні базових конструкцій необхідно враховувати особливості сучасних і, що більш важливо, майбутніх розробок. При цьому приватні конструктивні рішення узагальнюють, а основні властивості й параметри закладають в конструкції, які стандартизують, поставляють й рекомендують для широкого застосування.

Базові конструкції не повинні бути повністю конструктивно завершеними, у них необхідно передбачати можливість зміни для створення модифікацій апаратурних рішень. Ієрархічна побудова базових конструкцій із гнучкою структурою й числом рівнів не більше чотирьох є цілком достатньою для розроблення ЕА будь-якої складності.

При стандартизації параметри конструкцій поєднуються в параметричні ряди, що характеризуються сукупністю числових значень на основі прийнятих градацій і діапазонів. Якщо як параметри ряду використовують геометричні розміри конструкції, то говорять не про параметричні, а про розмірні ряди. Обидва види рядів дуже поширені.

Оптимальними з позицій стандартизації варто вважати ряди, що забезпечують найбільший економічний ефект від їхнього використання й випереджальну стандартизацію, тобто скорочення обсягу робіт, пов'язаних з переглядом стандартів й їхньою модернізацією (випереджальна стандартизація дозволяє збільшити терміни дії стандартів).

На нижчому нульовому рівні конструктивної ієрархії ЕА перебувають МС. Корпуси МС це теж певною мірою прилад, що має контакти для зовнішніх зв'язків і служать для захисту поміщених у них напівпровідникових кристалів, підкладок й електричних з'єднань від зовнішніх впливів, а також для зручності при збиранні й монтажі модулів першого рівня. Кристали або підкладки МС приклеюють або припаюють до підстави корпусу, а вихідні контакти приєднують до виводів корпусу паянням або зварюванням.

Корпуси мікросхем бувають металоскляними, металокерамічними, металопластмасовими, скляними, керамічними й пластмасовими. У перших трьох різновидах корпусів кришку виконують металевою, а підставу - скляною, керамічною або пластмасовою. Металева кришка забезпечує ефективний вологозахист при гарному відводі теплоти від кристалу, знижує рівень перешкод.

У пластмасових і керамічних корпусах кришку й підставу виконують із однорідного матеріалу. Підставу корпусу з'єднують з кришкою паянням, зварюванням або склеюванням. Деякі корпуси одержують шляхом заливання форми корпусу пластмасою. На корпус МС наносять маркування відповідно до її умовної позначки й нумерують виводи відносно ключа або мітки. За формою корпусу й розташуванням виводів розрізняють типи корпусів або типорозміри.

Кожен тип корпусу має достоїнства й недоліки. Пластмасові корпуси дешеві, забезпечують гарний захист від механічних впливів, але гірше інших типів корпусів захищають від кліматичних впливів, перегріву.

2.5.3 Модулі нульового рівня й мікрозборки

Мікросхеми й мікрозборки відносяться до нульового рівня. Найвища щільність компонування ЕА має місце при використанні безкорпусних компонентів. Однак установлення й монтаж останніх безпосередньо на печатній платі не забезпечує високої щільності компонування через низьку розв'язну здатність монтажу (на сьогоднішній день можливості печатного монтажу практично вичерпані). Введення в конструкцію проміжного елемента – підкладки – усуне цей недолік.

Безкорпусні активні компоненти фіксуються клеєм на підкладці, на якій методом тонко- або товстоплівкової технології виконують провідники, контактні площадки ланцюгів входу й виходу, плівкові пасивні компоненти. Подібні конструкції називають мікрозборками. Фактично мікрозборки є аналогами безкорпусних гібридних МС індивідуального застосування. Інтегральні мікросхеми мікрозборок не обов'язково повинні бути погоджені по входу й виходу. Пасивна частина схеми мікрозборки забезпечить необхідну погодженість. За технологією виробництва мікрозборки не відрізняються від гібридних мікросхем, а за функціональною складністю й ступенем інтеграції відповідають ВІС. На відміну від універсальних ВІС, які використовують у різноманітній апаратурі, мікрозборки розробляють під конкретну апаратуру для одержання високих показників її мікромініатюризації, зменшення втрат корисного обсягу. Хоча роздільна здатність товстоплівкової технології нижче тонкоплівкової, у ній порівняно легко вдається реалізувати багаточарові конструкції, підвищити щільність компонування.

Висока насиченість монтажу досягається використанням нових матеріалів і збільшенням шарів комутації. Матеріалом підкладок мікрозборок можуть бути деякі види скла й кераміки. Легкість одержання гладких поверхонь і дешевизна є основними перевагами скла. Однак низька теплопровідність, що перешкоджає розсіюванню великих потужностей, крихкість, труднощі одержання складних форм підкладок обмежує їхнє застосування. Керамічну підкладку відрізняють більша механічна міцність, гірша теплопровідність, достатня хімічна стійкість, але й підвищена вартість і відносно груба поверхня.

Як матеріал підкладок використовують ситал (матеріал на основі скла), полікор (кераміка на основі окису алюмінію), гнучкі поліамідні плівки. Розміри ситаллових підкладок звичайно не перевищують 48x60 мм, полікорових - 24x30 мм.

Для збільшення механічної твердості й теплової стійкості гнучкі плівки найчастіше фіксують на пластині з алюмінієвого сплаву. Максимальні розміри таких підкладок становлять 100x100 мм, щільність розведення - 5 ліній/мм (мінімальні ширина й зазори між провідниками

- по 0,1 мм), крок внутрішніх контактних площадок - 0,3...0,5 мм, зовнішніх - 0,625 мм.

2.5.4 Модулі першого рівня

При конструюванні модулів першого рівня виконують такі роботи:

- вивчають функціональні схеми з метою виявлення однакових за призначенням підсхем й уніфікації їхньої структури в межах конкретного виробу, що приводить до зменшення різноманіття різних підсхем й номенклатури різних типів ПВ;

- вибирають серії мікросхем, корпусів мікросхем, дискретних ЕРЕ;

- вибирають єдину максимально припустиму кількість виводів з'єднувача для всіх типів модулів (за основу приймають число зовнішніх зв'язків найбільш повторюваного вузла в наборі вузлів виробу з урахуванням ланцюгів живлення й нульового потенціалу і 5...10 % запасу контактів на можливу модифікацію);

- визначають довжину й ширину печатної плати. Ширина плати, як правило, дорівнює довжині з'єднувача або кратна йому з урахуванням полів установлення й закріплення плати в модулі другого рівня. Вимоги щодо швидкості й кількості установлюваних на плату компонентів впливають на її довжину;

- вибирають процес конструювання печатної плати;

- вибирають способи захисту модуля від перегріву й зовнішніх впливів.

Поширення одержало плоске компонування модуля. Приклад ПВ із радіокомпонентами, що встановлені у площині плати з однієї або з двох сторін, показано на рис. 2.43. На печатну плату встановлюють мікросхеми 4 і для виключення впливу на їх роботу перешкод з електроживлення – фільтрувальні конденсатори 5.

Додатково для зовнішньої комутації ПВ вводиться з'єднувач (рис. 2.44).

Для плоского компонування характерна мала висота установлення компонентів порівняно з довжиною і шириною плати. Це забезпечує простоту виконання монтажних робіт, легкість доступу до компонентів і монтажу, поліпшує тепловий режим (див. підрозд. 1.10.5), що є основними перевагами плоского компонування.

Лицьова панель виконує одночасно кілька функцій. На ній розташовують елементи індикації й керування, контрольні гнізда, іноді електричні з'єднувачі, які комутуються із платою провідним монтажем.

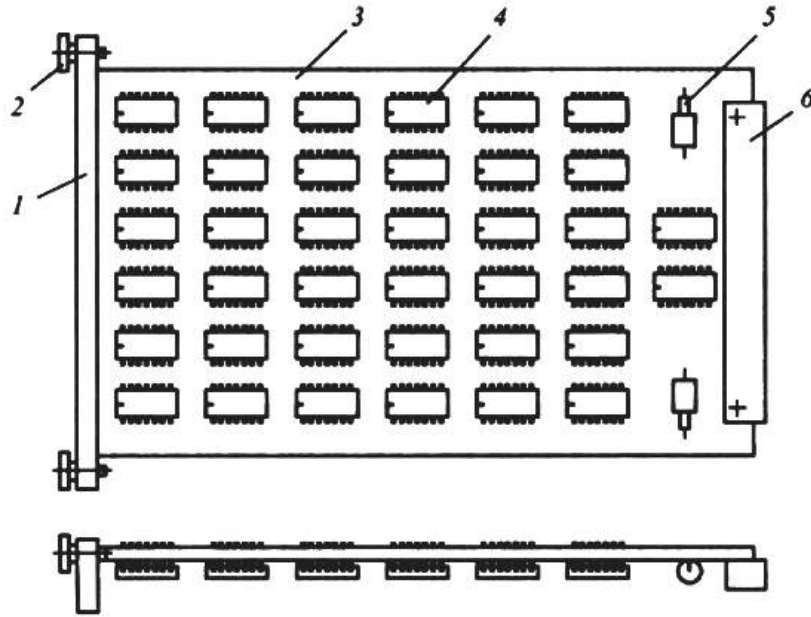


Рисунок 2.43 – Плоске компонування модуля:
 1 - лицьова панель; 2 – гвинт для кріплення; 3 - печатна плата;
 4 - мікросхеми; 5 – розв'язувальний конденсатор;
 6 - електричний з'єднувач

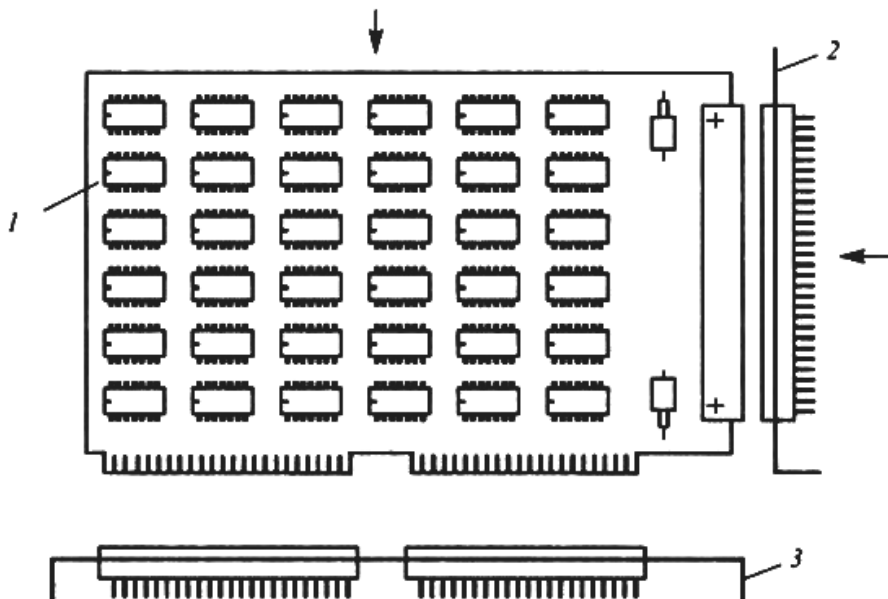


Рисунок 2.44 – Печатний вузол з трьома з'єднувачами:
 1 – печатний вузол; 2 – зовнішнє рознімання; 3 – рознімання шасі

На панелі в нарізний отвір розміщують гвинт, що не випадає, яким ПВ жорстко фіксується на несучій конструкції модуля другого рівня, наносять адресу, що дозволяє відрізнити ПВ серед подібних у наборі, що реалізує конструкцію ЕА, а також запобігти неправильному установ-

ленню ПВ. Невідповідність адреси місця встановлення ПВ у блоці з адресою лицьової панелі ПВ вказує на неправильне його встановлення. На лицьових панелях разом з монтажними панелями модулів вищих рівнів можуть знаходитись охолоджуючі пристрої, які направляють охолоджене повітря до теплонавантажених радіокомпонентів. Щоб запобігти витоку повітря з місць установлення, де ПВ відсутні, замість них установлюють заглушки. Панель і електричний з'єднувач кріплять до печатної плати гвинтовим або заклепувальним з'єднанням. В умовах твердих механічних впливів плату ПВ установлюють на рамку, що збільшує жорсткість конструкції. При великій кількості зовнішніх ланцюгів на ПВ установлюють кілька з'єднувачів, що розташовують на одній або декількох сторонах плати. У зображеній на рис. 2.44 конструкції ПВ із двостороннім розташуванням з'єднувачів стрілками показано напрямки установлення ПВ у приладові з'єднувачі шасі блоку, а потім кабельного з'єднувача, закріпленого на кронштейні, у приладовий з'єднувач ПВ. У блоках апаратури, що транспортується, ПВ, як правило, закріплені жорстко на несучій конструкції. Комутацію модулів першого рівня наведено на рис. 2.44.

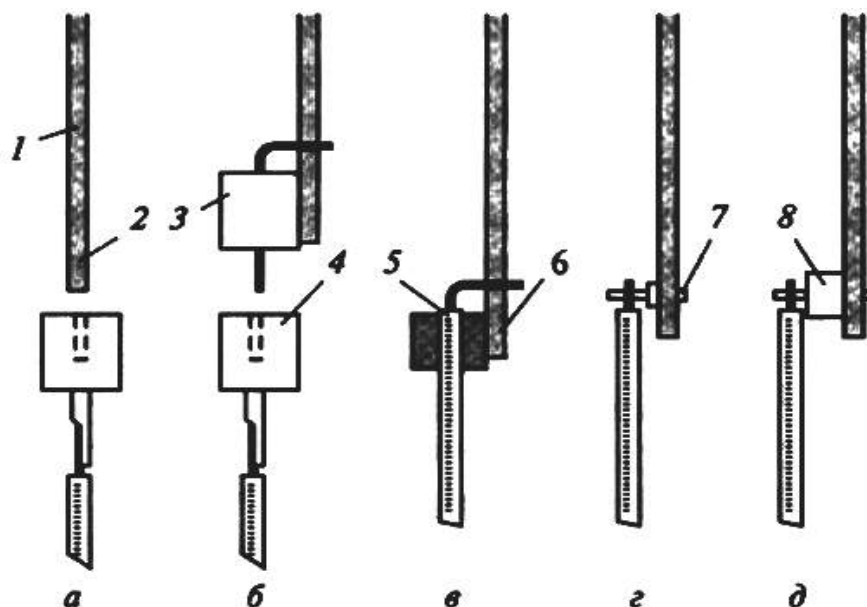


Рисунок 2.45 – Комутація модулів першого рівня:
 а - пряме зчленування ПВ; б - непряме зчленування ПВ; в, г, д - комутація паяним з'єднанням; 1 - печатна плата; 2 - вилокочий печатний з'єднувач; 3 - вилка з'єднувача непрямого зчленування; 4 - розетка; 5 - провід; 6 - притискна планка; 7 - перехідний штир; 8 - перехідна колодка

Модулі першого рівня комутуються між собою приладовими з'єднувачами печатного монтажу (рис. 2.45, а, б), безпосереднім підпаюванням проводів до монтажних отворів плат (рис. 2.45, в), з використанням перехідних штирів (рис. 2.45, г) і колодок (рис. 2.45, д) (на рисунку показано вигляд збоку на печатну плату).

З'єднувачі забезпечують найбільш швидку й легку заміну модулів і бувають прямого й непрямого зчленування.

Вилка з'єднувача прямого зчленування є частиною печатної плати, на якій виконані печатні контакти з'єднувача (печатні ламелі).

Розетка з'єднувача прямого зчленування буває відкритого й закритого виконання. У розетках відкритого виконання проріз для установлення печатної плати відкритий, що дозволяє встановлювати в неї різні по ширині плати. Розетки закритого типу з кінців обмежені торцевими поверхнями й служать для установлення плат фіксованої ширини.

Взаємна орієнтація модуля й розетки здійснюється перегородкою в розетці й пазом під цю перегородку в кінцевій частині печатної плати. Фіксація модуля в розетці відкритого виконання виконується пружними контактами розетки, у розетці закритого виконання - ще й торцевими поверхнями з'єднувача.

З'єднувач прямого зчленування розробляють під плату певної товщини. Відстань між сусідніми печатними ламелями вибирають з такого ряду: 1,25; 2,5; 3,75; 5 мм (для дюймових розмірів - відповідно 1,27; 2,54; 3,81; 5,04), а також зустрічаються й інші формати для обох розмірів.

Малого омичного опору й високої зносостійкості контактної пари ламельного типу (контактами є печатні доріжки) досягають покриттям мідних поверхонь ламелей сріблом, палладієм, золотом, родієм. Товщину покриття варіюють в межах 3...50 мкм.

При конструюванні печатних плат необхідно вирішувати завдання:

- вибору провідникових й ізоляційних матеріалів, форми й розмірів печатних плат, способів установлення компонентів;
- визначення ширини, довжини, товщини печатних провідників, відстаней між ними, діаметрів монтажних і перехідних отворів, розмірів контактних площадок;
- трасування печатного монтажу;
- оформлення конструкторської документації.

2.5.5 Модулі другого рівня

До модулів другого рівня відносяться блоки різних видів. Конструкцію одноплатного безкаркасного настільного приладу з вбудованим блоком живлення показано на рис. 2.46.

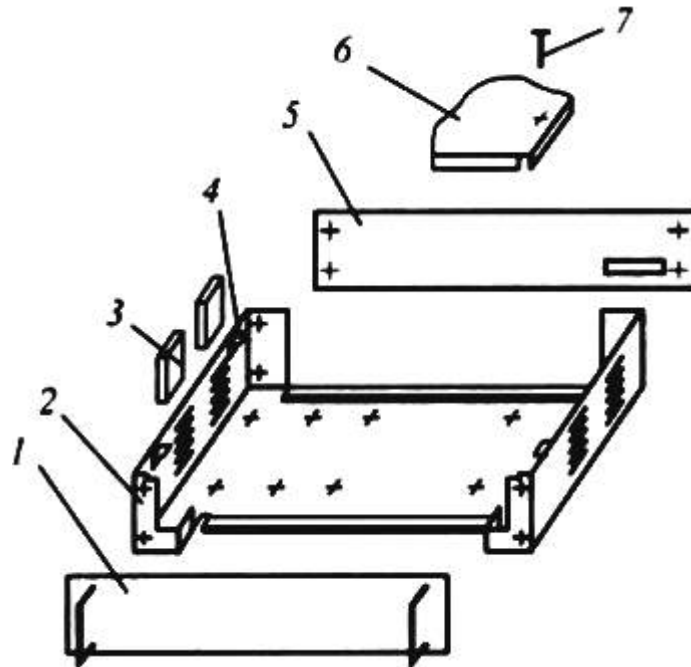


Рисунок 2.46 – Прилад настільний безкаркасний:

1 - лицьова панель; 2 - підстава; 3 - вентилятор; 4 - кронштейн;
5 - задня панель; 6 - кришка; 7 - гвинт

Несучою конструкцією приладу є основа 2. Хоча розміри підстави можуть бути більшими (300 x 450 мм і більше), його звичайно виготовляють із тонкого листового матеріалу, а для додання твердості в кутах конструкції задають певну форму. Для закріплення модулів у підставі приладу виконані виштамповки з отворами, у які вставляють нарізні втулки під гвинти. Кришка 6 зрушується, переміщуючись по вертикальних бічних стінках деталі 2. Це дозволяє на кришці 6 розташовувати технічний опис приладу, електричні схеми, вимірювальні прилади. Для закріплення кришки на підставі передбачені кронштейни 4, фіксовані заклепками.

На підставу приладу встановлюють блок живлення, плату операційного пристрою (електроніки) і вентилятори, що забезпечують нормальний тепловий режим приладу. На електромонтажній схемі (рис. 2.47) задня і передня панелі розгорнуті відносно встановлюваної площини підстави на 90°. У конструкцію уведено: джгут мережі живлення, що підводить напругу 220 В з частотою 50 Гц до блока жи-

влення і вентиляторів, джгут підведення постійної напруги від блока живлення до плати електроніки й джгут сигнальних проводів.

У разі, якщо максимальні розміри плати 8 можуть бути обмежені, наприклад, виробничими можливостями або розмірами підстави приладу, на плату електроніки можна розмістити разом з радіокомпонентами електричні з'єднувачі, у які встановлюються ПВ схеми, що не змогли розміститися на платі, або якісь інші додаткові модулі (рис. 2.48).

Таким чином, об'єднуюча плата (основна плата), показана на рисунку, є модифікацією плати електроніки. У зарубіжній літературі такі плати називають motherboard – материнська плата.

Може статися так, що схема, реалізована на платі, потребує розмірів, які не можуть бути забезпечені сучасним виробництвом. Тоді цю гіпотетичну плату розбивають на кілька плат менших розмірів, поєднаних конструктивно в блоці монтажною панеллю.

Можливі компоновочні форми блоків показано на рис. 2.49. При однакових фізичних обсягах блоків сферична форма забезпечує

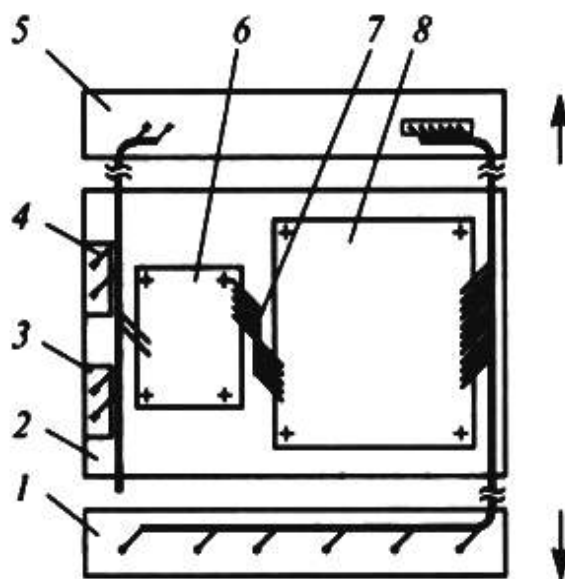


Рисунок 2.47 – Електромонтажна схема приладу настільного безкаркасного:
 1 - лицьова панель; 2 - підстава;
 3 - вентилятор; 4 - провід;
 5 - задня панель; 6 - блок живлення;
 7 - джгут; 8 - плата електроніки

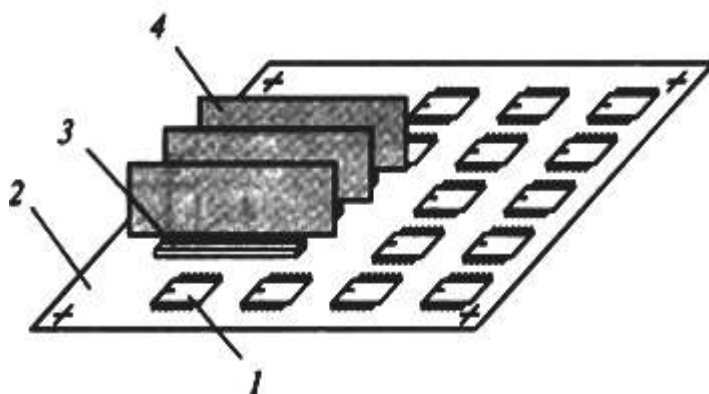
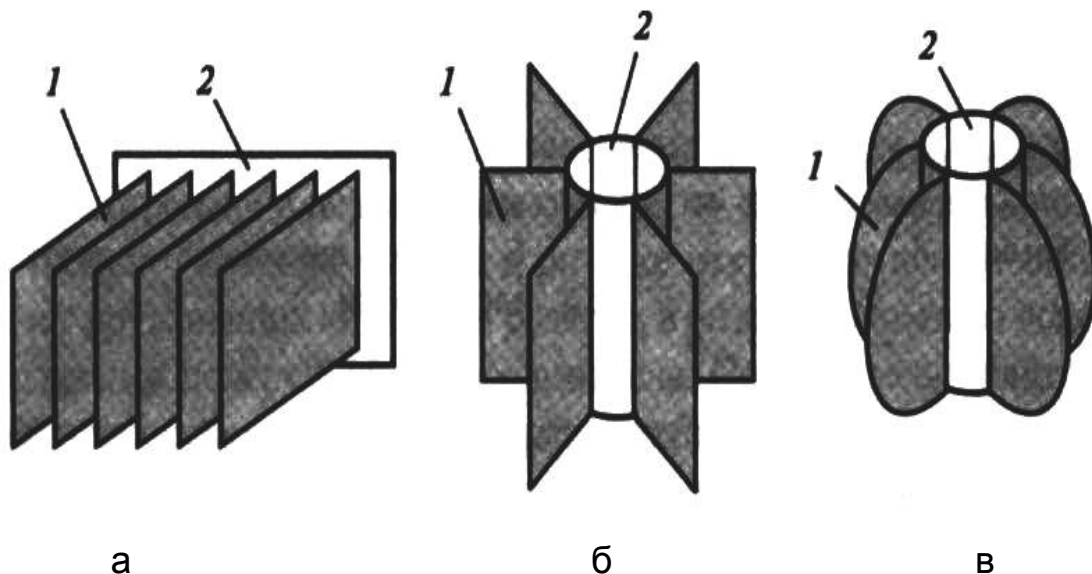


Рисунок 2.48 – Об'єднувальна (материнська) плата: 1 - мікросхема;
 2 – об'єднувальна плата; 3 – відповідний електричний з'єднувач ПВ; 4 – ПВ

мінімальну довжину ліній зв'язків. Однак форма ПВ у вигляді півкола не є технологічною.



а б в
Рисунок 2.49 – Схеми компонування блоків у вигляді:
паралелепіпеда (а), циліндра б), сфери (в): 1 - ПВ; 2 – монтажна
плата

При конструюванні блоків ЕА застосовують стелажний, етажерочний і книжковий варіанти конструкцій у формі паралелепіпеда в негерметичному й герметичному виконанні.

Блоки стелажного типу (рис. 2.49) компонують з ПВ, які встановлюють в один або кілька рядів перпендикулярно монтажній панелі (материнській платі).

Основним конструктивним елементом блока є каркас 1 з монтажною панеллю і з'єднувачами 4. Залежно від орієнтації у просторі монтажної панелі існують такі різновиди компоновочних схем модулів (рис. 2.50), які аналогічні компонуванню блоків (рис. 2.39), адже модуль теж можна розглядати як блок. Елементи керування й з'єднувачі, що не потребують частого доступу, а також запобіжники виносять на задню панель.

Блоки із захисними кожухами й кришками є самостійними виробами (приладами) і в такому вигляді експлуатуються. Звичайно на передню панель приладу настільного типу встановлюють елементи індикації, вимірвальні вузли, елементи керування (кнопки, тумблери тощо), електричні з'єднувачі.

При компонуванні виробів необхідно забезпечити вільний доступ до електричних з'єднувачів монтажних панелей для контролю і до ПВ для їхньої заміни. Якщо монтажна панель орієнтована горизонтально, то кришку й піддон приладу необхідно виконувати знімними, якщо

вертикально - лицьову й задню панелі потрібно робити знімними або відкидними.

При комплектації блоками рам і стояків шафового типу в конструкцію блоків не вводять кожухи або кришки. При значній довжині ПВ (наприклад, касетної конструкції з декількох плат) блок з вертикальним поперечним розташуванням монтажної панелі (рис. 2.50, а) можна встановлювати безпосередньо в стояк.

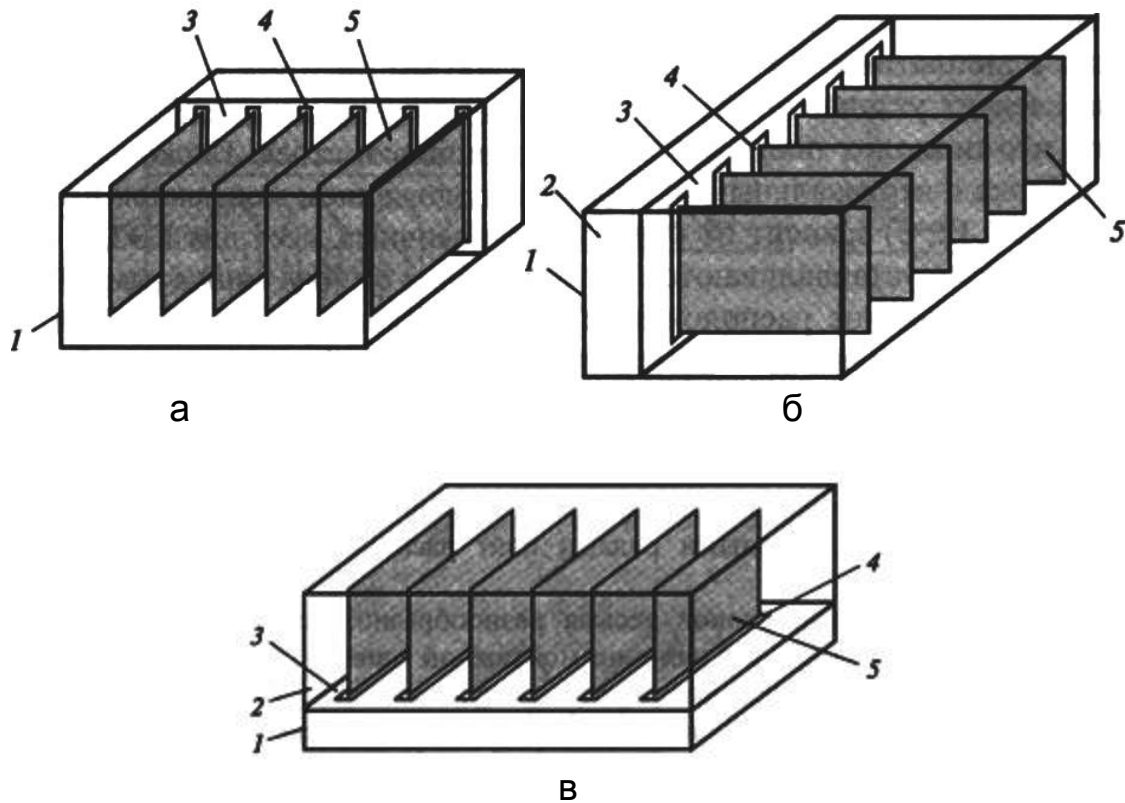


Рисунок 2.50 – Вертикальне поперечне (а), вертикальне поздовжнє (б), горизонтальне (в) розташування монтажної панелі блоків стележної конструкції: 1 - каркас; 2 - лицьова панель; 3 - монтажна панель; 4 - з'єднувач; 5 - ПВ

Однак у сучасній апаратурі довжина одноплатних ПВ рідко перевищує 200 мм, тому блоки даного типу варто встановлювати в проміжний конструктивний елемент – раму, що дозволить підвищити щільність компонування стояків. Оскільки глибина блока з вертикальним поздовжнім розташуванням монтажної панелі (рис. 2.50, б) залежить від кількості місць установлення для ПВ, то подібні блоки встановлюються безпосередньо в стояк, мінаючи раму.

Горизонтальне розташування монтажної панелі (рис. 2.50, в) ускладнює охолодження блоків природною конвекцією, тому їх звичайно використовують у приладах настільного типу з низькою щільністю

компонування або разом з вентиляторами, які направляють потоки охолодженого повітря уздовж каналів, що утворені рядами плат, розташованих по сусідству з ПВ.

Конструктивне виконання блоків досить різноманітне, але в усіх блоках можна відзначити обов'язкову присутність монтажної панелі (шасі), каркаса, напрямних й елементів фіксації в модулі вищого рівня. Спростити проектування, контроль, налагодження апаратури, а також одержати функціонально закінчені блоки високої щільності компонування можливо при розробленні декількох блоків конструкційної системи на різне число ПВ. Для цього розробляють кілька типорозмірів основних базових деталей блоків і у першу чергу монтажних панелей.

На монтажних панелях виділяють центральну й периферійну зони. У центральній зоні розташовують відповідні частини з'єднувачів ПВ, напрямні, у периферійній - колодки або з'єднувачі зовнішньої комутації, джгути, вузли підведення напруги живлення й нульового потенціалу. Бажано відповідні з'єднувачі ПВ установлювати на багат шарову печатну плату. Однак практика конструювання показала, що одержати всі з'єднання печатним способом важко через необхідність розроблення плат з великою кількістю шарів, низькою розв'язувальною здатністю багат шарового монтажу й недосконалістю програм трасування. У процесі відпрацьовування апаратури часто з'являється необхідність у внесенні змін, які найпростіше виконати провідним монтажем. Тому при конструюванні блоків крім печатного використовується монтаж одиночними проводами, звитою парою, джгутовим монтажем.

При монтажі блоків витою парою біля вихідних контактів відповідних частин кожного з'єднувача ПВ необхідно мати контакти заземлення, до яких комутуються нульові проводи витих пар. Це можна виконати, якщо землю використати у вигляді суцільного фольгованого шару однієї печатної плати. При монтажі блоків одиночними проводами й звитими парами необхідність у підтримці монтажу не виникає. При використанні джгутів на монтажній панелі блока передбачають пази або поглиблення, у яких джгути розміщують і закріплюють.

Напрявні вводять в конструкцію для швидкого зчленування ПВ із відповідними частинами з'єднувачів без заклинювання, затискання або перекошу, підтримки плати ПВ при ударах і вібраціях, створення шляху для кондуктивного відводу теплоти. Для входу й переміщення плати в напрямних по краях плати передбачають вільну від печатного монтажу зону шириною 2...3 мм. Довжина напрямних залежить від довжини плати ПВ. Розрізняють групові напрямні, призначені для уста-

новлення одночасно декількох ПВ (рис. 2.51, а), й індивідуальні (рис. 2.51, б).

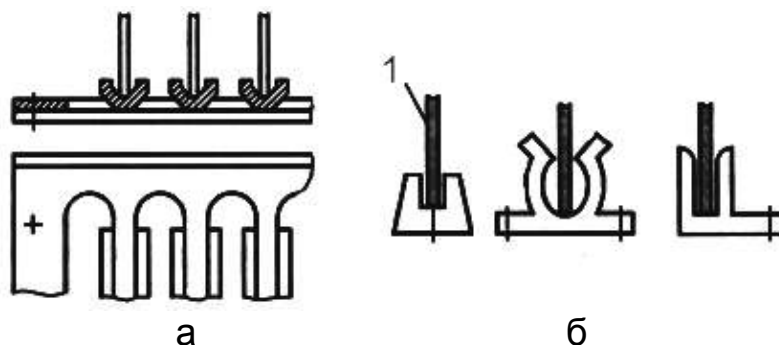


Рисунок 2.51 – Напрямні пази печатних плат ПВ: а - групові; б - індивідуальні; 1 - фрагмент ПВ

Надійна комутація ПВ із відповідною частиною з'єднувача в блоці забезпечується розрахунком на зчленування відповідних розмірних ланцюгів блока. При цьому за відомим допуском замикальної ланки визначають допуски складових розмірів або номінальний розмір і допуск замикальної ланки за заданими розмірами і допусками складових ланок.

Елементи кріплення й фіксації повинні виключити можливість випадання ПВ при впливі ударів і вібрацій. Передбачається індивідуальне або групове кріплення ПВ. Для індивідуального кріплення рекомендується використати гвинти, що не випадають, засувки. У більшості випадків групове кріплення здійснюється притисною кришкою з наклеєною із внутрішньої сторони пористою прокладкою. Після установлення всіх ПВ у блок з боку лицьових панелей кріпиться гвинтами притисна кришка.

У блоках різноманітної книжкової конструкції (рис. 2.52) механічне об'єднання печатних плат між собою й з несучою конструкцією забезпечується шарнірними вузлами 4, що дозволяють повертати плати 1 подібно сторінкам книги. У робочому стані плати 1 поєднують у пакет стяжними гвинтами або різьбовими шпильками. Можливі вертикальна (рис. 2.52, а, б) і горизонтальна (рис. 2.52, в) орієнтація плат у блоці. Блоки встановлюють у стояк або монтажний пристрій. Електричні з'єднання виконують об'ємними проводами, печатними джгутами, паяними з'єднаннями. Провідники й джгути підпаюються до плат 1 з боку підвіски плат і до комутаційної плати 2, що здійснює комутацію плат 1 відповідно до принципової схеми. На задній панелі несучої конструкції блоку встановлюють зовнішні з'єднувачі.

Конструкція блока дозволяє контролювати в робочому режимі будь-яку плату після видалення стяжних гвинтів. Шарнірний вузол (рис. 2.52, а) застосовують в нескладних конструкціях на 2-4 плати.

Елементи підвіски плат розташовують у задній й лицьовій панелях блока по дві з кожної сторони.

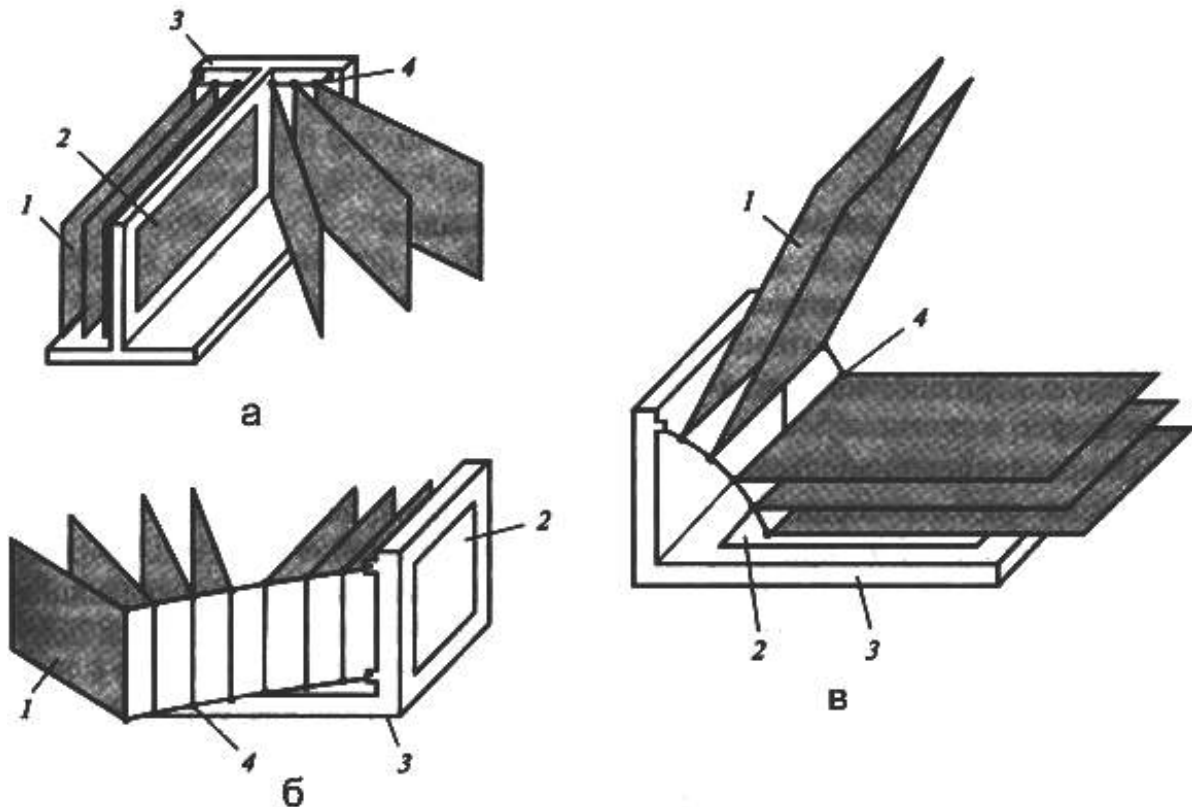


Рисунок 2.52 – Вертикальна (а, б) і горизонтальна (в) осі розкриття блоків книжкової конструкції:
1 – зібраний ПВ; 2 – комутаційний ПВ; 3 – рама (шасі) несучої конструкції; 4 – шарнірний вузол

Плати розкриваються подібно відкриванню двостулкових дверей стояка ЕА. Елементи підвіски в блоці повинні розташовуватися в різних площинах із кроком установлення, трохи більшим за товщину плати, і виконуватися у вигляді штиря або перемички між двома прямокутними отворами, на які надівається циліндрична частина шарнірного вузла.

Перевага розглянутої конструкції - в її простоті, недолік - деяке збільшення довжин електричних з'єднань за рахунок розміщення елементів підвіски на протилежних сторонах блока.

Як і у блоках стелажної конструкції, конкретне конструктивне виконання блоків книжкової конструкції може розрізнятися: шарнірні вузли можуть виконуватися разом з рамкою, індивідуально, на шарнірний вузол може встановлюватися одна або кілька плат і т.д., комутація може здійснюватися печатним або об'ємним в'язаним джгутом, одиночними провідниками тощо. Однак правила об'єднання конструктивних елементів і вузлів залишаються незмінними.

У блоках з відкидними платами (рис. 2.53) плати 2 механічно поєднують між собою і з несучою конструкцією 4 рухомими з'єднанням на осі 5, що дозволяє забезпечувати поворот (відкидання) будь-якої плати й контроль цієї плати у відкинутому положенні при функціонуванні блока.

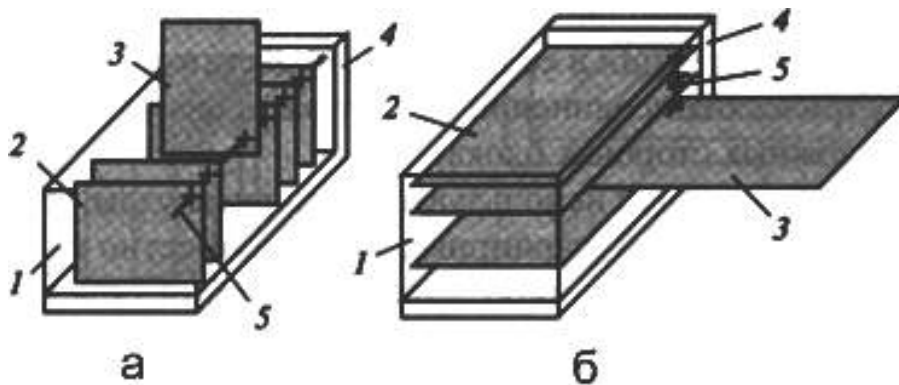


Рисунок 2.53 – Вертикальний (а) і горизонтальний (б) напрямки відкидання плат у блоках:
1 – кожух; 2 – ПВ; 3 – відкинутий ПВ; 4 – рама; 5 – вісь шарніра

Конструкцією має бути передбачена фіксація плати у відкинутому стані. У робочому стані плати поєднують у пакет і кріплять до несучої конструкції. Електричні з'єднання виконують об'ємними проводами, джгутами, з'єднувачами.

При розробленні електромонтажної схеми блока необхідно передбачити рухомість монтажу, наприклад, штучним збільшенням довжини джгута для забезпечення відкинутого положення плати. Можливі вертикальний і горизонтальний напрямки відкидання плат. Як недолік цього виду компонування слід зазначити деяке збільшення довжини монтажних проводів.

Етажеркового компонування блока (рис. 2.54) досягають паралельним об'єднанням між собою плат 3 і встановлювальної панелі в єдину конструкцію стяжними гвинтами 2. Потрібний крок установлення між платами пакета забезпечують введенням у конструкцію розпірних втулок. Несучою конструкцією блока є установлювальна панель.

Можливі вертикальна й горизонтальна установки панелі в модулі вищого рівня. На вибір способу орієнтації панелі впливають конструкція, тепловий режим блока, а також характер і напрямок зовнішніх механічних впливів.

Міжплатні електричні з'єднання в блоці здійснюють джгутовим монтажем, фіксованими паяними, рознімними з'єднаннями. Зовнішні з'єднувачі повинні встановлюватися на несучій конструкції блока. Ос-

новною перевагою даного типу компонування є простота конструкції, недоліком - низька ремонтпридатність. Таку конструкцію можна рекомендувати при конструюванні нескладної апаратури на мікропроцесорах.

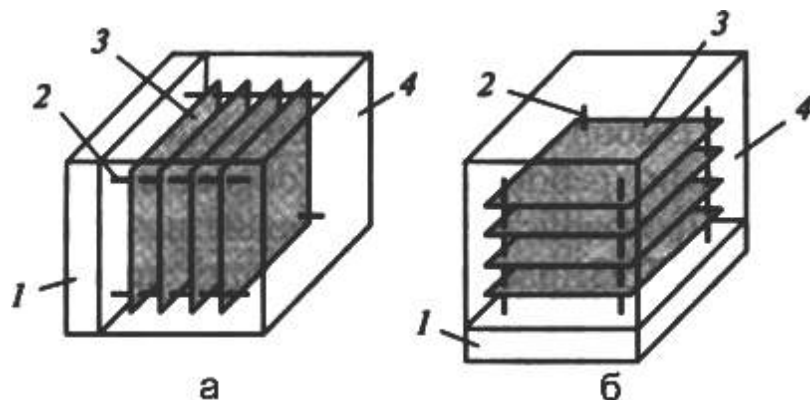


Рисунок 2.54 – Вертикальне (а) і горизонтальне (б) розташування ПВ у блоках етажеркової конструкції:
1 – основа; 2 – стяжний стояк; 3 – ПВ; 4 – кожух (стінки корпусу)

Крім розглянутих схем компонування блоків можливі різні їхні комбінації. Наприклад, блок складається із двох субблоків, поєднаних у книжкову або конструкцію, що відкидається, а кожен субблок має стележне або етажеркове компонування.

Орієнтація й відстані між платами ПВ залежать від технічних вимог на апаратуру, теплового режиму, характеру й напрямків зовнішніх впливів. Вибір варіанта конструкції диктується виробничими й технічними вимогами на основі аналізу основних визначальних факторів. Виробничі умови дозволяють застосовувати однотипні конструкції ПВ, елементів несучих конструкцій, фіксації, кріплення, монтажу.

Залежно від складності ЕА і можливостей об'єкта експлуатації у герметичний корпус блока встановлюють один або кілька пакетів модулів першого рівня. Компактні герметичні блоки можуть розміщуватися в будь-якому місці об'єкта експлуатації, що є перевагою подібного компонування, але при цьому зростають довжини електричних з'єднань між блоками. Установлення блоків на спеціальну несучу конструкцію (раму) дозволяє розмістити блоки компактно в одному місці, зменшити довжину зв'язків, але при цьому маса апаратури збільшується за рахунок рами.

Необхідно відзначити, що в кожному конкретному випадку вибір конструктивного виконання блока вирішується комплексно й у першу чергу з урахуванням обмежень, які спричинені об'єктом експлуатації.

2.5.6 Модулі третього рівня

Модуль третього рівня конструктивної ієрархії (шафовий стояк, стояк, шафа) призначений для установлення й комутації блоків, рам або шасі та забезпечення їхньої працездатності в складі ЕА. Конструктивною основою будь-якого стояка є каркас, виготовлений звичайно зі сталевого кутового профілю або труб прямокутного чи квадратного перетину, використання яких порівняно з кутиковим профілем дозволяє знизити матеріалоемність конструкцій. На рис. 2.55 показано каркас шафового стояка, що збирається з двох боковин 3, нижньої 8 і верхньої 2 підставок каркаса. Боковини й підстави зварені з труб прямокутного й квадратного перетинів і поєднуються у єдину конструкцію болтовим з'єднанням.

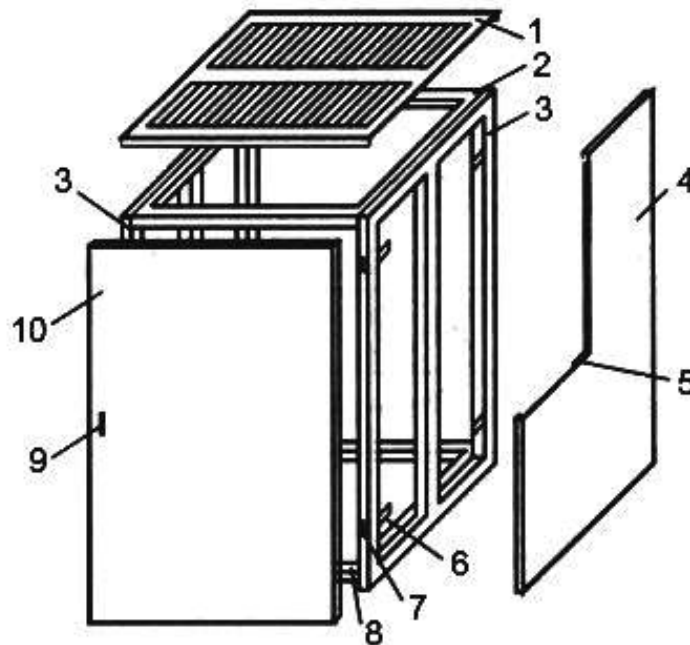


Рисунок 2.55 – Каркас шафового стояка:

- 1 - кришка; 2 - верхня основа каркаса; 3 – бокова частина рами;
- 4 - щит; 5 - елемент жорсткості щита; 6 - кронштейн; 7 - підвіска дверцят; 8 - нижня підстава каркаса; 9 - ручка; 10 – дверцята

Для цього в трубі боковин і підставок у місцях болтових з'єднань містяться вкладиші, що мають форму й розміри поперечного зрізування отворів труб. Вкладиші забезпечують необхідну твердість з'єднання й захищають від зминання труби при загвинчуванні болтів деталей каркаса. Найчастіше каркас стояка виконують суцільнозварним.

На каркасі закріплюють кришку 1 з вентиляційними отворами, два бічних щити 4 і підвішують дверцята 10 (на рис. 2.55 показано один щит і одні дверцята). Для додання жорсткості із внутрішньої

сторони поверхні щита й дверцят приварюють елемент твердості 5, що проходить по всій висоті дверцят і щита. Щит 4 до боковини каркаса 3 закріплюють із внутрішньої сторони стояка гвинтовим з'єднанням. Для цього по периметру боковин 3 каркаса приварюють кронштейни 6, а навпроти у відповідних місцях щита – скоби з отворами під різь. Щит підтягують до каркаса й фіксують по всій площині боковини 3. Дверцята 10 підвішують на петлях до підвісок 7, які мають кнопку-ручку 9, при натисканні на яку засувка виходить із фіксуючого положення і під дією віджимної пружини вільний край дверцят відходить від каркаса.

До використання магнітних фіксаторів потрібно підходити обережно, оскільки при цьому неминуча поява магнітних полів і можливий їхній вплив на працюючу апаратуру.

Дверцята й щити повинні щільно прилягати до каркаса без щілин, через які витікає охолоджене повітря, а усередину стояка можуть попадати пил, зовнішні електричні, магнітні й електромагнітні поля.

Щодо вимог техніки безпеки і з міркувань екранування стояка електричний опір між деталями каркаса, дверцятами й щитами має бути мінімальним. Для цього всі деталі каркаса, щити, дверцята електрично поєднують обплетенням екранованого провідника з контактними пелюстками «під гвинтове з'єднання».

На деталі каркаса приварюють бобишки, а на щити й дверцята – скоби. У бобишках і скобах нарізують нарізні отвори, зачищають до металевого блиску настановні поверхні й встановлюють контактні пелюстки обплетення. Обплетення, що комутує дверцята, повинне мати деяке провисання й кріпитися в місцях підвіски, щоб вільно відкривати й закривати дверцята.

Принцип побудови схем компоновання шафових стояків подано на рис. 2.56, де стрілками показано входження (установлення) модулів різного рівня. ПВ 5 є складовою частиною нерознімного блока 3 і рознімних вставних блоків 4 і 10. Рознімний вставний блок 9 (касетна конструкція) являє собою комутаційну печатну панель із з'єднувачем 8 і декількома печатними платами 7 з мікросхемами. Блоки 3, 4, 9, 10 встановлюють або безпосередньо в стояк 1, або в проміжний модуль – раму 2, а раму вже монтує у стояку.

Нерознімні блоки 3 розміщують по всій висоті каркаса стояка або рами й жорстко закріплюють. Блоки в стояку комутують джгутом, який також закріплюють на монтажній панелі стояка. Цей же джгут підводить сигнальні ланцюги до з'єднувачів зовнішньої комутації, що розташовані на бокових поверхнях або піддоні стстояка.

Установлення й закріплення блоків на каркасі стояка, минаючи раму, використовують, якщо ПВ 5 має довжину, що дозволяє корисно

використати всю глибину стояка (глибина стояка, як правило, варіюється в межах 600...800 мм). Однак при конструюванні ЕА на МС печатна плата ПВ може мати істотно менші розміри. При малій довжині плати й установлення блоків 3, 9 безпосередньо в стояку виникає необхідність використовувати стояки малої глибини, які при механічному впливі можуть легко випасти. Запобігти цьому недоліку можливо:

- штучним збільшенням глибини стояка й площі опори, що призведе до зменшення щільності компоновання апаратури - одного з основних показників конструкції;

- твердим закріпленням підстави стояка на об'єкті експлуатації;

- використанням блоків 4, 10 з вертикальним поздовжнім розташуванням монтажної панелі, що дозволяє розміщати ПВ по всій глибині стояка;

- установлення рам у стояк.

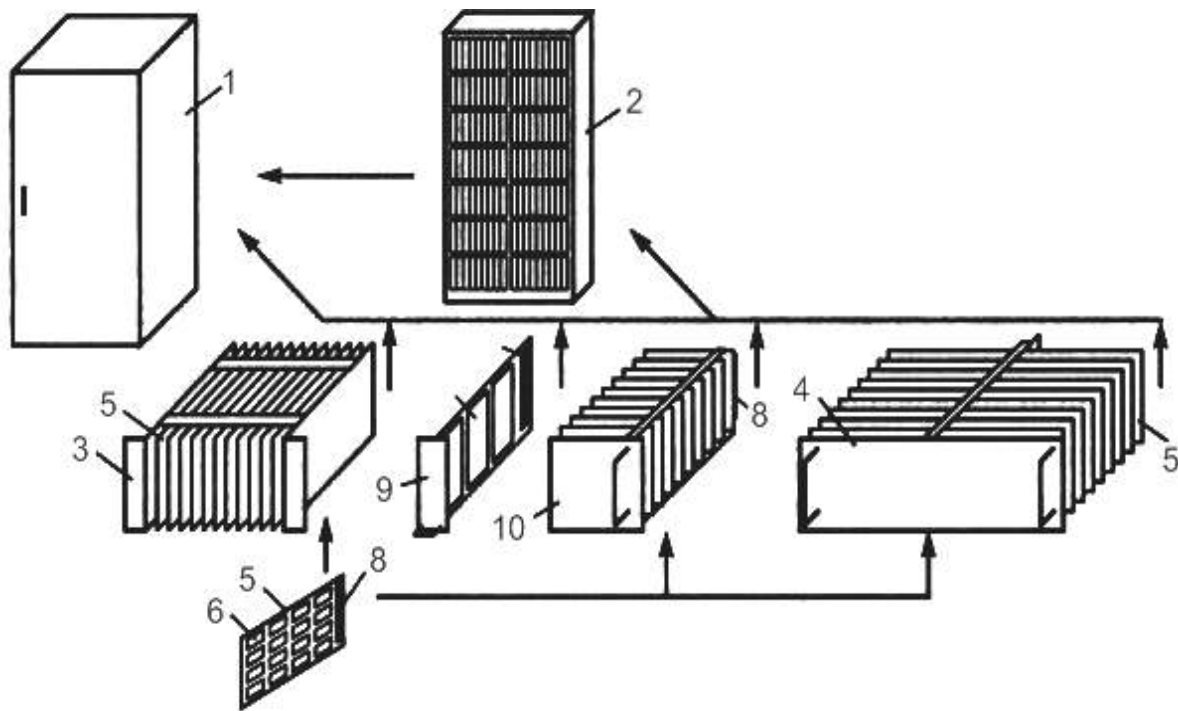


Рисунок 2.56 – Принципи компоновання шафових стояків:

1 - каркас; 2 - рама; 3 - нерознімний блок; 4, 9, 10 - різні вставні блоки; 5 - ПВ; 6 - мікросхема; 7 - модуль; 8 – з'єднувач

Компоновання стояків вставними рознімними блоками широко використовують при конструюванні апаратури, що транспортується (бортової апаратури), і стояків електроживлення.

Зовнішня комутація блоків здійснюється з'єднувачами, що забезпечують швидку заміну блоків. Введення з'єднувача забезпечує

роботу ЕА при частково висунутому або вилученому зі стояка для контролю блока, але призводить до збільшення довжин з'єднань і, як наслідок, – зниження швидкодії.

Установлення на блок приладового з'єднувача не подовжує з'єднань, але для перевірки його працездатності в складі стояка потрібно його відмикання, установлення блока в перехідний пристрій, що штучно заміняє відповідний з'єднувач монтажної панелі до лицьових панелей блока, ввімкненої апаратури й проведення контролю. Подібні дії збільшують час підготовки для виконання операції контролю, а введення перехідного пристрою може призвести до перекручування сигналів.

При використанні з'єднувачів приладову частину з'єднувача встановлюють на тильну сторону блока, блок уставляють й фіксують в стояку. У стояку відсутня монтажна панель, а комутація блоків забезпечується кабелями, що закріплюють у пазах стояка на стороні, протилежній лицьовим панелям блоків.

Відповідні частини кабельних з'єднувачів уставляють в приладові блоки й фіксують на них.

Головна вимога до вставних рознімних блоків – їх функціональна й конструктивна закінченість. Однак схеми, призначені для конструктивної реалізації блоків, як правило, мають різний ступінь складності, тому, якщо розробляти єдину конструкцію блока для найскладнішої схеми, то для менш складних схем частина конструктивного простору блоків не буде використана.

Тому в конструкцію стояка вводять основний базовий блок 3, що має найбільші розміри й установлюється по всій ширині каркаса стояка, і часткові вставні блоки 9, 10, які по ширині складають частину основного, але розташовуються в тому ж стояку, що й основний.

На рис. 2.57 показано приклад компонування стояка складовими вставними блоками, установлення яких виконують введенням і закріпленням на каркасі 1 коробчастої конструкції з напрямними 3 або установлювальними панелями для напрямних, що жорстко фіксуються на каркасі 1. Напрямні 3 установлюють на місце залежно від розмірів, форми й числа розташовуваних на одному горизонтальному рівні блоків. Блоки із зазором 20...30 мм установлюють по висоті каркаса рядами й жорстко фіксують на коробчастій конструкції 2. Установлення основного базового блока подібне установленню складальних блоків.

Часто в одному й тому ж стояку розміщують нерознімні й рознімні вставні блоки. Перші, як правило, здійснюють оброблення інформації, а другі - охолодження й постачання електроживленням блоків оброблення інформації.

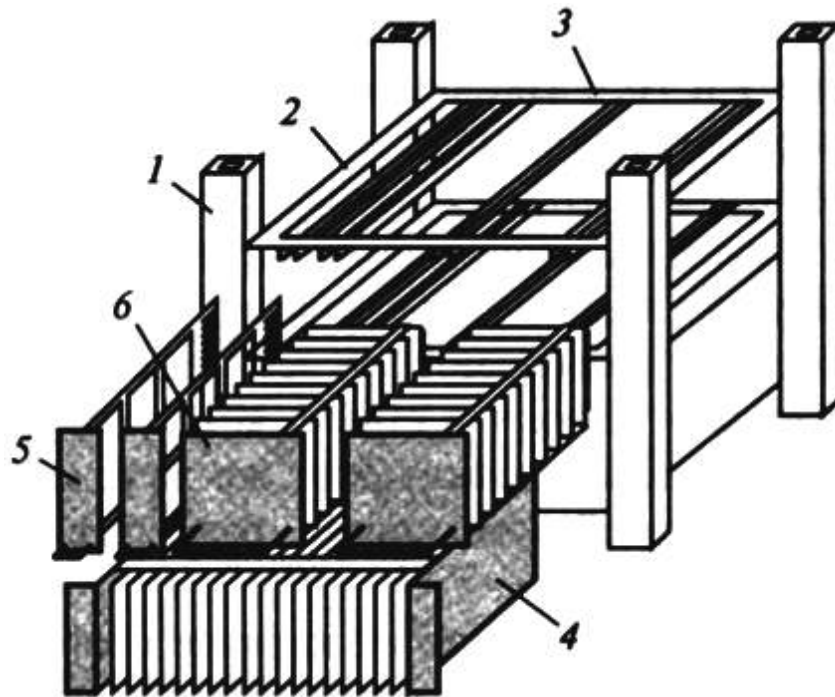


Рисунок 2.57 – Компонування стояка блоками:
 1 - каркас стояка; 2 - коробчата конструкція; 3 – напрямні для модулів; 5, 6 - блоки

Шафовий стояк рамної конструкції компонують із блоків, глибина яких у багато разів менше глибини каркаса стояка. У цьому випадку блоки встановлюють у проміжну конструкцію - раму. У стояку розміщують кілька рам. Кількість рам залежить від глибини стояка й рами. Глибина рами трохи більше глибини встановлюваних у стояку блоків (з урахуванням обсягу міжблокової комутації). У єдину конструкцію рами поєднують каркасом стояка.

У дворамному стояку для доступу до монтажних сторін і лицьових панелей блоків одна з рам або навіть обидві рами (рис. 2.58) виконують таким чином, що вони поверталися навколо осі підвіски. При відкритих дверцятах і рамах, що перебувають у робочому всунутому стані, рами орієнтують монтажними сторонами назовні, що дозволяє контролювати сигнальні ланцюги блоків рами контрольно-вимірною апаратурою.

Для заміни кожного з ПВ рухому раму повертають на 90° і фіксують у даному положенні (штрихпунктирна лінія на рисунку).

У трирамному стояку дві крайні рами А і С виконують так, щоб вони оберталося, а центральну раму В виготовляють нерухомою і фіксують на каркасі.

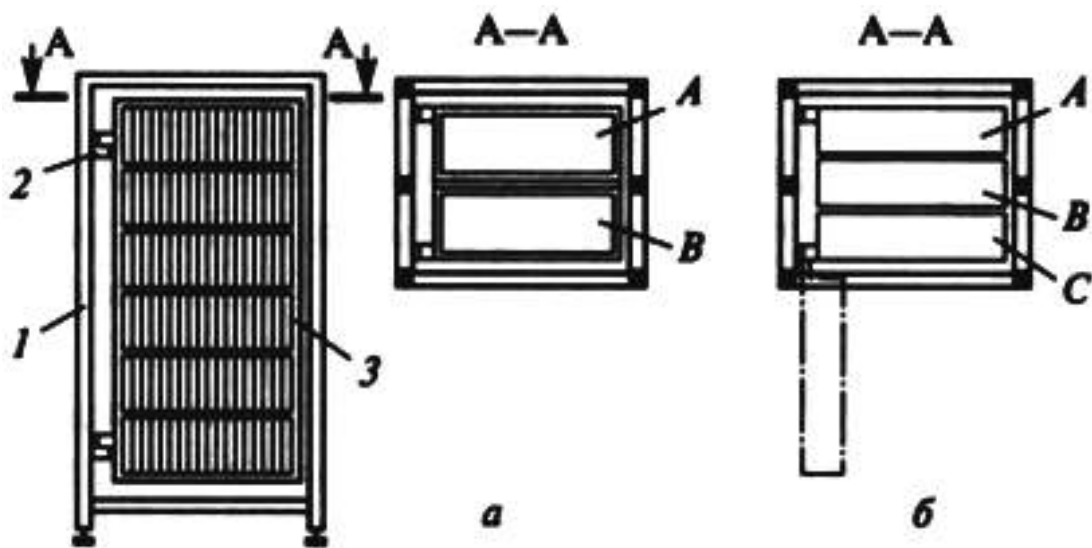


Рисунок 2.58 – Дворамний (а) і трирамний (б) шафові стояки:
1 - каркас стояка; 2 - підвіски рами; 3 - рама

Для доступу до монтажних сторін рам А і С досить відкрити дверцята стояка. Доступ до монтажною стороною рами В можливий з боку рами А при відкритих дверцятах і поверненому на 90° положенні цієї рами. При поверненому положенні рами 3 відкривається доступ до лицьових панелей рам В і С.

При числі рам у стояку більше трьох одну з рам жорстко закріплюють на каркасі, інші виконуються висувними й такими, що обертаються навколо підвіски.

Комутацію у стояку рам між собою зручно виконувати плоским об'ємним або печатним джгутом. Для цього з боку підвіски рам на бічній поверхні встановлюють з'єднувачі зовнішньої комутації. Ці ж з'єднувачі на нерухомій рамі можна використати для міжстоякової комутації. Як додаткові з'єднувачі зовнішньої комутації можна рекомендувати крайні з'єднувачі ПВ блоків.

2.5.7 Рами

Рама в стояку служить для установлення й комутації нерознімних і рознімних вставних блоків. Конструктивною основою рами є каркас із напрямними. Каркас найчастіше виконують з нормалізованого профілю зварювальним способом, що надає йому високої жорсткості. На рис. 2.59 зображено схему компонування рами на шість блоків.

П'ять нерознімних блоків жорстко фіксують боковинами на

каркасі рами 3, вставний рознімний блок 5 (блок вентиляції) по напрямних уставляють у каркас рами й фіксують гвинтами, що не випадають. Один з нерознімних блоків і блок вентиляції умовно показані висунутими з каркаса. Пунктирні лінії дозволяють простежити напрямок установлення блоків. У лівому верхньому куті рисунка показано форму профілю, з якого виконаний каркас, і спосіб кутового з'єднання вертикального й горизонтального елементів каркаса. Для фіксації рами в стояку приварюють елементи підвіски 2. Якщо рама нерухома, то її кріплять до каркаса стійки кронштейнами.

Нормальний тепловий режим рами забезпечують виконанням у горизонтальних елементах каркаса отворів для охолодженого повітря (вхідних – у нижній частині й вихідних – у верхній).

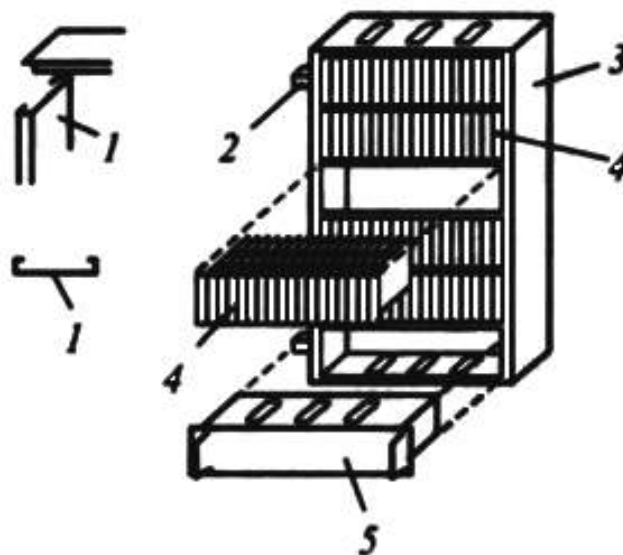


Рисунок 2.59 – Схема компонування рами:
 1 - профіль; 2 - елемент підвіски рами; 3 - каркас рами;
 4 - нерознімний блок; 5 - вставний рознімний блок

На конструкцію каркаса рами впливає обраний профіль, конструкція встановлюваних блоків. Для додання додаткової жорсткості в каркас можуть бути введені перемички. Однак основною формою каркаса рами є паралелепіпед з істотно більшою висотою й малою глибиною.

Комутацію сигнальних ланцюгів сусідніх блоків рами виконують з'єднанням однойменних виводів комутаційних колодок, що розміщені на звернених один до одного горизонтальних краях монтажних панелей блоків, блоків, розташованих не по сусідству, - комутаційними колодками, що знаходяться біля вертикальних країв, і джгутом, орієнтованим вертикально й закріпленим на каркасі рами.

Для блоків, розташованих по сусідству, можливий інший спосіб комутації, коли джгут із з'єднувачами встановлюють не на монтажній стороні рами, а усередині блоків, як правило, на периферії, разом з типовими елементами заміни. Для цього в місцях проходу джгутів віддаляються напрямні ПВ, вилкові з'єднувачі кабелю встановлюють у відповідні з'єднувачі ПВ. Такий спосіб комутації приводить до зменшення числа розташовуваних у блоці типових елементів заміни.

Кронштейни із з'єднувачами з боку підвіски рами здійснюють зовнішню комутацію рами. Вхідні й вихідні ланцюги блоків об'ємним монтажем з'єднують із хвостовиками контактів з'єднувачів зовнішньої комутації. Підведення напруги живлення й нульового потенціалу зручно виконувати вузлом, що являє собою стягнуту в єдину конструкцію систему провідникових та ізолюючих пластин (шин) шириною 20...30 мм, установлених з боку підвіски рами. У місцях відводу напруги живлення й нульового потенціалу на провідникових пластинах повинні мати місце контактні пелюстки або штирі, до яких комутують об'ємні провідники, що передають напругу живлення й нульовий потенціал до відповідної шини живлення і заземлення, а також до блоків.

Контрольні запитання

1. Конструювання корпусів і блоків засобів вимірювальної техніки.
2. Методи конструювання печатних плат і вузлів.
3. Критерії вибору конструкції печатних плат.
4. Загальні вимоги щодо конструювання печатних плат.
5. Прямокутні вигини печатних доріжок.
6. Вимоги щодо використання й встановлення корпусів радіокомпонентів на печатній платі.
7. Методи конструювання печатних плат.
8. Типи проводів і кабелів для з'єднання модулів і блоків.
9. Електричні з'єднувачі: основні типи, застосування.
10. Правила конструювання внутрішньблокового й міжблокового провідного монтажу.
11. Первинні електричні параметри печатних плат.
12. Вторинні параметри печатних плат.
13. Відбиття в довгих лініях, які утворюються провідним монтажем або печатними доріжками:
 - а) амплітудно-частотна характеристика сигналу на вході довгої лінії;

- б) амплітуда сигналу на навантаженні;
 - в) відносні амплітуди сигналів R_1 й R_2 ;
 - г) коефіцієнти ослаблення сигналів.
14. Методи компонування модулів, блоків РЕА.
 15. Модульний принцип конструювання РЕА.
 16. Стандартизація при модульному конструюванні.
 17. Модулі нульового рівня.
 18. Модулі першого рівня.
 19. Модулі другого рівня:
 - а) схеми компонування блоків;
 - б) розташування монтажної панелі;
 - в) кріплення печатних вузлів;
 - г) касетна і книжкова конструкції печатних вузлів.
 20. Модулі третього рівня:
 - а) шафовий стояк;
 - б) компонування шафових стояків;
 - в) використання рам у стояках.

3 АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

3.1 Загальні питання автоматизації процесу конструювання

Цілі автоматизації процесів конструювання й проектування ЕА - скорочення термінів її виробництва, зниження вартості й підвищення надійності пристроїв та апаратури в цілому. Конструкторське проектування вузлів такої апаратури полягає у вирішенні задач таких груп: комутаційно-монтажного проектування; забезпечення допустимих теплових режимів; конструювання електромеханічних та інших вузлів; розроблення конструкторської документації.

Основними задачами комутаційно-монтажного проектування в системах автоматизованого проектування ЕА є розміщення компонентів на (в) монтажному просторі, трасування електричних з'єднань між ними, компонування елементів і вузлів у блоки. При цьому компонування й розміщення виконують таким чином, щоб забезпечити допустимі теплові режими й електромагнітну сумісність конструктивних компонентів.

При конструюванні електромеханічних пристроїв виникає велика кількість різноманітних задач, пов'язаних з розробленням кінематичних схем, розрахунками динаміки й міцності конструкцій й їх елементів, визначенням допусків та ін. Також багато часу необхідно при розробленні печатних плат і вузлів з урахуванням технічних завдань. На першому етапі розробляють бібліотеки радіокомпонентів для існуючих САПР, потім розробляють схеми електричні принципові, потім – розміщення радіокомпонентів і трасування печатної плати. Причому слід зазначити, що від складності печатного вузлу залежить тип використовуваної САПР.

Розроблення конструкторської документації складається з автоматичного оформлення результатів проектування у вигляді креслень, діаграм, таблиць, програмних продуктів, фотошаблонів тощо, а також електронних документів і файлів тих САПР, в яких розробляли пристрій.

3.1.1 Організація програмного забезпечення САПР

Як правило, кожний пакет прикладних програм (ППП) орієнтований на обслуговування задач окремої підсистеми САПР.

Пакет прикладних програм складається з управляючої й прикла-

дних програм. Керуюча програма вибирає з пакета потрібні програми, організовує введення-виведення інформації і т.д. Складність керуючої програми пакета визначається кількістю модулів у ППП і кількістю можливих сполучень модулів при реалізації маршрутів проектування. При цьому зі збільшенням кількості модулів ускладнюється їх узгодження при створенні різних сполучень модулів. З цієї точки зору доцільніша крупномодульна побудова пакетів прикладних програм, хоча дрібномодульна має свої переваги: значну різноманітність можливих сполучень модулів, що розширює коло задач, що вирішуються, великий ступінь відкритості системи, менші часові й вартісні витрати на розроблення та зміну малого модуля. При розробленні програмного забезпечення доцільне компромісне вирішення питання про розміри та кількість модулів, що сполучаються один з одним у різних сполученнях. Існують такі САПР, які мають незалежні модулі прикладних програм й можуть використовуватись як разом, так і по одному. Наприклад, існуючі системи САПР, такі, як P-CAD, ORCAD, PROTEL та інші, забезпечують фактично весь процес розроблення радіоелектронної апаратури, але щодо підвищення продуктивності розроблення (наприклад, автоматичне розміщення радіокомпонентів на печатній платі, автоматичне трасування печатної плати, моделювання електронної схеми тощо) рекомендується використовувати пакети інших фірм (наприклад, автотрасовик SPECCTRA, моделювання електронних схем у P-SPICE, MICROCAP, MICROSIM і т.д.).

3.1.2 Трасування електричних з'єднань, задачі, критерії, обмеження

Задачі трасування електричних з'єднань полягають у знаходженні геометрично визначеного способу з'єднань екіпотенціальних виводів схеми. Задачі трасування можна поділити на дві групи: трасування провідних з'єднань і трасування печатних з'єднань.

Трасування провідних з'єднань у цілому відносно простіше, оскільки окремі сигнальні ланцюги електрично ізольовані один від одного. У більшості випадків задача трасування провідного монтажу зводиться до оптимізації трас з'єднань для окремих ланцюгів. Трасування печатних з'єднань безпосередньо пов'язане з узгодженням метричних і топологічних параметрів схеми з'єднань з відповідними параметрами комутаційного поля. При цьому до метричних параметрів схеми належать розміри елементів, ширина провідників, допустимі відстані між ними, гранично допустимі довжини з'єднань та ін., а до топологічних - відсутність перетинів провідників, мінімальна кількість перетинів,

мінімальна кількість перехідних отворів. Параметри комутаційного поля містять у собі його розміри, координати всіх контактних площадок і зовнішніх виводів печатної плати та ін. Під час вирішення задачі трасування звичайно використовують такі критерії: мінімум сумарної довжини трас, мінімум кількості трас довжиною, більше заданої, мінімум числа вигинів провідників, максимальна віддаленість трас, рівномірність розподілу провідників на печатній платі, мінімум числа шарів, мінімум кількості переходів між шарами, мінімум паразитних перешкод. Перший критерій - основний і застосовується практично у всіх алгоритмах трасування.

До обмежень при вирішенні задач трасування належать такі:

- 1) кількість шарів має бути не більше заданої;
- 2) довжина з'єднання не повинна перевищувати задану;
- 3) кількість паянь до одного виводу має бути не більше заданої;
- 4) повинен витримуватися переважний напрямок трас у кожному шарі;
- 5) рівень перешкод, що наводяться в кожній трас, не повинен перевищувати допустимого.

Задачі трасування більш трудомісткі порівняно з задачами компонування й розміщення конструктивних елементів.

Більшість САПР, які використовують автотрасування базуються на хвильових алгоритмах. Для проведення трас між двома контактними площадками застосовують сіткові й безсіткові алгоритми трасування [33]: хвильовий алгоритм Лі, хвильовий алгоритм з числовою хвилею за mod 3, променевий і евристичний алгоритми.

3.1.3 Алгоритми трасування електричних з'єднань

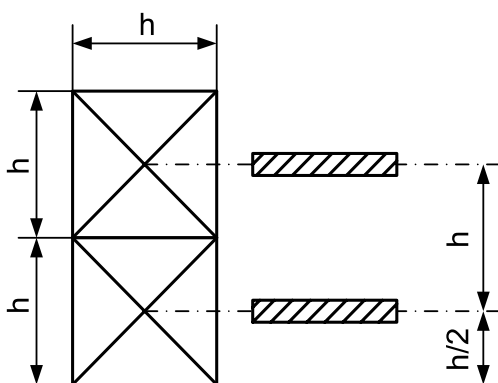


Рисунок 3. 1 – Відповідність чарунки комутаційного поля основній координатній сітці

При використанні алгоритмів трасування комутаційне поле поділяється на елементарні чарунки, кількість і розміри яких визначаються площиною поля, допустимою густиною розміщення виводів елементів і провідників. У найпростішому випадку чарунка являє собою квадрат зі стороною h , що дорівнює відстані між середніми лініями двох сусідніх печатних провідників (рис. 3.1).

Хвильовий алгоритм Лі реалі-

зується в два етапи:

- 1) поширення числової хвилі;
- 2) проведення траси.

При цьому всю множину квадратів комутаційного поля (рис. 3.2) розбивають на підмножину вільних квадратів, по яких може проходити траса, що прокладається, і підмножину зайнятих квадратів, до якої належать квадрати, що відповідають контактам елементів, виводам електричних з'єднувачів та ін.

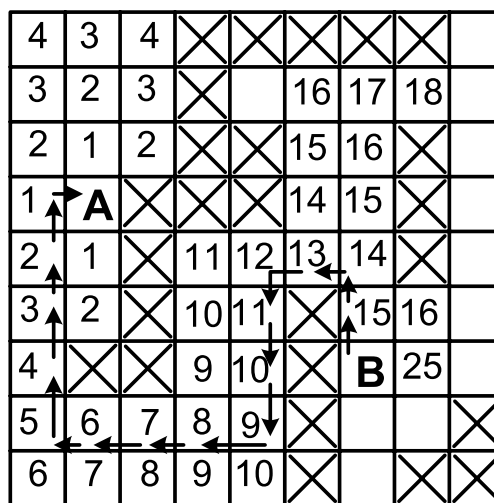


Рисунок 3.2 –Хвильовий алгоритм

Поширення числової хвилі відбувається з початкової точки контакту А. Усім вільним квадратам надається маса, що дорівнює відстані від початкового квадрата, який відповідає контакту А, до даного квадрата в ортогональній метриці. Сукупність квадратів однакової маси являє собою фронт хвилі. На кожному кроці поширення хвилі всім вільним квадратам, що є сусідніми з квадратами попереднього фронту, надається маса, більша на одиницю. При цьому номер фронту збігається зі значенням маси квадратів і кількістю кроків алгоритму. Поширення хвилі припиняється після досягнення нею фронту контакту В, який необхідно з'єднати з контактом А, або у випадку відсутності вільних квадратів для формування чергового фронту. У першому випадку траса існує, а її мінімальна довжина дорівнює кількості кроків алгоритму, в другому - траса відсутня.

Для прокладання траси проглядають усі відмічені квадрати в зворотному порядку від В до А, спершу - квадрати, що є сусідніми з В, і вибирають той, в якому маса мінімальна. У подальшому аналогічно проглядаються квадрати сусідні з квадратом, вибраним на попередньому кроці, і вибирається квадрат з мінімальною масою. Процедура закінчується при досягненні квадрата з контактом А. Координати вибраних квадратів у сукупності й складають бажану трасу між контактами А і В. Оскільки таких трас може бути декілька, то вводять додаткові критерії при проведенні траси, наприклад мінімальну кількість згинів.

Переваги хвильового алгоритму Лі: універсальність, можливість знаходження найкоротших трас, оптимальних за цілим рядом параметрів (мінімальна довжина провідника, мінімальна кількість згинів,

відсутність перетинів та ін.), можливість прокладання 90...95% трас.

Основний недолік цього алгоритму - великий обсяг використовуваної пам'яті й великі витрати машинного часу при вирішенні задач трасування печатних плат, причому близько 80% часу йде на поширення хвилі. Хвильовий алгоритм застосовують в основному для конструювання одношарових печатних плат з невеликою кількістю модулів.

З метою скорочення необхідного обсягу пам'яті ЕОМ було запропоновано будувати числову хвилю за mod 3 (рис. 3.3). При цьому в процесі поширення хвилі квадратам присвоюють маси 1, 2, 0, 1, 2, 0, При прокладанні траси послідовність мас квадратів, що вибирають, має вигляд ... 0, 2, 1, 0, 2, 1,

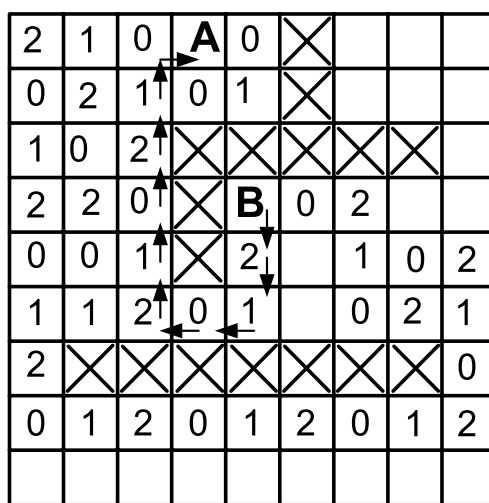


Рисунок 3.3 – Алгоритм трасування з числовою хвилею за mod 3

Скоротити витрати пам'яті ЕОМ і машинного часу дозволяють також променеві алгоритми трасування, які запропонував Л.Б. Абрайтс [33]. Основна ідея алгоритму полягає у дослідженні квадратів для визначення шляху між контактами А,В за деякими наперед заданим напрямками, подібно променям. Променеві алгоритми трасування розглянемо на прикладі двопроменевого алгоритму (рис. 3.3).

У цьому алгоритмі поширення двох променів від кожного контакту А і В відбувається одночасно – до зустрічі двох різноіменних променів у деякому квадраті. На початку роботи алгоритму обчислюють пріоритетні напрямки поширення променів, що залежать від положення з'єднаних контактів. Наприклад, для контактів А і В (рис. 3.4) взято по два промені з протилежними напрямками: перший - від контакту А вниз, вправо; другий - від контакту В вліво, вгору.

Поширення кожного променя припиняється, якщо всі сусідні квадрати, які вибирають з числа можливих, зайняті або заборонені

ної, а відразу ж намагаються прокласти трасу найкоротшим шляхом. Це призводить до неоптимальності одержуваного результату. У найпростішому випадку при побудові траси сусідній квадрат вибирають з умови найменшої віддаленості від кінцевого квадрата траси. Обминання перешкод здійснюють або за першим вільним напрямком, або за пріоритетним порядком.

Розглянемо евристичний алгоритм (рис. 3.5), в якому загальний напрямок руху при проведенні траси має проходити вздовж прямої АВ, що з'єднає контакти А і В. Якщо перешкод немає, то вибирають напрямок у бік цієї прямої.

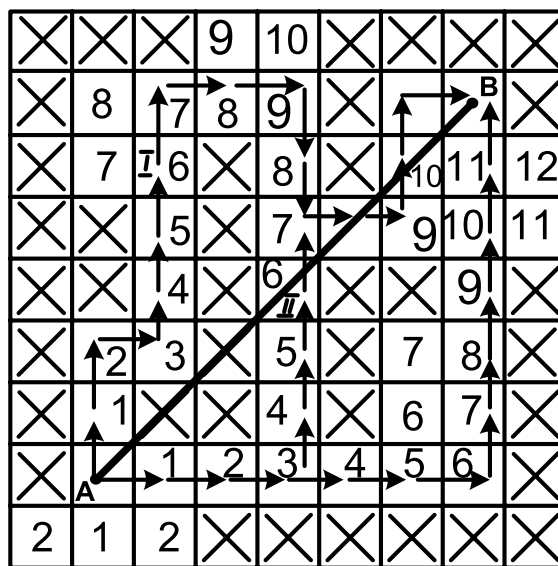


Рисунок 3.5 – Евристичний алгоритм трасування

Під час вибору пріоритетного порядку проведення шляху з урахуванням перешкод (уверх, вправо, вниз, вліво) виходить варіант 1 траси. У випадку зміни порядку руху (вправо, вверх, вліво, вниз) конфігурація траси зміниться (варіант 2). Побудовані за допомогою даного алгоритму траси не є оптимальними. Для порівняння показано варіант 3 траси, побудований за допомогою хвильового алгоритму при оптимізації з'єднання за двома критеріями: мінімумом довжини й кількістю вигинів провідника.

Евристичні алгоритми застосовують у тих випадках, коли важлива не якість трасування з'єднань, а час одержання результату (виготовлення печатних плат в одиничних екземплярах).

Проведений аналіз алгоритмів трасування дозволить конструкторові цілеспрямовано здійснювати вибір потрібного алгоритму для кожного конкретного випадку.

3.2 Призначення P-CAD, склад і технічні характеристики

На час друку підручника система P-CAD удосконалювалась, вийшло декілька версій, зараз це Altium Designer, який містить дуже багато можливостей як для розроблення ПП, так і для технологічної підготовки виготовлення ПП, але основа залишається такою ж, усі механізми й функції залишилися і залишилась сумісність файлів попередніх версій.

Система P-CAD - це інтегрований пакет програм, призначений для розроблення схем електричних принципів, розміщення радіокомпонентів, розроблення багат шарових печатних плат і печатних вузлів радіоелектронної апаратури [26, 27, 34]. P-CAD призначений для роботи в операційному середовищі Microsoft Windows і використовує усі основні функції операційної системи. Основним елементом розроблення системи P-CAD є компонент. З компонентів складаються схема електрична принципова й печатний вузол.

Більшість пакетів різних версій системи фактично ідентичні, і розробник може легко адаптуватися до кожного з них.

P-CAD містить у собі такі програмні модулі: P-CAD Library Executive; P-CAD Schematic; Symbol Editor; Pattern Editor; P-CAD PCB; P-CAD Autorouters; InterPlace PCS; Relay, Signal Integrity. Призначення цих пакетів:

- Library Executive (менеджер бібліотек) - призначений для управління бібліотеками й розроблення нових компонентів (розширення файлів створюваних бібліотек lib);

- Symbol Editor - редактор символів компонентів (розширення файлів sym). Призначений для розроблення умовних графічних позначень (УГП) символів радіокомпонентів, з яких складається схема електрична принципова (розширення файлів sym);

- Pattern Editor - редактор контактних площадок (КП) (Pattern) компонентів (розширення файлів pat). Призначений для розроблення КП радіокомпонентів;

- P-CAD Schematic - графічний редактор схем електричних принципів. Призначений для розроблення схем електричних принципів, а також може використовуватися для редагування й розроблення умовних графічних позначень окремих компонентів (розширення файлів sch);

- P-CAD PCB (Place Board Component) - графічний редактор ПП. Основне призначення - розроблення ПП і ПВ. Цей пакет дозволяє виконувати: розміщення радіокомпонентів відповідно до заданих критеріїв; трасувати ПП із заданою шириною електричних доріжок і зазорів між ними; розробляти й встановлювати перехідні отвори (Via);

задавати різні розміри ПП; змінювати розміри КП; задавати атрибути ПП; додавати й видаляти електричні й неелектричні шари; розміщувати на ПП маркування компонентів; виконувати трасування в автоматичному, інтерактивному й ручному режимах; використовувати інші PCB редактори й автотрасовики;

- P-CAD Autorouters - автотрасовики. Призначені для автоматичного трасування (прокладання) провідників ПП. Quick Route - найпростіший автотрасовик, призначений для трасування ПП нескладних електричних схем. Shape Router – безсітковий автотрасовик, призначений для багатшарових ПП із високою щільністю розташування компонентів;

- InterPlace PCS - спрощена PCB-програма інтерактивного розміщення компонентів;

- Relay - утиліта перегляду ПП, розміщення на ПП компонентів, задання основних атрибутів, контролю технологічних обмежень;

- Signal Integrity - утиліта аналізу електричних параметрів ПП;

- SPECCTRA - професійна програма високого рівня іншої фірми, призначена для розміщення компонентів на ПП, ручного, інтерактивного й автоматичного трасування ПП [35]. Використання безсіткової технології дозволяє ефективно розводити ПП високого ступеня інтеграції. SPECCTRA викликається за допомогою спеціального меню, а також потребує задання спеціальних правил трасування. ПП плати конвертуються за допомогою спеціальних утиліт.

Основні технічні характеристики

Система P-CAD може встановлюватися на комп'ютер із операційною системою Microsoft Windows.

Система P-CAD дозволяє розробляти ПП:

- не перевищуючи розмір 1524x1524 мм;
- з шириною траси (доріжки) не більше 10 мм (394 mil);
- з мінімальним кроком координатної сітки 0,1 mil в англійській системі виміру або 0,001 мм = 1 мкм у метричній системі виміру (1 mil = 0,001 дюйма = 0,0254 мм).

Один проект містить у собі:

- не більше 99 аркушів схем у проекті з максимальним розміром не більше 64000 ланцюгів;

- не більше 999 виводів у компоненті;

- не більше 255 секцій у компоненті;

- не більше 20000 компонентів в одній бібліотеці;

- не більше 99 шарів у базі даних ПП (включаючи сигнальні шари, шари металізації й допоміжні);

- не більше 64000 типів контактних площадок у проекті.

Запуск пакетів системи P-CAD рекомендується виконувати через меню Utils менеджера бібліотек Library Executive або стандартними засобами операційної системи, вибравши необхідний пакет (файл запуску Library Executive - cnp.exe).

Інтерфейс користувача всіх пакетів системи P-CAD фактично ідентичний, що дозволяє швидко отримати навички роботи. Невеликі відмінності стосуються тільки специфіки розв'язуваних пакетами завдань і вдосконалень у старших версіях.

Типовий порядок розроблення печатних плат

Для розроблення ПП або ПВ необхідні: перелік елементів, схема електрична принципова, бібліотека компонентів і бажано мати документацію на використання радіокомпонентів з інформацією про тип корпусу. Бібліотека може бути відсутньою або частково заповненою. В обох випадках бібліотеку необхідно розробити й упакувати. Тому розроблювач повинен досконало знати систему P-CAD.

Типовий порядок розроблення ПП:

1. Розроблення УГП радіокомпонентів схеми електричної принципової, здійснюється за допомогою редактора символів P-CAD Symbol Editor або безпосередньо у P-CAD Schematic.

2. Розроблення КП компонентів, які використовуються у схемі електричній принциповій на підставі їхньої технічної документації, здійснюється за допомогою редактора P-CAD Pattern Editor.

3. Розроблення бібліотеки й упакування радіокомпонентів (упакування виводів компонентів) здійснюється за допомогою програми P-CAD Library Executive.

4. Розроблення схеми електричної принципової виконується в редакторі P-CAD Schematic.

5. Розроблення ПП або ПВ у редакторі P-CAD PCB, що містить у собі: імпортування списку з'єднань ланцюгів; формування контуру ПП; розміщення радіокомпонентів.

6. Трасування печатних плат, що може здійснюватися в ручному (інтерактивному) або автоматичному режимах. Ручне трасування здійснюється засобами редактора P-CAD PCB. Автоматичне трасування (Autorouters) здійснюється додатковими пакетами, такими, як Quick Router, Shape Router, PRO Router, що викликаються з управляючої оболонки P-CAD PCB. Можливо також підключення автотрасовиків інших виробників, наприклад SPECCTRA.

Приклад даних для розроблення печатної плати показано на рис. 3.6. Схема електрична принципова містить у собі такі компоненти: мікросхема 74hc05, транзистори BSS84 й 2N70002, конденсатори K50-35 і K10-17a, резистори МЛТ-0,125, варистори ST20R275.

Технічні характеристики компонентів не наведені, тому для

розроблення печатної плати необхідно перевірити їхню наявність у бібліотеках P-CAD або ж розробити заново.

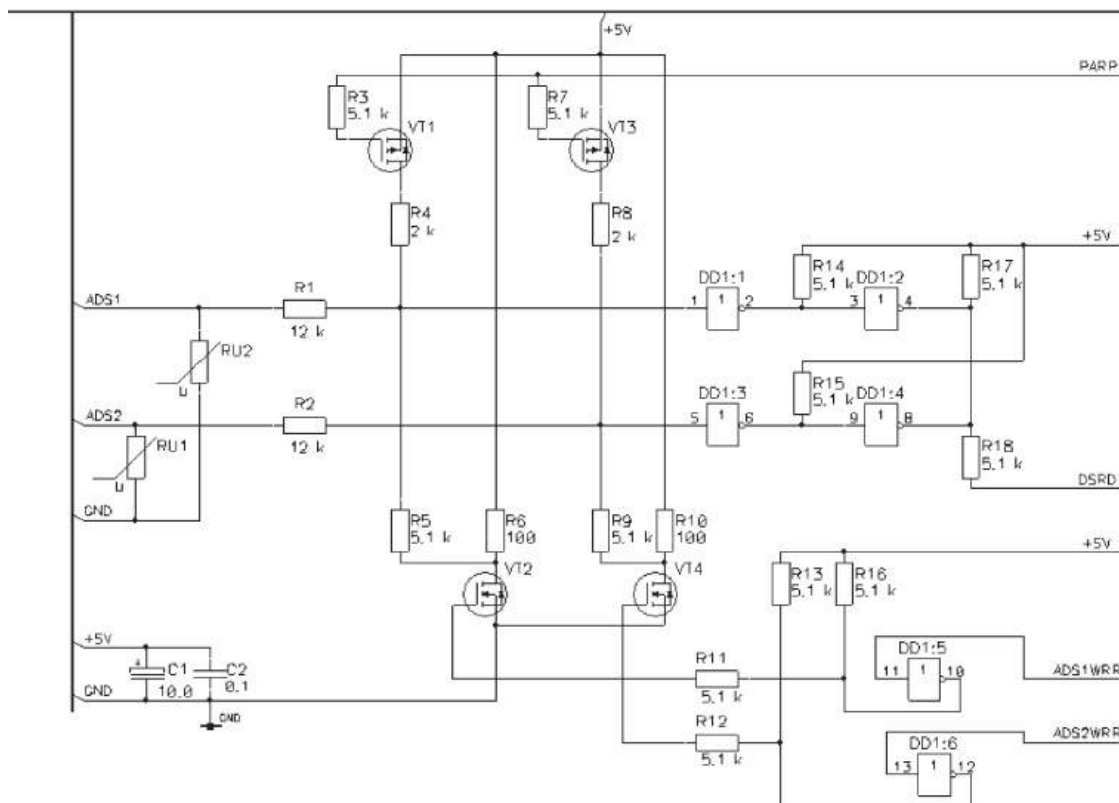


Рисунок 3.6 – Схема електрична принципова

3.2.1 Розроблення умовних графічних позначень радіокомпонентів у редакторі P-CAD Symbol Editor

Редактор P-CAD Symbol Editor призначений для розроблення умовних графічних позначень радіокомпонентів, які використовуються у схемах електричних принципових. Розроблені УГП радіокомпонентів записуються в бібліотеку з розширенням (.lib). Однак збережені в бібліотеці радіокомпоненти не зберігають інформацію про поточний крок координатної сітки й проміжних ліній.

Тому в редакторі передбачене збереження поточного проекту, що записується у файл із розширенням (.sym).

Редактор P-CAD Symbol Editor рекомендується запускати через меню Utils P-CAD Library Executive або стандартними засобами операційної системи. При цьому діюча програма не закриється, а тільки згорнеться, і до неї завжди можна буде звернутися. Вигляд вікна редактора P-CAD Symbol Editor показано на рис. 3.7.

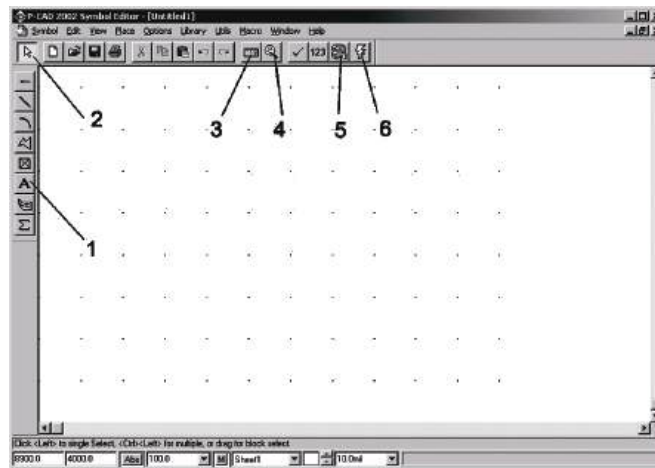


Рисунок 3.7 – Зовнішній вигляд редактора P-CAD Symbol Editor

Нижче наведено меню й інструменти редактора, що часто використовуються:

- 1 - кнопки швидкого доступу меню Place;
- 2 - Select – кнопка курсора;
- 3 - Edit Measure – вимір відстані;
- 4 - Zoom – збільшення виділеної області;
- 5 - Symbol Attribute – переглянути атрибути;
- 8 - Symbol Wizard – майстер швидкого розроблення УГП.

Після отриманих навичок зображення об'єктів можна розпочати розроблення основної частини УГП радіокомпонентів. УГП логічного елемента, розробленого в P-CAD Symbol Editor, показано на рис. 3.8.

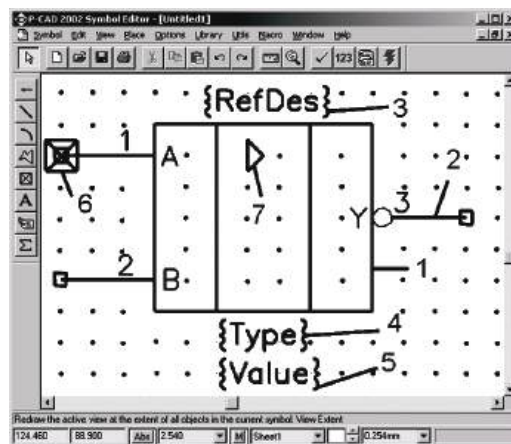


Рисунок 3.8 – Вигляд УГП радіокомпонента:

- 1 – контур радіокомпонента; 2 – електричні контакти; 3 – RefDes (позиційне позначення); 4 – Type (тип елемента радіокомпонента); 5 – Value (номінал - вказуються ємність, опір, індуктивність радіокомпонента); 6 – RefPoint (точка прив'язки радіокомпонента); 7 – функціональний знак

3.2.2 Розроблення контактних площадок радіокомпонентів P-CAD Pattern Editor

Редактор P-CAD Pattern Editor - це редактор, призначений для розроблення й редагування контактних площадок радіокомпонентів, що розташовуються на печатній платі. Редактор може як окремо зберігати проект у файл із розширенням (.pat), так і записувати КП радіокомпонента в бібліотеки (.lib). Контактна площадка (КП), що складається з конструктивних елементів печатної плати (рис. 3.9), призначена для монтажу (пайки) радіокомпонента. КП може мати різні форми, використовувати встановлення радіокомпонентів на поверхню або в отвори, бути металізованою або неметалізованою, використовувати різні покриття, у тому числі й лак тощо. КП складається з трьох частин: контуру елемента; атрибутів елемента; точки прив'язки. При розробленні КП варто враховувати наявність шарів, які поділяються на дві групи: електричні й неелектричні шари. Електричні шари - це ті шари, у яких розташовуються електричні провідники, у тому числі й контактні площадки. Для позначення контуру й позиційного позначення радіокомпонента застосовують спеціальний шар маркування. У P-CAD цей шар називається Silk, що в перекладі означає шовк, а в технічній літературі - шовкографія. Форма КП розміщується в електричних шарах. Їх може бути один або декілька. У P-CAD прийнято електричні шари ділити на два шари - верхній і нижній. Верхнім шаром вважається умовно прийнятий шар, на якому розташовуються компоненти, якщо на них дивитися зверху. У P-CAD верхній електричний шар називається TOP, а нижній електричний шар - BOTTOM.

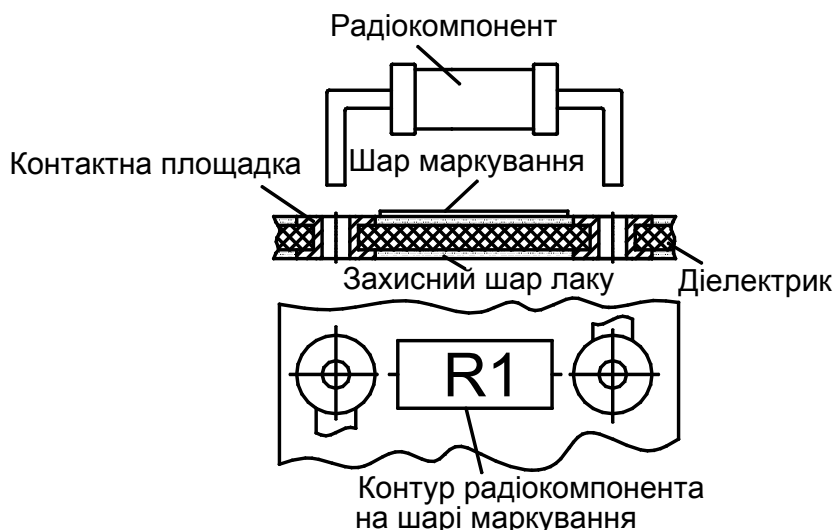


Рисунок 3.9 – Вигляд печатної плати з контактною площадкою

Аналогічно й шар маркування: TOP Silk; BOTTOM Silk. На рис. 3.9 показано приклад КП резистора з металізованими отворами, печатні провідники якого розміщені у верхньому шарі TOP і нижньому шарі BOTTOM. Умовно в ПП

можна розділити шари на два головних - верхній і нижній. Відповідно в цих шарах розміщують електричні й неелектричні шари.

На рис. 3.10 показано приклад основних шарів, які використовують у системі P-CAD. Дуже важливо запам'ятати ці шари, оскільки вони зустрічаються й у P-CAD PCB.

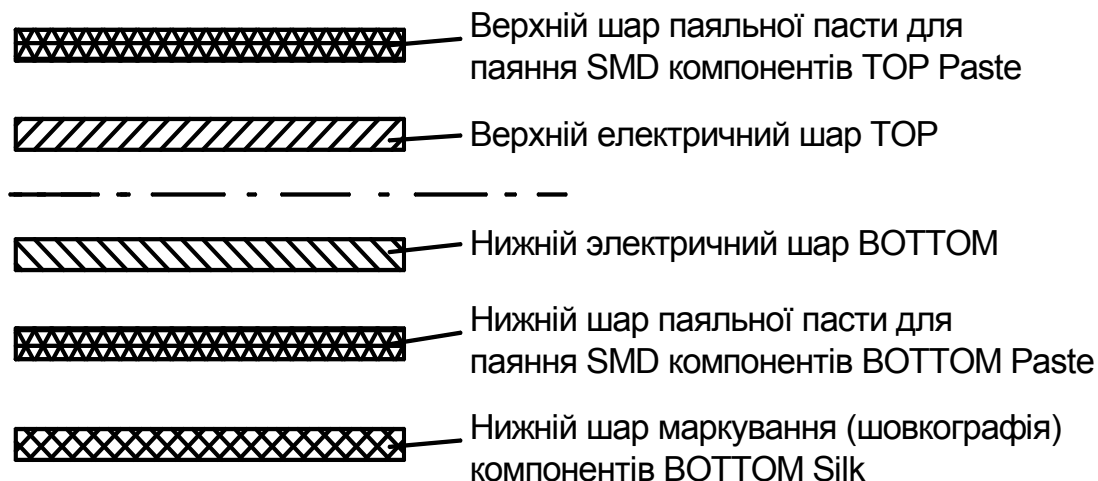


Рисунок 3.10 – Вигляд шарів у P-CAD

На рис. 3.11 показано зовнішній вигляд контактної площадки мікросхеми в корпусі DIP14.

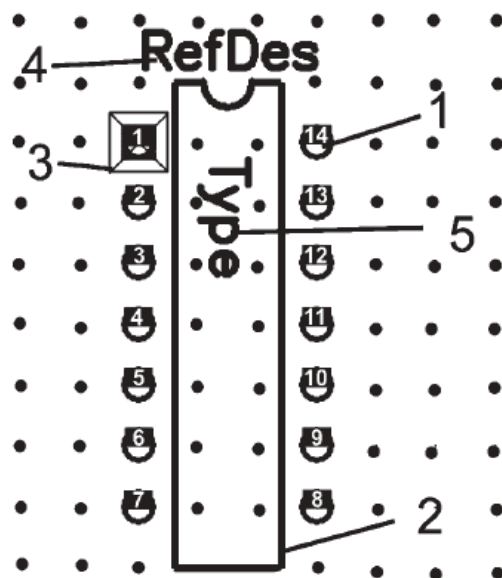


Рисунок 3.11 – Вигляд КП мікросхеми:

1 – контактна площадка КП (Pad); 2 – контур елемента; 3 – точка прив'язки (RefPoint); 4 – атрибут позиційного позначення радіокомпонента (RefDes); 5 – атрибут типу радіокомпонента (Type)

3.2.3 Упакування виводів радіокомпонентів за допомогою менеджера бібліотек library Executive

Упакування радіокомпонента - складальна операція радіокомпонента, що полягає у призначенні електричних виводів умовного графічного позначення контактам корпусу радіокомпонента (контактним площадкам).

Таким чином, у системі P-CAD формується елемент для розроблення схем і печатних плат. Використовуючи компоненти з бібліотек, немає необхідності окремо розробляти схему й печатну плату. Досить один раз розробити схему, створити список з'єднань, завантажити його в P-CAD PCB.

Це той мінімум, що забезпечує велику швидкість при розробленні схем електричних принципів і за допомогою якого досягається висока продуктивність праці конструктора. Слід також зазначити, що в процесі розроблення пристроїв зовнішній вигляд УГП і КП можна змінювати, при цьому не порушиться логічний зв'язок. У P-CAD радіокомпонент можна подати у вигляді трьох складових, об'єднаних у бібліотеку:

- умовне графічне позначення радіокомпонента;
- контактна площадка радіокомпонента;
- атрибути радіокомпонента в бібліотеці (призначення, електричні параметри, тип корпусу тощо).

Упакування радіокомпонента фактично полягає у формуванні таблиці відповідності виводів і контактів. Якщо вона правильно заповнена, то можна вважати, що радіокомпонент записаний у бібліотеку. Робоче вікно менеджера бібліотек Library Executive із радіокомпонентом, яке редагують, показано на рис. 3.12.

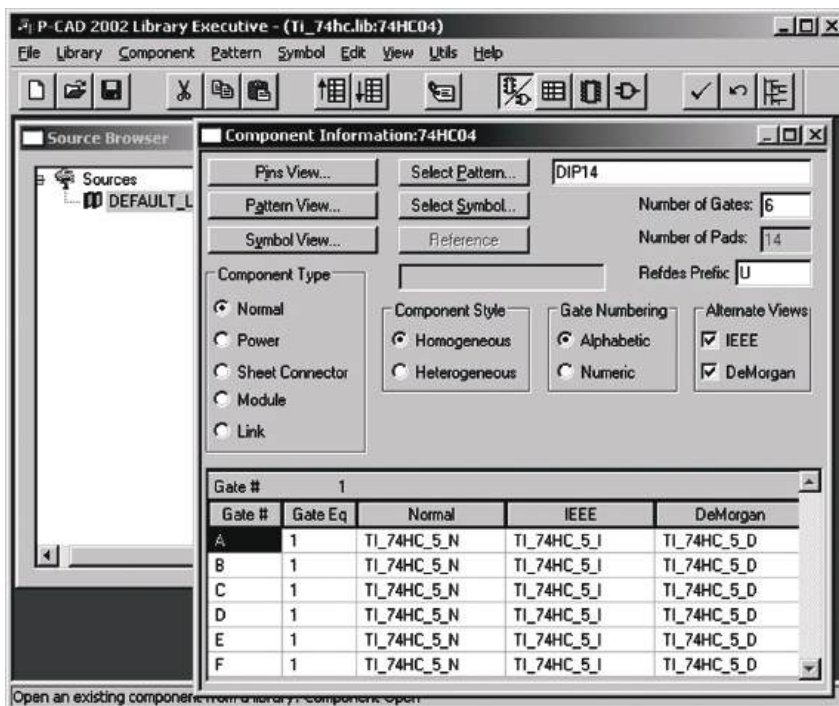


Рисунок 3.12 – Вікно менеджера бібліотек

3.2.4 Розроблення електричних схем у редакторі P-CAD Schematic

Редактор P-CAD Schematic призначений для розроблення схем електричних принципів. Зовнішній вигляд редактора показано на рис. 3.13. Основним елементом схеми є умовне графічне позначення радіокомпонента, що зберігається в бібліотеці P-CAD.

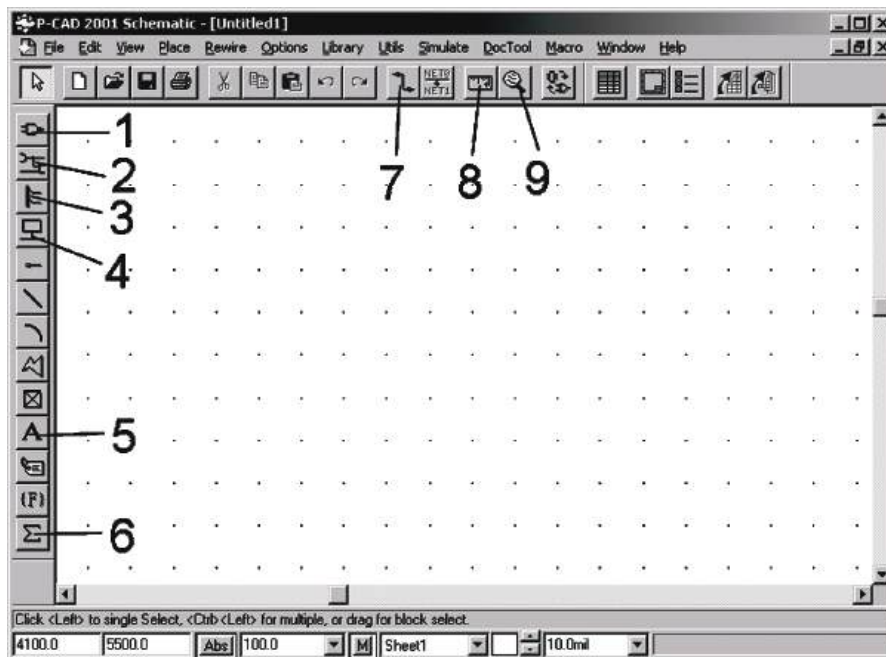


Рисунок 3.13 – Вигляд вікна редактора P-CAD Schematic

На початкових етапах розроблення радіоапаратури бібліотека радіокомпонентів може бути недоукомплектованою контактними площадками. Її можна упакувати, коли всі типи корпусів радіокомпонентів будуть відомі.

Редактор P-CAD Schematic рекомендується запускати через меню Utils P-CAD Library Executive або стандартними засобами операційної системи.

На рис. 3.14 зображено схему електричну принципів, яку розроблено в редакторі P-CAD Schematic.

На рис. 3.15 подано вигляд радіокомпонента, що зберігається в бібліотеці й використовується для розроблення схем електричних принципів у редакторі P-CAD Schematic.

Як видно з рисунка, радіокомпонент має тільки два атрибути: RefDes (позиційне позначення), Value (номінал радіокомпонента). Далі ці атрибути, які зараз пусті, у схемі електричній принципів ма-

тимуть відповідні значення, наприклад для транзистора - VT, а атрибут Value необхідно виключити, оскільки в транзисторі він відсутній.

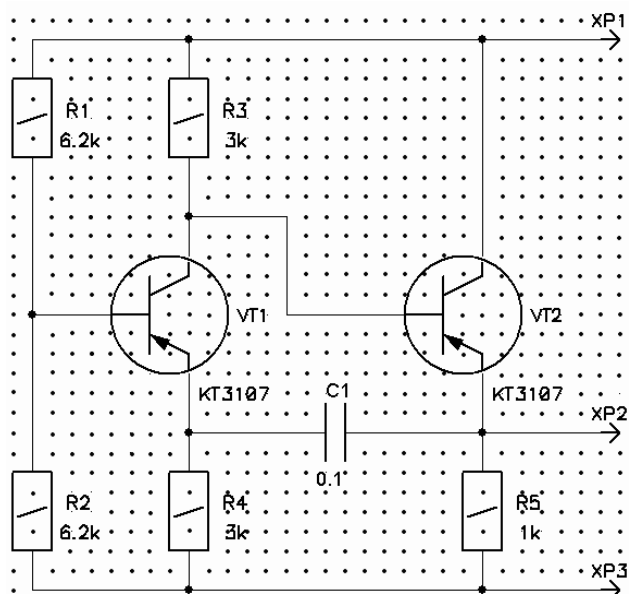


Рисунок 3.14 – Схема електрична принципова

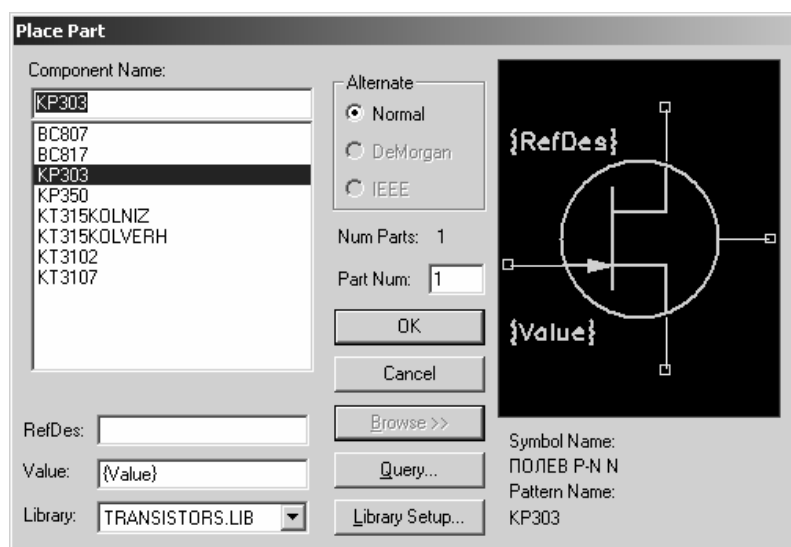


Рисунок 3.15 – УГП радіокомпонента для редактора P-CAD Schematic

3.2.5 Розроблення печатних плат у редакторі P-CAD PCB

Редактор P-CAD PCB призначений для розроблення печатних плат і вузлів. Він дозволяє розробляти плати з використанням як спи-

ску з'єднань, так і корпусів компонентів, виводи яких з'єднуються вручну.

Усі провідники, контактні площадки, контур плати й атрибути радіокомпонентів розташовують у шарах. Печатні плати можуть бути одношаровими й багатшаровими. Печатні плати бувають двох типів - з одностороннім і двостороннім розташуванням компонентів. Розробляють ПП у такому порядку:

- накреслити контур печатної плати;
- розмістити компоненти на печатній платі з певним кроком;
- задати ширину провідників, якщо вона не була заданою, або залишити, як є;
- задати крок координатної сітки трасування;
- зберегти файл проекту в окрему папку;
- закрити всі інші вікна проектів;
- виконати перевірку на наявність помилок;
- розтрасувати печатну плату, використовуючи ручне, інтерактивне або автоматичне трасування;
- якщо плата має високий ступінь інтеграції, то необхідно скористатися альтернативними автотрасовиками;
- після трасування виконати перевірку наявності помилок, особливо варто приділити уваги порушенню кроку координатної сітки й наявності закорочених провідників.

На рис. 3.16 показано зовнішній вигляд редактора після завантаження списку з'єднань схеми електричної принципової. На печатній платі розташовані SMD радіокомпоненти (резистори й конденсатори) й штирові радіокомпоненти (транзистори й одинарні рознімання).

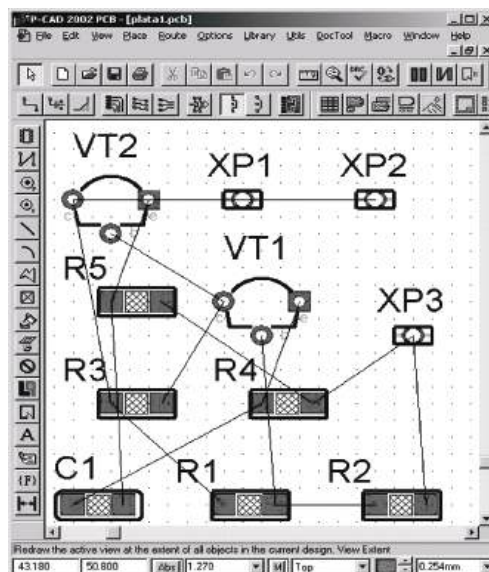


Рисунок 3.16 – Радіокомпоненти, що хаотично розташовані на платі

Усі радіокомпоненти хаотично розміщені на полі, що обмежене контуром плати. Електричний зв'язок між контактами радіокомпонентів зберігається у вигляді “гумових” провідників, які після трасування стають печатними доріжками плати.

Після розміщення радіокомпонентів на платі виконується трасування, результат якого показано на рис. 3.17. Трасування виконане у двох шарах з використанням перехідних отворів. Печатні провідники прокладалися з дозволеними кутами 45 і 90°.

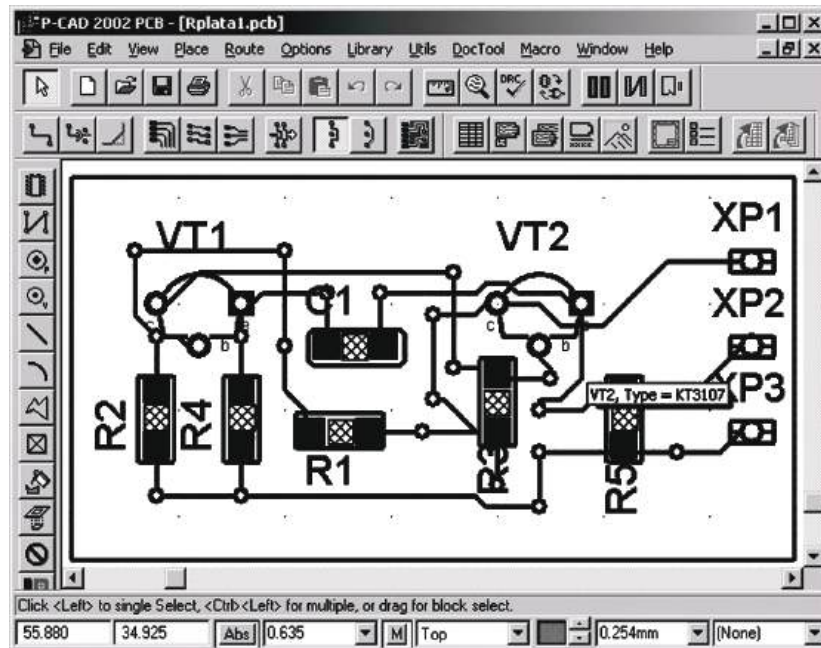


Рисунок 3.17 – Розтрасована печатна плата

На печатній платі радіокомпоненти мають тільки паралельне й перпендикулярне розташування. Як видно з рисунка, для з'єднання печатних провідників на різних шарах для SMD радіокомпонентів активно використовують перехідні отвори.

Для штирових радіокомпонентів такі отвори не потрібні, оскільки для їх контактів використовують металізовані отвори, а печатні доріжки можуть підмикатись на будь-якому шарі. Щоб зменшити кількість перехідних отворів, необхідно виконати декілька ітерацій трасування печатної плати.

Отже, використання САПР, таких, як P-CAD, дозволяє розробляти складні багатошарові печатні плати з високою щільністю монтажу й використанням різної елементної бази. А найголовніше - це велика продуктивність і економія часу як на розроблення нових печатних вузлів, так і вдосконалення існуючих.

3.2.6 Сервісні функції P-CAD PCB

Сервісні функції допомагають розробнику виконувати різні операції, що зменшують час конструювання засобів вимірювальної техніки та іншої радіоапаратури. Серед сервісних функцій можна виділити такі групи:

- перевірка правильності оформлення схеми електричної принципової (усі провідники підімкнені до двох контактів радіокомпонентів, організація запитів на контакти РК, які не підмикають, неправильно розроблене УГП);

- зміна найменування електричних кіл, шин, атрибутів РК і атрибутів його контактів, автоматизована перенумерація позиційних позначень РК;

- пошук РК, електричних кіл у схемі електричній принциповій і печатній платі редакторів P-CAD Schematic і P-CAD PCB;

- перевірка ідентичності електричних кіл схеми електричної принципової і печатної плати в редакторах P-CAD Schematic і P-CAD PCB. Є два методи. Перший – це генерація списку елементів з'єднань контактів РК схеми електричної принципової і печатної плати, а потім їх порівняння. У разі знаходження відмінностей з'являться попередження і список розбіжностей. Другий – команда підсвічування електричних кіл (Highlight), які відсвітлюються в двох цих редакторах і видно всі їхні зв'язки, хоча ця команда є не досить зручною;

- у процесі налагодження або регулювання дуже зручно відстежувати усі зв'язки РК за допомогою тієї ж команди підсвічування (Highlight). На екрані зразу видно всю трасу електричного ланцюга як на схемі електричній принциповій, так і на печатній платі;

- при великому збільшенні масштабу в редакторі P-CAD PCB видно найменування печатних доріжок і контактів, що є зручним і прискорює налагоджувальний процес;

- у процесі конструювання печатної плати є багато інструментів для ручного, інтерактивного й автоматичного трасування печатних доріжок. Для двох останніх можна задавати спеціальні правила трасування й обмеження, що значно економлять час і затрати;

- для різного обладнання виготовлення печатних плат є можливості формування не тільки трафаретів для печатних плат, а й окремо таких файлів, як, наприклад, файл для свердлення отворів у печатній платі, файл для станка фрезерування контуру печатної плати та інші можливості;

- дуже актуальною у процесі конструювання також є функція запису еко-файла. Ця функція дозволяє здійснювати зміни в платах, що вже розтрасовані, або на яких розміщені РК. Наприклад, треба доба-

вити в схему РК, але після цього потрібно було б заново виконувати трасування плати. Щоб уникнути такої важкої роботи, у P-CAD і розроблений механізм еко-файлів. Для створення цього файлу слід увімкнути у P-CAD Schematic запис усіх змін, що проводились в схемі. Після цього в P-CAD PCB слід завантажити файл печатної плати і еко-файл. Усі зміни, які були виконані в схемі, автоматично відредагують печатну плату, залишиться тільки виправити трасування в місцях змін. Наприклад, у схемі потрібно поміняти місцями підімкнені ланцюги до контактів РК, або видалити або додати один із РК, а буває навпаки, на платі не дуже зручно розташовані ланцюги і їх потрібно перемикає на інші контакти, то це теж можливо зробити через еко-файл, виконуючи запис змін у P-CAD PCB. В обох редакторах при завантаженні еко-файла автоматично здійснюються коригування і редагування схеми або плати. У процесі розроблення будь-якого пристрою завжди виникає необхідність коригування, вдосконалення схеми й використання цієї функції дозволяє значно зекономити час, кошти, а головне зменшити вірогідність помилки оператора, який проводить зміни;

– у попередніх розділах було розглянуто екранування печатних плат; для цього в P-CAD є спеціальна функція, яка автоматично може виконати металізацію печатної плати (екранування) або окремих ділянок. На рис. 3.18 показано приклад печатної плати, де в центрі розташовані РК, а вся інша площа металізована.

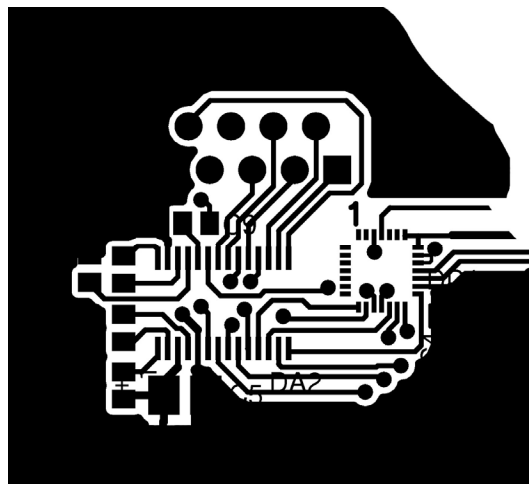
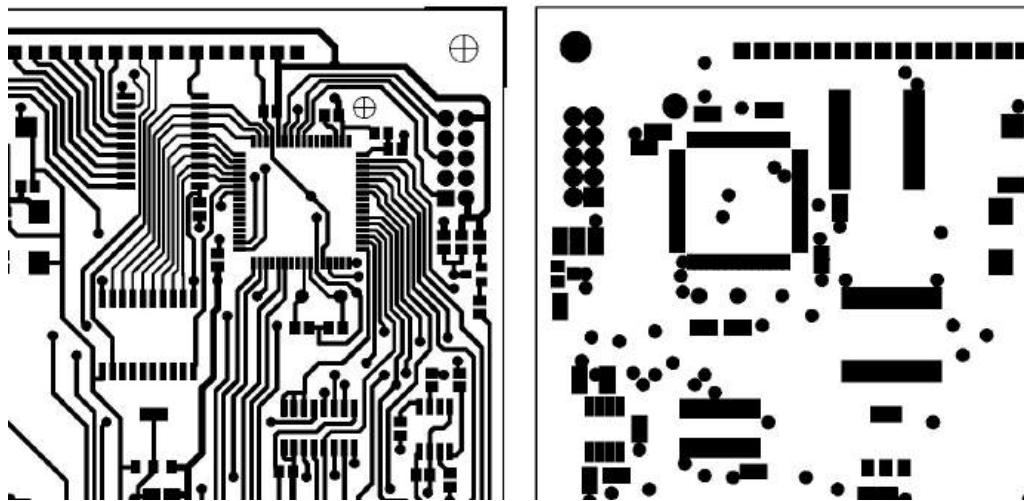


Рисунок 3.18 – Приклад екранованої печатної плати

Користуватися цією командою досить легко, достатньо вказати контур для металізації і до якого контакту буде приєднаний екран;

– варто приділити увагу технологічним функціям P-CAD. Наприклад, для виготовлення фотомаски печатних шарів або шарів захисної маски можна виконати печать прямо на спеціалізований печат-

ний пристрій або записати в спеціальний файл. Точність формування зображення трафаретів досить висока. На рис. 3.19 показано приклади трафарету печатних доріжок і захисної маски;



а

б

Рисунок 3.19 – Трафарети для виготовлення ПП:

а – трафарет печатних доріжок; б – трафарет захисної маски ПП

– у попередньому пункті розглянуто редактор P-CAD PCB, який дозволяє розробляти печатні плати й виконувати автоматичне трасування. Функція має розширені можливості, наприклад, є декілька автоматичних трасовиків, які входять до P-CAD, а також можливість підключати програмні продукти інших фірм. Одним з таких поширених і універсальних автотрасовиків є Specstra [35, 36]. Він має досить складну конфігурацію і налагодження потребує певних знань, але дозволяє виконувати трасування складних плат, які мають велику щільність РК на одиницю площі, складний контур ПП і обмеження в площі. Specstra базується на досить складних алгоритмах трасування ПП, оптимальне трасування досягається за багато ітерацій і на початкових стадіях використовуються елементарні алгоритми трасування (див. підрозд. 3.1.3), одним з яких є хвильовий сітковий алгоритм Лі.

3.3 Трасування печатних плат за допомогою автотрасовика SPECSTRA

На рис. 3.20 показано приклад печатної плати в редакторі автотрасовика Specstra.

Як видно, усі радіокомпоненти подано в спрощеній формі прямокутників, що дозволяє використовувати оптимальне трасування печатної плати за декілька ітерацій.

На рис. 3.21 наведено приклад технології прошовування «Push» печатних доріжок для прокладення ще однієї доріжки.

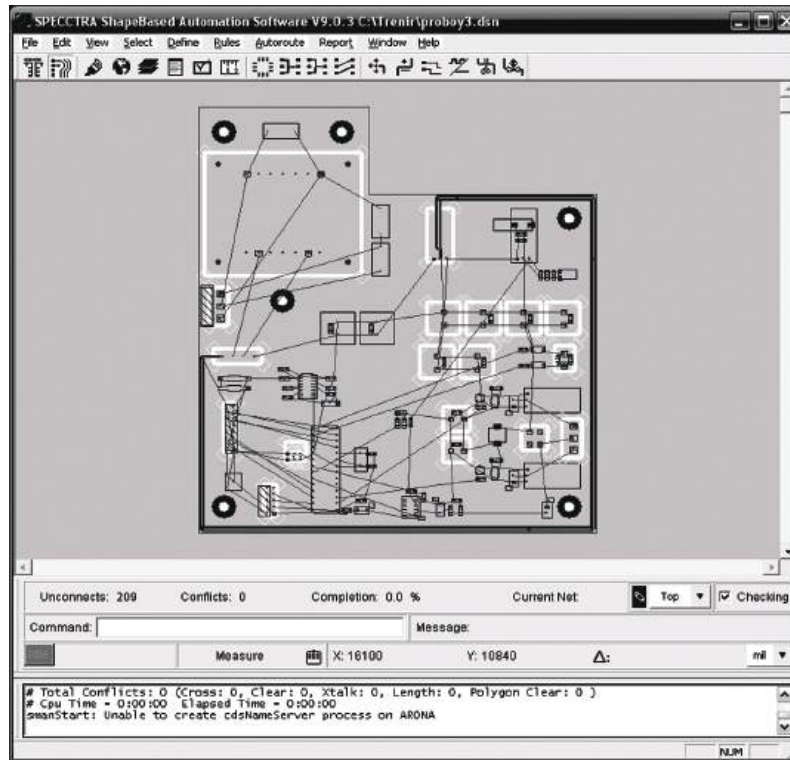


Рисунок 3.20 – Вигляд редактора автотрасовика Specetra

У процесі налагодження завжди задаються основна сітка розташування печатних доріжок, розміщення перехідних отворів, а також допоміжна сітка чи мінімально допустима з встановленим дискретним кроком.

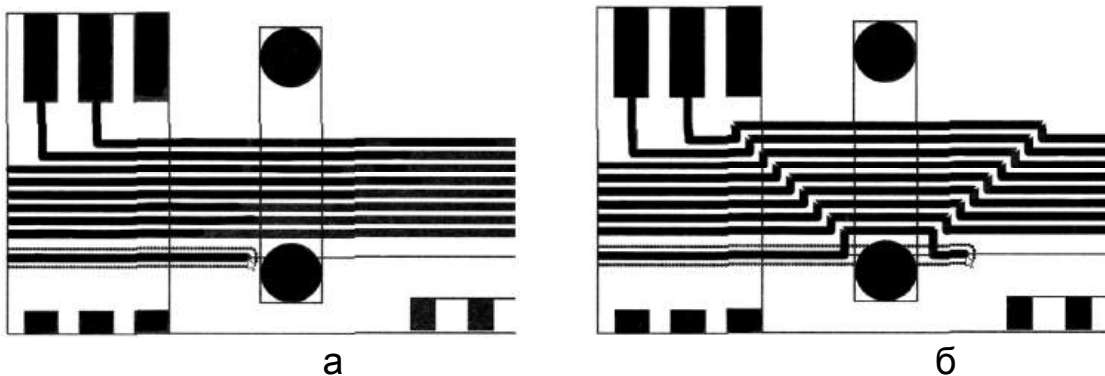


Рисунок 3.21 – Ітеративний процес трасування:
 а – зупинка прокладання траси перед бар'єром; б – зміна конфігурації доріжок для продовження траси

Щоб виконати трасування ПП, у якій основний крок координатної сітки виконується по 3-му класу точності (ширина доріжки – 0,305 мм,

відстань між доріжками – 0,305 мм), потрібно змінювати ці параметри у випадку, коли доріжка підходить до контактної площини, бо може виникнути перекриття доріжок, що зупинить процес трасування. Для вирішення цієї проблеми в P-CAD є така функція, як «Room» («Кімнати»). Вона дозволяє задавати інші параметри на обмеженій прямокутнику площині. Таким чином, основне трасування плати задається класом точності, а там, де будуть встановлені такі мікросхеми, – іншим класом точності (рис. 3.22).

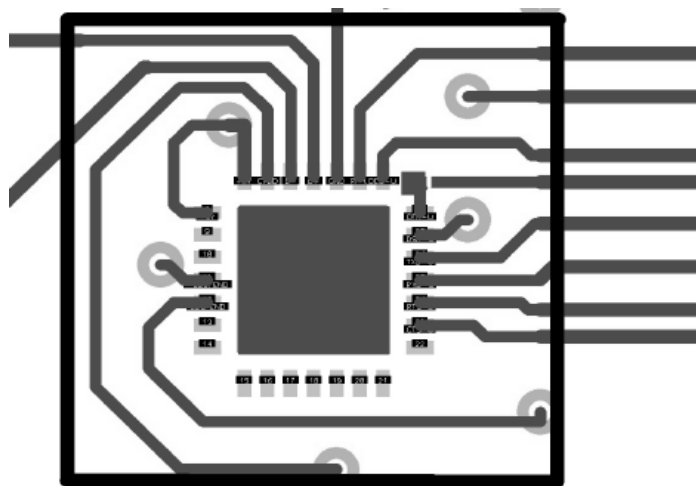


Рисунок 3.22 – Фрагмент використання «Кімнати»

Зменшена товщина печатної доріжки помітна біля внутрішньої сторони прямокутника.

В умовах розвитку технології виготовлення РК і ПП з метою зменшення малогабаритних показників пропонуються РК, які мають мініатюрний корпус з великою кількістю контактів, наприклад, такі корпуси мікросхем, як TQFP чи LQFP, TSSOP, LFCSP_VQ, QSOP, QFN, і один із складних високоінтегрованих корпусів різновидності BGA. Конструктору при розробленні печатної плати, яка містить різні типи корпусів мікросхем і має декілька печатних доріжок із різною шириною, обов'язково потрібно використовувати «Кімнати». Варто зауважити, що автотрасовики не завжди коректно виконують стрингери або автоматично змінюють ширину печатної доріжки, що інколи призводить до порушень розмірів відстані між печатними доріжками чи короткого замикання сусідніх контактів РК. «Кімнати» також можна використовувати для зменшення розмірів печатних доріжок, коли плата має високу платність розташування РК і автотрасовик не може повністю розтрасувати плату.

При розробленні будь-якої конструкції ПП ЗВТ рекомендується визначити майбутні печатні доріжки з мінімальною довжиною. Це до-

зволить уникнути печатних доріжок, які можуть прокладатись далеко за межу розташування РК на платі й підвищити завадостійкість приладу. Це особливо важливо для прецизійної вимірювальної апаратури.

Процес трасування ПП в автотрасовику Specetra виконується за декілька ітерацій. Після трасування плати конструктор повинен оцінити якість трасування, звернути увагу на кількість перехідних отворів для з'єднання сусідніх електричних шарів. Щодо кількості перехідних отворів, то їхня кількість має бути мінімальною, але обчислити цю кількість можна, зробивши декілька трасувань печатної плати і вибравши той варіант, який задовольняє вимоги трасування і мінімальну кількість перехідних отворів.

Обов'язково після кожного трасування потрібно ретельно проаналізувати інформацію автотрасовика, яку він надає після завершення трасування. У таблиці 3.1 наведено типову інформацію результату трасування Specetra.

Таблиця 3.1 – Інформація результату трасування Specetra

ROUTING HISTORY											
# Pass		Conflicts								CPU Time	
# Name	No.	Cross	Clear	Fail	Unrte	Vias	XTalk	Len.	Ready, %	Pass	Total
# Bus	0	0	0	24	291	6	0	0	0	0:00:00	0:00:00
# Route	1	129	30	7	7	62	0	0	0	0:00:00	0:00:00
# Route	2	58	76	2	0	76	0	0	15	0:00:01	0:00:01
# Route	3	37	60	4	0	87	0	0	27	0:00:00	0:00:01
# Route	4	19	52	3	0	87	0	0	26	0:00:01	0:00:02
# Route	5	12	6	1	0	97	0	0	74	0:00:01	0:00:03
# Route	6	0	4	6	0	113	0	0	77	0:00:00	0:00:03
# Route	7	1	2	0	0	111	0	0	25	0:00:01	0:00:04
# Route	8	0	1	0	0	116	0	0	66	0:00:00	0:00:04
# Route	9	0	0	0	0	116	0	0	100	0:00:00	0:00:05

За результатами трасування в першу чергу потрібно звернути увагу на колонку Conflicts Cross (перетинання печатних доріжок) і стовпець Conflicts Clear (порушення відстані між сусідніми печатними доріжками). Якщо кінцеве значення не є "0", то трасування не виконане, бо є грубі порушення. Перетинання печатних доріжок – це фактично коротке замикання, а зменшення відстані між печатними доріжками

може спричинити електричний пробій, коротке замикання або неможливість встановлення РК на свої посадкові місця. Обов'язково перевірити колонку Unrte – електричні ланцюги, які автотрасовик не зміг розтрасувати, якщо останнє значення не є “0”, то необхідно спробувати виконати трасування ще раз або змінити розташування РК чи розміри печатних доріжок. Колонка Vias (кількість перехідних отворів) дає можливість оцінити якість і складність трасування. Щоб зменшити їхню кількість, також потрібно змінити розташування РК, зменшити розміри печатних доріжок і кроку координатної сітки трасування. І остання важлива колонка Ready: якщо значення – 100%, то печатна плата повністю розтрасована і не має помилок, що свідчить про успішність трасування печатної плати.

Для завершення конструювання печатної плати потрібно ще раз ретельно проаналізувати всі параметри, а у разі незначних конфліктів в ручному режимі виправити помилки і дати рекомендації щодо складання печатного вузла.

Контрольні запитання

1. Автоматизація процесу конструювання ЗВТ.
2. Програмне забезпечення САПР.
3. Трасування електричних з'єднань, задачі, критерії, обмеження.
4. Алгоритми трасування печатних доріжок.
5. Призначення P-CAD і його склад.
6. Розроблення умовних графічних позначень радіокомпонентів.
7. Розроблення контактних площадок радіокомпонентів.
8. Упакування виводів радіокомпонентів.
9. Розроблення електричних схем.
10. Розроблення печатних плат.
11. Сервісні функції P-CAD PCB:
 - а) основні сервісні функції P-CAD PCB;
 - б) трасування печатної плати за допомогою автотрасовиків.

ЗАКІНЧЕННЯ

Сучасний стан приладобудування характеризується, з одного боку, широким використанням мікроелектронної бази, у тому числі мікроелектронних елементів для реалізації функцій перетворення інформації, а з іншого - пошуком нових фізичних принципів для побудови первісних вимірювальних перетворювачів, які мають потрібні точнісні характеристики й надійність і орієнтовані на застосування в цифрових системах, наприклад у ЗВТ.

Основними показниками ефективності й якості сучасних ЗВТ є їх висока точність і надійність у складних експлуатаційних умовах, малі габарити й маса, а також невисока вартість при серійному виготовленні.

Для поліпшення цих показників необхідно вести розроблення ЗВТ на сучасному науково-технічному рівні. Великий ефект при цьому може дати, наприклад, перехід від аналогових до цифрових методів подання й оброблення інформації, широке впровадження інтегральної мікроелектроніки, уніфікація і стандартизація конструкцій, широке використання принципів зрівноваження й комплексування, застосування мікрообчислювачів для реалізації функції перетворення, корекції похибок і оброблення інформації, використання систем вбудованого контролю і сучасних засобів індикації й відображення інформації, впровадження САПР, використання сучасної бази SMD радіокомпонентів та ін.

Для створення малогабаритної, високоефективної, надійної й економічної апаратури ЗВТ треба вирішити три основні задачі сучасного конструювання: комплексна мініатюризація, охолодження і підвищення технологічності. При вирішуванні задачі комплексної мініатюризації необхідно вибрати оптимальну структуру конструкції, матеріали й елементну базу. Перевагу слід віддавати елементній базі мікроелектроніки, мікропроцесорним засобам, волоконно-оптичним кабелям, полегшеним високоміцним матеріалам, причому всі складові елементи бази мають бути технічно сумісними один з одним, а також повинні використовувати мікросхеми.

Чим вище ступінь мініатюризації функціонального вузла, тим вища питома розсіювальна потужність. Тому без ретельно обміркованого й виконаного охолодження не можна забезпечити надійність і ефективність сучасної апаратури. Застосування модульного принципу з використанням стандартних і уніфікованих вузлів при створенні нової апаратури забезпечує високу її технологічність.

Багато проблем конструювання ЗВТ, пов'язаних із затримками й переключуванням сигналів, забезпеченням теплових режимів, зада-

чами компонування, розміщення, трасування, потрібно вирішувати на якісно новому рівні.

Найперспективнішими напрямками автоматизації проектування ЗВТ є:

1) підвищення ефективності математичного й програмного забезпечення за рахунок використання особливостей нової обчислювальної техніки;

2) розвиток методів конструкторського проектування на основі критеріїв, що враховують вимоги електромагнітної сумісності й забезпечення потрібних теплових режимів; розроблення концепції багаторівневої оптимізації;

3) автоматичне складання ескізів топології інтегральних схем, спільне вирішення задач розміщення й трасування, використання сучасних САПР конструювання ЗВТ та іншої радіоелектронної апаратури.

Усе це зумовлює необхідність подальшого розвитку теоретичних основ конструювання, у тому числі й автоматизації, підвищує роль курсу при підготовці спеціалістів у галузі конструювання засобів вимірювальної техніки.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кошовий М.Д. Конструювання вузлів і приладів вимірювально-обчислювальних комплексів: навч. посібник для студентів приладобудівних і радіотехнічних спеціальностей вищих закладів освіти/ М.Д. Кошовий. – Х.: ФАКТ-Нац. аерокосмічний ун-т "ХАІ", 2000. –179 с.
2. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры: учебник для вузов/ П.П. Гелль, Н.К. Иванов-Есипович. – Л.: Энергоатомиздат, 1984. – 536 с.
3. Дудніков А.А. Основи стандартизації, допуски, посадки і технічні вимірювання: підручник/ А.А. Дудніков. – К.: ЦНЛ, 2006. –352 с.
4. Крылова Г.Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: учебник для вузов.– Изд. 2-е, перераб. и доп./ Г.Д. Крылова. – М.: ЮНИТИ-ДИАНА, 1999. –711 с.
5. Единая система конструкторской документации: справ. пособие.– М.:Изд-во стандартов, 1989. – 532 с.
6. Усатенко С.Т. Выполнение электрических схем по ЕСКД: справ. / С.Т. Усатенко, Т.К. Каченюк, М.В. Терехова. – М.: Изд-во стандартов, 1989.–325 с.
7. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 01.07.90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 5 с.
8. ГОСТ 19186-81. Доски приборные кабин самолетов с двумя летчиками. Требования к компоновке и установке приборных досок летчиков. Введ. 01.07.82. – М.: Изд-во стандартов, 1982. –6 с.
9. ГОСТ 24987-81. Доски приборные кабин самолетов с двумя летчиками. Требования к компоновке и установке приборной доски бортинженера. Введ. 01.07.82. – М.: Изд-во стандартов, 1982.–7 с.
10. Поляков К.П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры/ К.П. Поляков. – М.: Радио и связь, 1982. – 240 с.
11. Токарев М.Ф. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры/ М.Ф. Токарев, Е.Н. Талицкий, В.А. Фролов. – М.: Радио и связь, 1984. –223 с.
12. Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре/ В.Б.Карпушин. – М.: Сов. радио, 1971. – 344 с.
13. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры/ под ред. Р.Г. Варламова. – М.: Сов.радио, 1972. –856 с.
14. Кошевой Н.Д. Конструирование узлов измерительно-вычислительных комплексов летательных аппаратов: учеб. пособие по курсовому проектированию и лабораторному практикуму/ Н.Д. Кошевой. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1989. –86 с.

15. Волин М.Л. Паразитные процессы в радиоэлектронной аппаратуре. – Изд. 2-е, перераб. и доп./ М.Л. Волин. – М.: Радио и связь, 1981. – 296 с.

16. Князев А.Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости/ А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. – М.: Радио и связь, 1989. – 224 с.

17. Волгов В.А. Детали и узлы радиоэлектронной аппаратуры. – Изд. 2-е, перераб. и доп./ В.А. Волгов. – М.: Энергия, 1977. – 656 с.

18. Конструкторско-технологическое проектирование электронной аппаратуры: учебник для вузов/ К.И. Билибин, А.И. Власов, Л.В. Журавлева и др.; под общ. ред. В.А. Шахнова. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 568 с.

19. Отт Г. Методы подавления шумов и помех в электронных системах/ пер. с англ. Б.Н. Бронина; под ред. М.В. Гальперина.–М.: Мир, 1979. – 318 с.

20. Джонсон Г., Грэхем М. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии/ Г. Джонсон, М. Грэхем; пер. с англ. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. – 624 с.

21. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования/ под ред. Р.Г. Варламова. – М.: Сов.радио, 1980. – 478 с.

22. Мырова Л.О., Чепиженко А.З. Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры святи/ Л.О. Мырова, А.З. Чепиженко. – М.: Радио и связь, 1983. – 216 с.

23. Верхопятницкий П.Д., Латинский В.С. Справочник по модульному конструированию радиоэлектронной аппаратуры/ П.Д. Верхопятницкий, В.С. Латинский. – Л.: Судостроение, 1983. – 232 с.

24. Шахнов В.А. Конструкционные системы микроЭВМ/ В.А. Шахнов. – М.: Радио и связь, 1983. – 120 с.

25. Савельев А.Я., Овчинников В.А. Конструирование ЭВМ и систем/ А.Я. Савельев, В.А. Овчинников. – М.: Высш. шк., 1989. – 312 с.

26. Уваров А.С. P-CAD 2000, ACCEL EDA. Конструирование печатных плат: учеб. курс/ А.С. Уваров. – СПб.: Питер, 2001. – 320 с.

27. Разевиг В. Д. Проектирование печатных плат в P-CAD 2001/ В.Д. Разевиг. – М.: Солон-Р, 2001. – 560 с.

28. Кацуяма Т., Мацумара Х. Инфракрасные волоконные световоды/ Т. Кацуяма, Х. Мацумара; пер. с англ. – М.: Мир, 1992. – 272 с.

29. Грицьків Р.Д. Основи теорії довгих ліній/ Р.Д. Грицьків. – К.: Вища шк., 1974. – 142 с.

30. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи с распределенными параметрами: учеб. пособие для вузов/ С.И. Баскаков. – М.: Высш. шк., 1980. – 152 с.

31. Robert Watson Silicon is the ultimate simulation or why I use the laboratory and spice: Design Seminars.–Burr-Brown, 2000.– 49 p.

32. Шебес М.Р., Каблукова М.В. Задачник по теории линейных электрических цепей: учеб. пособие. – Изд. 4-е, перераб. и доп./ М.Р. Шебес, М.В. Каблукова. – М.: Высш. шк., 1990. – 541 с.

33. Морозов К.К. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: учеб. пособие для вузов/ К.К. Морозов, В.Г. Одинокоев, В.М. Курейчик. – М.: Радио и связь, 1983. – 280 с.

34. Мактас М.Я. Восем уроков по P-CAD 2001/ М.Я. Мактас. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 224 с.

35. Елшин Ю.М. Системы проектирования: справ. руководство по работе с подсистемой Specstra в P-CAD 2001/2002/ Ю.М. Елшин. – М.: Солон-Р, 2002. – 272 с.

36. Уваров А.С. P-CAD 2002 и SPECCTRA. Разработка печатных плат/ А.С. Уваров. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 544 с.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ ЗВТ	5
1.1 Методи пошуку нових конструктивних рішень.....	5
1.2 Стандартизація як основа підвищення продуктивності праці конструктора.....	7
1.3 Схемна документація.....	8
1.4 Показники якості вузлів і приладів ЗВТ.....	16
1.5 Умови експлуатації і їх вплив на вузли і прилади вимірювально-обчислювальних комплексів.....	36
1.6 Конструювання електромеханічних та електронних приладових пристроїв, стійких і міцних при механічних впливах.....	39
1.7 Методика вибору віброізоляторів при конструюванні ЗВТ.....	44
1.8 Конструювання вузлів і приладів ЗВТ, що працюють в умовах електромагнітного впливу.....	52
1.9 Конструювання приладових пристроїв з урахуванням впливу кліматичних і біологічних факторів.....	83
1.10 Конструювання електронних приладових пристроїв з урахуванням теплових впливів.....	94
1.11 Радіаційний вплив і конструювання приладових пристроїв.....	115
2 КОНСТРУЮВАННЯ ОСНОВНИХ ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.....	127
2.1 Конструювання корпусів і блоків засобів вимірювальної техніки.....	127
2.2 Методи конструювання печатних плат і вузлів.....	130
2.3 Конструювання внутрішньоблокового й міжблокового провідного монтажу.....	148
2.4 Електричні параметри ПП.....	158
2.5 Методи компонування електронних приладових пристроїв.....	170
3 АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ.....	202
3.1 Загальні питання автоматизації процесу конструювання	202
3.2 Призначення P-CAD, склад і технічні характеристики....	209
3.3 Трасування печатних плат за допомогою автотрасовика SPECSTRA.....	223
ЗАКІНЧЕННЯ.....	228
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	230

Навчальне видання

**Кошовий Микола Дмитрович
Книш Валентин Олександрович
Заболотний Олександр Віталійович
Цеховський Максим Володимирович
Костенко Олена Михайлівна**

ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Редактор С.П. Гевло

Зв. план, 2010

Підписано до друку 27.10.2010

Формат 60x84 1/16. Папір офс. № 2. Офс. друк

Ум. друк. арк. 13. Обл.-вид. арк. 14,12. Наклад 300 прим.

Замовлення 362. Ціна вільна

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського

“Харківський авіаційний інститут”

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

<http://www.khai.edu>

Видавничий центр “ХАІ”

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

izdat@khai.edu