

621.396.6(75)
К 76

102



М. Д. Кошовий

**КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ
ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ
КОМПЛЕКСІВ**

2000

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**Науково-методичний центр вищої освіти
Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"**

М.Д. КОШОВИЙ

**КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ
ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ**

**Допущено Міністерством освіти і науки України
як навчальний посібник**

**для студентів приладобудівних і радіотехнічних спеціальностей вищих
закладів освіти**

НТБ ВНТУ



421232

621.396.6(07) К 76

2000

Книжка М.Д. Конструювання вузлів і приладів

Харків "ФАКТ-ХАІ" 2000

УДК 621.396.6

Конструювання вузлів і приладів вимірювально-обчислювальних комплексів / М.Д. Кошовий. - Навч. посібник для студентів приладобудівних і радіотехнічних спеціальностей вищих закладів освіти. - Харків: ФАКТ-Нац. аерокосмічний ун-т "Харк. авіац. ін-т", 2000. - 179 с.
ISBN 966-637-013-1

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

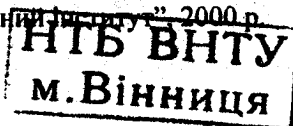
Для студентів приладобудівних і радіотехнічних фахів. Може також бути корисним для робітників радіоелектронної та приладобудівної промисловості.

Рецензенти : д-р техн. наук, проф. В.К. Копил,
д-р техн. наук, проф. М.І. Підлісний

УДК 232

ISBN 966-637-013-1

© Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут" 2000 р.



ВСТУП.....	4
1. ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ (ВОК).....	6
1.1. Методи пошуку нових конструктивних рішень.....	6
1.2. Стандартизація як основа підвищення продуктивності праці конструктора...	9
1.3. Основні системи стандартизації у вимірювальній техніці та авіаприладобудуванні.....	10
1.4. Види та комплектність конструкторських документів.....	13
1.5. Стадії розроблення конструкторської документації.....	17
2. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ (ВОК) З УРАХУВАННЯМ ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ.....	22
2.1. Показники якості вузлів і приладів ВОК.....	22
2.2. Умови експлуатації та їх вплив на вузли і прилади вимірювально-обчислювальних комплексів.....	42
2.3. Конструювання електромеханічних та електронних приладів, стійких і міцних при механічних впливах.....	46
2.4. Методика вибору віброізоляторів при конструюванні приладових пристроїв.....	51
2.5. Конструювання вузлів і приладів ВОК, що працюють в умовах електромагнітного впливу.....	59
2.6. Конструювання приладових пристроїв з урахуванням впливу кліматичних і біологічних факторів.....	70
2.7. Конструювання електромеханічних та електронних приладних пристроїв з урахуванням теплового впливу.....	77
2.8. Радіаційний вплив і конструювання приладових пристроїв.....	89
3. КОНСТРУЮВАННЯ ОСНОВНИХ ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	98
3.1. Конструювання корпусів блоків вимірювально-обчислювальних комплексів.....	98
3.2. Конструювання штампованих, пресованих і литих деталей.....	101
3.3. Конструювання відлікових пристроїв.....	109
3.4. Методи конструювання печатних плат і вузлів.....	114
3.5. Конструювання внутрішньблокового і міжблокового монтажу.....	124
3.6. Методи компонування електронних приладових пристроїв.....	135
4. АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	139
4.1. Загальні питання автоматизації процесу конструювання.....	139
4.2. Автоматизація компонування електронної апаратури.....	142
4.3. Автоматизація розміщення конструктивних елементів.....	150
4.4. Автоматизація трасування електричних з'єднань.....	156
Закінчення.....	163
Список використаної та рекомендованої літератури.....	165
Додаток.....	168

ВСТУП

Розроблення та створення вимірювально-обчислювальних комплексів (ВОК) з високими техніко-економічними показниками потребують від інженера глибоких теоретичних знань, практичних навичок їх застосування, знань та вмій використання перспективних засобів конструювання. Конструктор цих комплексів мусить мати:

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

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

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

Оскільки конструкція ВОК складається із типових складальних одиниць різних рівнів ієрархії, конструктор повинен вміти розробляти основні деталі та вузли ВОК, типові складальні одиниці та компонувати з них конструкцію комплексу, що проектується.

Конструкторське проектування характеризується чималою трудомісткістю. Тому ряд задач вирішується за допомогою ЕОМ. До них відносяться задачі компоновання електронної апаратури, розміщення конструктивних елементів на монтажному просторі, 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 показуються на екрані дисплея, тобто конструктор має бути кваліфікованим користувачем ЕОМ, які використовуються в системах автоматизованого виробництва, наприклад CAD - CAM.

1. ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

1.1. Методи пошуку нових конструктивних рішень

Конструювання - це багатокрокова процедура наближення до оптимальної конструкції за схемою "синтез - аналіз - синтез" [1] (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.

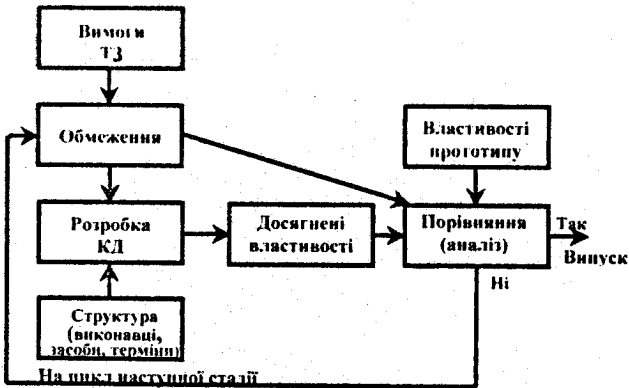


Рис. 1.1. Схема багатостадійного процесу конструювання

На початку процесу конструювання – стадії технічної пропозиції – формується первинний варіант конструкторського рішення, основою якого є конкретний прототип, тобто кращий вибір серед існуючих аналогів. Під час синтезу конструкції з урахуванням обмежень, що впливають з вимог технічного завдання (ТЗ), властивостей прототипу та досвіду, ерудиції й інтуїції конструктора, встановлюються структура та з'єднання конструкції, що проектується, розробляється конструкторська документація. При аналізі порівнюються досягнуті властивості конструкції з вимогами ТЗ і властивостями прототипу і за необхідності заносяться 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 та інтуїції виконавців.

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

Приєм аналогії використовується як для збільшення інерції мислення, так і для її подолання. У першому випадку 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 зруйнування інерції мислення конструктивне рішення необхідно шукати як аналогію з будь-якої далекої галузі. Наприклад, ідея розкриття герметичного корпусу модуля шляхом надриву паяного шва закладеним у ньому лудженим сталевим дротом узятя з конструкції консервної банки. Ідея пристрою для автоматичного вимірювання та регулювання густини струму в гальванічній ванні [2], яка ґрунтується на визначенні середньої густини струму за датчиками, розташованими у вузлах сітки із діелектричного матеріалу, запозичена із галузі рибної промисловості. Конструктивні рішення пристрою для нанесення гальванічного покриття [3], що базуються на вимірюванні за допомогою лазера товщини покриття у процесі його осадження та вимикання джерела постачання гальванічної ванни при досягненні товщини, яка потрібна, взята із галузі застосування лазерів для картографії морів та океанів.

Приєм 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.

Приєм емпатії (вживання в образ) дозволяє конструкторові, який уявляє себе вузлом конструкції або процесами, що проходять в останньому, відчуті найменші подробиці в роботі цього вузла, виявити та 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, відчуті, а потім зменшити перешкоди на його шляху.

Прийом 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 златними 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 хвилини) 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 детальної обробки за схемою "синтез - аналіз - синтез", або подолати інерцію мислення, і в подальшому продуктивні ідеї будуть висунуті саме конструкторами цього підрозділу. Наприклад, при розробці конструкції електричного контакту в зоні герметичного шва між кришкою та корпусом СВЧ-модуля виникла безвихідна ситуація через те, що застосовувана ущільнювальна гума прокладка з електропровідної гуми має підвищений електричний опір, що, у свою чергу, викликає погіршення екранування в зоні вказаного шва.

У процесі мозкового штурму було запропоновано обгорнути гумову прокладку тонкою металевою фольгою, яка забезпечує добрий електричний контакт між кришкою та корпусом. Аналізуючи цю пропозицію, в 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 та застосування правил з метою впорядкування діяльності в певній галузі на користь і за участю всіх зацікавлених сторін [4]. 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 та гарантування безпеки умов праці.

Стандартизація передбачає встановлення єдиних фізичних величин, термінів і позначень, вимог до продукції та виробничих процесів, а також вимог, що гарантують безпеку людей та 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 та рівня затвердження стандарти поділяються на категорії та види. Як приклад можна навести такі категорії стандартів: державний стандарт (ГОСТ), галузевий стандарт (ОСТ), республіканський стандарт (РСТ) 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 та методів контролю; правил маркірування, упакування, транспортування та зберігання; правил експлуатації та ремонту, типових технологічних процесів.

Під час розроблення стандартів ураховуються такі науково-технічні принципи [4]: 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 та впровадження нової техніки, значною мірою полегшує весь процес створення нової конструкції. Підвищення продуктивності праці конструктора за рахунок застосування стандартизації зумовлено широким використанням у нових конструкціях стандартних,

уніфікованих та купованих виробів, скороченням обсягу робіт з проектування технологічного оснащення та пристроїв, розроблення та розмноження 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 та високої кваліфікації конструкторів, збільшувало терміни та вартість виготовлення й ремонту нової конструкції. Успішно усунути ці недоліки дозволяє саме стандартизація.

1.3. Основні системи стандартизації у вимірювальній техніці та авіаприладобудуванні

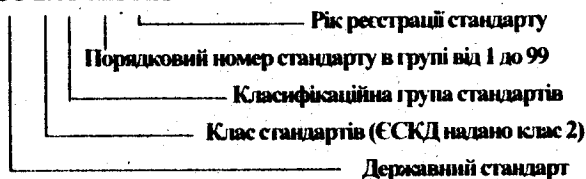
Наведемо основні системи стандартизації, які широко використовуються у вимірювальній техніці й авіаприладобудуванні.

Єдина система конструкторської документації (ЄСКД) установлює порядок розроблення, оформлення, обліку, збереження, розташування, зміни креслень та іншої конструкторської документації, що розробляється підприємствами й організаціями. Ця система забезпечує взаємний обмін конструкторської документації без будь-яких перероблень завдяки обов'язковим правилам оформлення та дотримання комплектності документації, сприяє зниженню трудомісткості проектування тому, що припускає деякі спрощення при розробленні креслень.

При класифікації державних стандартів класу стандартів ЄСКД надається цифра 2.

У загальному вигляді позначення будь-якого стандарту ЄСКД таке:

ГОСТ 2. X XX-XX



Усі стандарти ЄСКД розподіляються за класифікаційними групами, які мають власні шифри: загальні положення - 0; основні

положення - 1; класифікація й позначення виробів у конструкторських документах - 2; загальні правила виконання креслень - 3; правила виконання креслень виробів машино- і приладобудування - 4; правила обігу конструкторських документів - 5; правила виконання експлуатаційної та ремонтної документації - 6; правила виконання схем - 7; правила виконання документів будівних і суднобудівних - 8; інші стандарти - 9.

Єдина система технологічної документації (ЄСТД) установлює обов'язковий порядок розробки, оформлення й обігу всіх видів технологічної документації на машино- і приладобудівних підприємствах для виготовлення, транспортування, встановлення (монтажу) і ремонту виробів цього підприємства. Стандарти ЄСТД належать до 3-го класу і мають умовне позначення, наприклад: ГОСТ 3.1109-82, ГОСТ 3.1428-91.

Державна система забезпечення єдності вимірювань (ДСВ) є нормативно-правовою основою метрологічного забезпечення точності вимірювань, результати яких використовуються державними органами, підприємствами та організаціями. Єдність вимірювань дозволяє забезпечити порівняння результатів, виконаних у різних місцях, у різний час, за допомогою різних засобів вимірювання. Це дуже важливо для успішного розвитку науки, обміну ідеями та результатами.

Стандарти ДСВ належать до 8-го класу, найважливіші положення системи регламентовані ГОСТ 8.001-80, ГОСТ 8.002-86, ГОСТ 8.009-84, ГОСТ 8.010-90 та ін.

Єдина система захисту від корозії та старіння матеріалів і виробів (ЄСЗКС) розроблена з метою збереження заданого рівня якості виробу й матеріалів засобами та методами захисту від корозії, старіння, біопшкоджень. Стандарти ЄСЗКС належать до 9-го класу, найважливіші положення системи регламентовані ГОСТ 9.008-82, ГОСТ 9.306-85, ГОСТ 9.032-74.

Система стандартів безпеки праці (ССБП) установлює вимоги безпеки щодо виконання технологічних процесів, вказує індивідуальні засоби захисту працюючих, вимоги до виробничих приміщень, розташування обладнання й організації робочих місць. Стандарти СБП належать до 12-го класу і мають умовне позначення, наприклад: ГОСТ 12.3.025-80, ГОСТ 12.0.003-74.

Єдина система технологічної підготовки виробництва (ЄСТПВ) являє собою систему організації та керування процесом технологічної

підготовки виробництва на базі широкого застосування прогресивних типових технологічних процесів, стандартної переналагоджуваної оснастки й агрегатного обладнання, насичення виробництва засобами механізації та автоматизації, вдосконалення інженерно-технічних і управлінських робіт. Стандарти ЄСПВ належать до 14-го класу, підрозділяються на шість груп (0, 1, 2, 3, 4, 5) і мають таке умовне позначення: ГОСТ 14.004-83.

Єдина система програмної документації (ЄСПД) установлює порядок розроблення, оформлення й обігу програм і програмної документації. Стандарти ЄСПД належать до 19-го класу і підрозділяються на дев'ять класифікаційних груп, найважливіші положення системи рекомендовані ГОСТ 19.001-88, ГОСТ 19.402-78, ГОСТ 19.404-79, ГОСТ 19.701-90.

Єдина система допусків і посадок (ЄСПІ) містить такі стандарти: ГОСТ 25346-89, ГОСТ 25347-82, ГОСТ 25348-82, ГОСТ 25349-88.

Державна система промислових приладів і засобів автоматизації (ДСП) являє собою експлуатаційно, інформаційно, енергетично, метрологічно та конструктивно організовану сукупність виробів, призначених для використання їх як засобів автоматизації та автоматизованих систем контролю, вимірювання, регулювання технологічних процесів, а також інформаційно-вимірювальних систем. ДСП містить ряд державних стандартів, наприклад ГОСТ 12997-84.

Найважливіші положення єдиної системи стандартів приладобудування (ЄССП), які належать до 26-го класу, регламентовані ГОСТ 26.003-80, ГОСТ 26.005-82, ГОСТ 26.010-80, ГОСТ 26.011-80, ГОСТ 26.201.1-84 та ін. У стандартах ЄССП наведено основні терміни та означення, вимоги до систем інтерфейсу для вимірювальних пристроїв з байт-послідовним, біт-паралельним обміном інформацією, основні параметри вхідних і вихідних сигналів у засобах вимірювання й автоматизації, вимоги до інтерфейсу системи КАМАК, загальні вимоги до вимірювально-обчислювальних комплексів та ін.

Перелік основних стандартів, що використовуються в приладобудуванні, наведено в додатку.

Дані стандарти діють і на території України, оскільки відповідно до "Соглашения о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации" від 13 березня 1992 року (м. Москва) визнаються як міжнародні.

1.4. Види та комплектність конструкторських документів

ГОСТ 2.102-68 встановлює види та комплектність конструкторських документів на виробі всіх галузей промисловості. До конструкторських документів відносять графічні та текстові документи, які окремо і в сукупності визначають склад і будову виробу і містять необхідні дані для його розробки й виготовлення, контролю, приймання, експлуатації та ремонту. В графічних документах за допомогою встановлених стандартним символом і правил пояснюються будова виробу, принцип дії, склад і зв'язки між окремими його частинами. Перелік графічних документів наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Вид документа	Код документа	Визначення
Креслення деталі	-	Креслення, яке містить зображення деталі з зазначенням даних, необхідних для її виготовлення та контролю (ГОСТ 2.102-68)
Складальне креслення	СБ	Креслення, що містить зображення складальної одиниці з зазначенням даних, необхідних для її складання та контролю (ГОСТ 2.102-68)
Креслення загального вигляду	ВО	Креслення, що визначає конструкцію виробу, взаємодію його основних частин і служить для пояснення принципу дії виробу (ГОСТ 2.102-68)
Теоретичне креслення	ТЧ	Креслення, що визначає обводи виробу та координати розміщення його складових частин (ГОСТ 2.102-68)
Електро-монтажне креслення	МЕ	Креслення, що містить зображення електричних і радіоелектронних виробів, що монтуються, електричних комунікацій між ними та дані, необхідні для їх монтажу (ГОСТ 2.413-73)
Монтажне креслення	МЧ	Креслення, яке містить спрощене контурне зображення виробу з зазначенням даних, необхідних для його монтажу на місці застосування (ГОСТ 2.102-68)
Схема	За ГОСТ 2.701-84	Документ, на якому показано у вигляді умовних зображень або позначень складові частини виробу і зв'язки між ними (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.701-84)

Текстові документи містять опис пристрою, принципу дії та експлуатаційних показників виробу, складу конструкторської документації.

Вони розподіляються на документи зі здебільш суцільним текстом (пояснювальна записка, технічні умови, програма і методика випробувань та ін.) і документи з текстом, поділеним на графи (специфікації, відомості та ін.). Перелік текстових конструкторських документів наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2

Вид документа	Код документа	Визначення
Специфікація	-	Документ, який визначає склад специфікованого виробу та розробленої для нього конструкторської документації, призначений для комплектування конструкторських документів, підготовки виробництва й виготовлення виробу (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.108-68)
Відомість специфікацій	ВС	Документ, який містить перелік специфікацій виробу та всіх його складових частин із зазначенням їх кількості та входження (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)
Відомість посилюючих документів	ВД	Документ, який містить в собі перелік документів, на які є посилання в конструкторських документах виробу (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)
Відомість купованих виробів	ВП	Документ, який містить перелік купованих виробів, що застосовуються в розроблюваному виробі (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)
Відомість дозволу застосування купованих виробів	ВИ	Документ, що містить перелік купованих виробів, дозволених до застосування відповідно до ГОСТ 2.124-85 (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)
Відомість власників оригіналів	ДП	Документ, що містить перелік підприємств, в яких зберігаються оригінали конструкторських і посилюючих документів із зазначенням найменувань і позначень документів (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.112-70)
Відомість технічної пропозиції	ПП	Документ, що містить перелік конструкторських документів, які ввійшли до технічної пропозиції (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)
Відомість ескізного проекту	ЕП	Документ, що містить перелік конструкторських документів, які ввійшли до ескізного проекту (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)
Відомість технічного проекту	ТП	Документ, що містить перелік конструкторських документів, які ввійшли до технічного проекту (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)

Закінчення табл. 1.2

Вид документа	Код документа	Визначення
Пояснювальна записка	ПЗ	Документ, що містить опис конструкції та принцип дії розроблюваного виробу, а також обґрунтування прийнятих на даній стадії розробки виробу технічних і техніко-економічних рішень (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)
Технічні умови	ТУ	Документ, що містить вимоги щодо виробу, його виготовлення, контролю, приймання й постачання, які недоцільно зазначати в інших конструкторських документах на цей виріб (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.114-70)
Програма та методика випробувань	ПМ	Документ, що містить дані, які необхідно перевірити при випробуваннях виробів, а також порядок і методи їх контролю (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)
Таблиця	ТБ	Документ, в якому дані зведено в таблицю (ГОСТ 2.102-68)
Розрахунок	РР	Документ, що містить розрахунок технічних або техніко-економічних характеристик виробу, взаємодію його функціональних частин та їх елементів (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.106-68)
Експлуатаційний документ	За ГОСТ 2.601-68	Документ, що містить залежно від його призначення дані, необхідні для експлуатації виробу (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.601-68)
Ремонтний документ	За ГОСТ 2.602-68	Документ, який містить залежно від його призначення дані, необхідні для підготовки ремонтного виробництва, проведення ремонту й контролю виробів після ремонту (ГОСТ 2.602-68)
Інструкція	И	Документ, що містить вказівки та правила, які використовуються при виготовленні виробу (складання, регулювання, контроль, приймання та ін.)

Документи залежно від стадії розроблення поділені на проекти (технічна пропозиція, ескізний проєкт і технічний проєкт) і робочі документи (робоча документація). Перелік цих документів наведено у табл. 1.3.

Таблиця 1.3

Вид документа	Код документа	Визначення
Технічна пропозиція	П	Проектна конструкторська документація, що містить технічне та техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки виробу на основі аналізу технічного завдання замовника та проробки можливих варіантів конструкції виробу (ГОСТ 2.103-68)
Ескізний проєкт	Е	Проектна конструкторська документація, що містить принципові конструктивні рішення, достатні для одержання загального уявлення про конструкцію та роботу виробу, а також визначення його основних характеристик, в тому числі й габаритних розмірів (ГОСТ 2.103-68, ГОСТ 2.119-73)
Технічний проєкт	Т	Проектна конструкторська документація, яка містить остаточні конструктивні рішення, достатні для одержання повного уявлення про конструкцію виробу та значення його показників якості (ГОСТ 2.103-68)
Робоча документація	О, О1, О2, А, Б	Конструкторська документація, розроблена на основі технічного завдання або проєктної конструкторської документації та призначена для забезпечення виготовлення, контролю, приймання, постачання, експлуатації та ремонту виробу (ГОСТ 2.103-68)

Документи залежно від способу їх виконання й характеру використання можна поділити на такі види: оригінали, дублікати, копії (табл. 1.4).

Таблиця 1.4

Вид документа	Визначення
Першотвір	Конструкторський документ, виконаний на будь-якому матеріалі та призначений для виготовлення за ним оригіналу конструкторського документа (ГОСТ 2.102-68)
Оригінал	Конструкторський документ, виконаний на будь-якому матеріалі, придатному для багаторазового зняття з нього копій, та оформлений встановленими підписами (ГОСТ 2.102-68)
Дублікат	Конструкторський документ, ідентичний з оригіналом, виконаний на будь-якому матеріалі, придатному для багаторазового зняття з нього копій, та оформлений засвідчувальним підписом особи, що відповідає за випуск документа (ГОСТ 2.102-68, ГОСТ 2.502-68)
Копія	Конструкторський документ, ідентичний з оригіналом або дублікатором і призначений для використання при розробці, виготовленні, експлуатації та ремонті (ГОСТ 2.102-68)

Позначення виробів та їх конструкторських документів здійснюється за ГОСТ 2.201-80.

При визначенні комплектності конструкторських документів на виробі розрізняють: основний конструкторський документ, основний комплект конструкторських документів, повний комплект конструкторських документів.

Основними конструкторськими документами є: для деталі - креслення деталі; для складальних одиниць, комплексів і комплектів - специфікація.

Основний комплект конструкторських документів виробу об'єднує конструкторські документи, які належать до всього виробу взагалі, наприклад, складальне креслення, принципова електрична схема, технічні умови та ін. До основного комплекту документів виробу не входять конструкторські документи складових частин.

Повний комплект конструкторських документів виробу складається з основного комплекту конструкторських документів на цей виріб і основних комплектів конструкторських документів на всі його складові частини. Він містить, як правило, 20 найменувань конструкторських документів. Номенклатура конструкторських документів на виробі визначається залежно від стадії розроблення конструкторської документації.

1.5. Стадії розроблення конструкторської документації

Стадію розроблення конструкторської документації називають період, протягом якого проводиться розроблення проектної або робочої конструкторської документації певних видів з певною мірою виконання прийнятих технічних рішень.

Етапом називають завершену частину стадії розроблення, протягом якої проводяться окремі роботи з числа характерних для даної стадії.

Для конструкторської документації виробів усіх галузей промисловості ГОСТ 2.103-68 установлює стадії розробки та етапи виконання робіт (табл. 1.5), обов'язковість виконання яких визначається технічним завданням на розроблення.

Технічне завдання (ТЗ) являє собою документ, який встановлює основне призначення та показники якості виробу, техніко-економічні та спеціальні вимоги, що ставляться до розроблюваного виробу, обсягу, стадій розроблення і складу конструкторської документації. Вимоги до ТЗ установлює ГОСТ 15.001-88.

НТБ ВНТУ
м. Вінниця

Технічну пропозицію виконують на основі аналізу ТЗ і виявлення варіантів можливих технічних рішень, в тому числі на основі патентних досліджень. За результатами попереднього конструкторського пророблення й аналізу суперечних варіантів виявляються додаткові та уточнені вимоги щодо конструкції, при цьому можливо виготовлення й дослідження макетів окремих вузлів. Технічна пропозиція розробляється за ГОСТ 2.118-73. Починаючи з технічної пропозиції, через всі проектні стадії проходить кроковий принцип "синтез – аналіз – синтез" (рис. 1.1), спрямований на вдосконалення початкового варіанта конструкції.

Основою для розроблення ескізного проекту служить ТЗ або протокол розгляду технічної пропозиції. При цьому вибраний варіант конструкції підлягає детальному проробленню для виявлення можливості найповнішого задоволення всіх поставлених вимог. Ескізний проект розробляється за ГОСТ 2.119-73.

Обсяг робіт на стадії технічного проекту визначає ГОСТ 2.120-73. Тут проводиться детальне і остаточне пророблення схемних і конструкторських рішень, включаючи створення креслень на всі важливі вузли, блоки та прилади, виконуються необхідні макети, що зазнають випробувань. Технічний проект служить найповнішою основою для робочого проектування.

Розрізняють три стадії робочого проектування: спробного зразка; встановлювальної серії; серійного виробництва. У межах кожної робочої стадії встановлена певна послідовність робіт за етапами, наведеними в табл. 1.5. Робоче проектування складається з розроблення та корекції комплексу конструкторської документації, виготовлення спробного зразка, встановлювальної серії, випробування й допрацювання виробів. Робочу документацію розробляють за ГОСТ 2.103-68 для виготовлення й випробування спробного зразка (спробної партії), встановлювальних серій і встановленого серійного або масового виробництва. При цьому конструкторським документам присвоюють такі літери: "О" - конструкторські документи, скореговані за результатами вироблення та заводських випробувань спробного зразка; "О1" - конструкторські документи, скореговані за результатами проведення державних, міжвідомчих, приймальних та інших випробувань спробного зразка; "О2" - конструкторські документи, скореговані за результатами повторного виготовлення й випробування за документацією з літерою "О1" спробного зразка; "А" - конструкторські документи, скореговані за результатами виготовлення й випробування встановлювальної серії; "Б" - конструкторські документи, скореговані за результатами виготовлення й випробування головної (контрольної) серії виробів.

Таблиця 1.5

Стадія розробки	Етапи виконання робіт
Технічна пропозиція	Підбір матеріалів. Розроблення технічної пропозиції з присвоєнням документам літери "П". Розгляд і затвердження технічної пропозиції
Ескізний проєкт	Розроблення ескізного проєкту з присвоєнням документам літери "Е". Виготовлення й випробування макетів (за необхідності). Розгляд і затвердження ескізного проєкту
Технічний проєкт	Розроблення технічного проєкту з присвоєнням документам літери "Т". Виготовлення й випробування макетів (за необхідності). Розгляд і затвердження технічного проєкту
Робоча конструкторська документація: а) спробного зразка (спробної партії) виробу, призначеного для серійного (масового) або одиничного виробництва окрім разового виготовлення б) серійного (масового) виробництва	Розроблення конструкторської документації, призначеної для виготовлення й випробування спробного зразка (спробної партії) без присвоєння літери. Виготовлення й попередні випробування спробного зразка (спробної партії). Корегування конструкторської документації за результатами виготовлення та попередніх випробувань спробного зразка (спробної партії) з присвоєнням документам літери "О". Приймальні випробування спробного зразка (спробної партії). Корегування конструкторської документації за результатами приймальних випробувань спробного зразка (спробної партії) з присвоєнням документам літери "О1" або "О2" – при повторному виготовленні й випробуванні за документацією з літерою "О1" тільки для виробів, розроблених за замовленнями Міністерства оборони Виготовлення й випробування встановлювальної серії за документацією з літерою "О1" (або "О2"). Корегування конструкторської документації за результатами виготовлення та випробування встановлювальної серії, а також оснащення технологічного процесу виготовлення виробу з присвоєнням конструкторським документам літери "А" або літери "Б" - у випадку виготовлення й випробування головної (контрольної) серії за документацією з літерою "А" тільки для виробів, що розробляються за замовленнями Міністерства оборони

Необхідність складання відповідних конструкторських документів на різних стадіях процесу проектування показано в табл. 1.6.

Таблиця 1.6

Конструкторські документи	Стадії процесу проектування						
	Технічна пропозиція	Ескізовий проєкт	Технічний проєкт	Робоча документація на			
				деталі	складальні одиниці	ком-плекси	ком-плекти
Креслення деталей	-	-	+	±	-	-	-
Складальне креслення	-	-	-	-	±	-	-
Креслення загального вигляду	+	+	±	-	-	-	-
Теоретичне креслення	-	+	+	+	+	+	-
Габаритне креслення	+	+	+	+	+	+	-
Монтажне креслення	-	-	-	-	+	+	-
Схеми електричні	+	+	+	-	+	+	+
Специфікація	-	-	-	-	±	±	±
Відомість специфікацій	-	-	-	-	+	+	+

Конструкторські документи	Стадії процесу проектування						
	Технічна пропозиція	Ескізний проект	Технічний проект	Робоча документація на			
				деталі	осадальні одиниці	комплекси	комплекти
Відомість посилюючих документів	-	-	-	-	+	+	+
Відомість узгодження застосування виробів	-	+	+	-	+	+	+
Відомість купованих виробів	-	+	+	-	+	+	+
Відомість власників оригіналів	-	-	-	-	+	+	+
Відомість технічної пропозиції	±	-	-	-	-	-	-
Відомість ескізного проекту	-	±	-	-	-	-	-
Відомість технічного проекту	-	-	±	-	-	-	-
Пояснювальна записка	±	±	±	-	-	-	-
Технічні умови	-	-	-	+	+	+	+
Програма та методика випробувань	-	+	+	+	+	+	+
Розрахунки	+	+	+	+	+	+	+

Примітка. Знак "±" означає, що документ обов'язковий, "+" - документ складеться на розсуд розробника, "-" - документ не складеться

2.ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИЛАДІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ (ВОК) З УРАХУВАННЯМ ЗОВНІШНІХ ВПЛИВІВ

2.1. Показники якості вузлів і приладів ВОК

Конструкція, яка розробляється, мусить задовольняти вимоги технічного завдання і за своїми характеристиками перевищувати властивості прототипу. Оцінка якості зазначених виробів здійснюється за такими показниками: призначення, надійність, ремонтпридатність, безпека, ергономіка, естетика, технологічність, уніфікація, патентно-правові та 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.

2.1.1. 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, передача, 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 та їх взаємного впливу і містить екранування, усунення наведень, заземлення та ін.

Перелік цих вимог залежить від особливостей замовлення на розробки, зазначені в технічному завданні. Групу перелічених показників призначення можна поділити на три підгрупи: класифікаційні, експлуатаційні та конструктивні показники. 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 виконаннях, наведених в табл. 2.1, до того ж, залежно від місця розміщення при експлуатації у повітряному середовищі на висотах 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. 2.2 (у дужках наведено додаткові категорії).

В табл. 2.3 подано допустимі значення параметрів факторів зовнішнього середовища, що впливають на вироби, для основних категорій розміщення, а для додаткових категорій - ГОСТ 15150-69.

Вироби літальних апаратів з висотною стелею більше 1000 м виготовляють за групами залежно від зниженого атмосферного тиску відповідно до табл. 2.4. 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. 2.5), 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 таблиці (етикетці), після всіх позначень, що стосуються модифікації виробу, вводять 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.

Кліматичне виконання	Умовне позначення	Характеристика клімату
Для макрокліматичних районів з помірним кліматом	У	Температура: $t_{\max} = + 40^{\circ}\text{C}$; $t_{\min} = - 45^{\circ}\text{C}$
Для макрокліматичних районів з помірним і холодним кліматом	УХЛ	Температура t_{\min} нижче $- 45^{\circ}\text{C}$
Для макрокліматичних районів з вологим тропічним кліматом	ТВ	Температура $t = +20^{\circ}\text{C}$ і вище, вологість - 80 % і вище
Для макрокліматичних районів із сухим тропічним кліматом	ТС	Температура $t_{\max} = + 40^{\circ}\text{C}$ і вище
Для макрокліматичних районів як із сухим, так і з вологим тропічним кліматом	Т	Температура: $t_{\max} = + 55^{\circ}\text{C}$; $t_{\min} = - 10^{\circ}\text{C}$; верхнє значення вологості: 100% - при 35°C ; 80% - при 25°C
Для макрокліматичних районів на суші, окрім районів з дуже холодним кліматом (загальнокліматичне виконання)	О	Температура: $t_{\max} = + 55^{\circ}\text{C}$; $t_{\min} = - 60^{\circ}\text{C}$; верхнє значення вологості: 100% - при 35°C ; 80% - при 25°C
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
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, окрім районів з дуже холодним кліматом (всекліматичне виконання)	В	Температура: $t_{\max} = + 55^{\circ}\text{C}$; $t_{\min} = - 60^{\circ}\text{C}$; верхнє значення вологості - 98% при 35°C

Таблиця 2.2

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 короточасної 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 комплектних виробів категорій 1;1.1;2, конструкція яких виключає можливість конденсації на них вологи	2.1
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 кондиційованим або частково кондиційованим повітрям	4.1
		Вироби, що експлуатуються всередині промислових опалюваних будівель	4.2
Вироби, які розміщуються в приміщеннях з підвищеною вологістю, яка приводить до частой конденсації вологи на стінах і стелі	5	Вбудовані елементи всередині виробів категорії 5, але за умови виключення конденсації на них вологи	5.1

Найважливішим показником конструкції сучасної електронної апаратури є рівень мініатюризації, який урахує ефективно використання об'єму й маси конструкції при забезпеченні її необхідних характеристик. Розрахунок рівня мініатюризації базується на обчисленні двох коефіцієнтів:

Фактори, що впливають	Допустимі значення параметрів для категорій розміщення виробів											
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
	Клімат в зоні експлуатації											
	помірний				холодний				тропічний			
Температура повітря, °С												
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
Верхнє значення 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	3	-	-	-	3	-	-	-	5	-	-	-
Динамічний вплив пилу та піску	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Випадання іню	+	+	±	-	+	+	±	-	-	-	-	-
Присутність плісняви, грибків	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+
Верхнє значення присутності морської солі в повітрі, мг/(м ³ ·добу), на суші/на морі	$\frac{2}{2000}$	$\frac{2}{2000}$	-	-	$\frac{2}{2000}$	$\frac{2}{2000}$	-	-	$\frac{2}{2000}$	$\frac{2}{2000}$	-	-

Примітка "±" - фактор присутній; "-" - фактор відсутній; "+" - фактор може бути наявним

Таблиця 2.4.

Позначення групи зв'язуючого тиску	Атмосферний тиск				Висота над рівнем моря, тис.м
	Нижні значення		Середні 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
ж	2,0	15	2,2	16	26,0
з	0,6	5	0,6	5	34,0
и	$1,3 \cdot 10^{-1}$	1	$1,3 \cdot 10^{-1}$	1	45,8
к	$1,3 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	$1,3 \cdot 10^{-2}$	10^{-1}	63,6
л	$1,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	$1,3 \cdot 10^{-4}$	10^{-3}	91,7
м	$1,3 \cdot 10^{-7}$	10^{-6}	$1,3 \cdot 10^{-7}$	10^{-6}	200 (близький космос)
н	$1,3 \cdot 10^{-10}$	10^{-9}	$1,3 \cdot 10^{-10}$	10^{-9}	Середній космос
о	$1,3 \cdot 10^{-13}$	10^{-12}	$1,3 \cdot 10^{-13}$	10^{-12}	Далекий космос
п	$1,3 \cdot 10^{-14}$	10^{-13}	$1,3 \cdot 10^{-14}$	10^{-13}	Далекий космос

Таблиця 2.5

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

коефіцієнта застосовності мініатюрних елементів нової техніки (МЕНТ), до яких віднесені інтегральні схеми, мікропроцесорні комплекти, мікроскладання та гібридно-інтегральні багатоформатні вузли, і коефіцієнта густини компонування.

Коефіцієнт застосовності МЕНТ K_3 визначається за формулою

$$K_3 = \frac{N_e}{N_e + N_D} = \frac{\sum_{i=1}^L n_i N_i}{\sum_{i=1}^L n_i N_i + N_D}, \quad (2.1)$$

де N_e - загальна кількість елементів в 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 в еквівалентній схемі i -го МЕНТ; N_i - кількість i -го МЕНТ у виробі; L - кількість усіх типів МЕНТ у виробі.

Коефіцієнт густини компоновання еквівалентних елементів Π_k розраховується за виразом

$$\Pi_k = \frac{N_e + N_D}{V}, \quad (2.2)$$

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

Тоді показник рівня мініатюризації K_m обчислюють за формулою

$$K_m = \frac{N_e}{V} = K_3 \Pi_k. \quad (2.3)$$

Сучасний рівень мініатюризації радіоелектронної апаратури РЕА характеризується такими мінімальними значеннями показника K_m (табл. 2.6).

Таблиця 2.6

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

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

$$K_{зо} = \frac{V_{\Sigma ерв}}{V}, \quad (2.4)$$

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

При цьому сумарний об'єм, який займає ЕРВ, обчислюється так:

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

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

2.1.2. Показники надійності

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

З усіх показників надійності, регламентованих нормативами [5] системи стандартів надійності, що відносяться до 27-го класу, найповніше характеризує надійність конструкції комплексний показник надійності - коефіцієнт готовності виробу. Це ймовірність того, що виріб виявиться працездатним в будь-який момент часу, окрім планованих періодів, протягом яких використання виробу не передбачається. Якщо припустити, що працездатність виробу відновлюють тільки при відмовах, то коефіцієнт готовності виробу можна визначити так:

$$K_{г} = \frac{T_{сер}}{T_{сер} + T_{в}}, \quad (2.5)$$

де $T_{сер}$ - середнє напрацювання на відмову, год; $T_{в}$ - 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 та тренування комплектуючих елементів;
- організація системи контролю (вхідного, вихідного, поопераційного).

2.1.3. Показники ремонтпридатності

Ремонтпридатність - це пристосованість конструкції до 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 по підвищенню ремонтпридатності зводяться до зниження часу відновлення. Можна виділити такі конструктивні заходи по підвищенню ремонтпридатності виробу:

- забезпечення можливості максимально швидкого доступу до всіх вузлів, розміщених усередині конструкції, що досягається розкриттям несучої конструкції (рис. 2.1) або висунанням складових частин (рис. 2.2), застосуванням рознімного (рис. 2.3) або книжкового (рис. 2.4) варіантів конструкції блока;

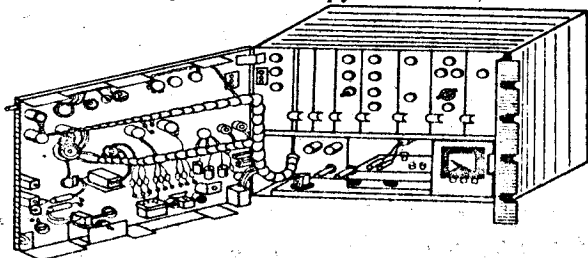


Рис. 2.1. Конструкція блока, що розкривається

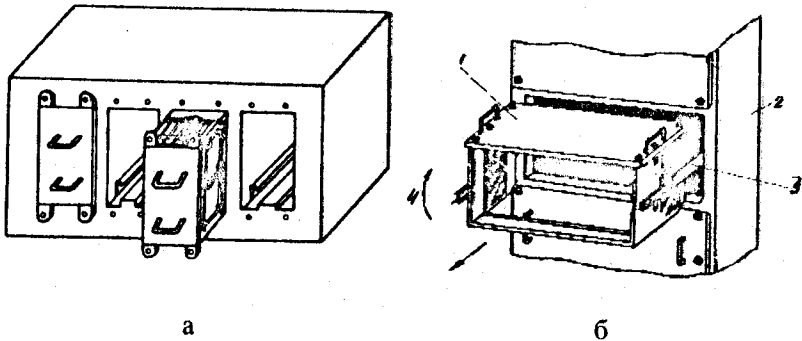


Рис.2.2. Висувна несуча конструкція блока(а), висувна конструкція з телескопічними напрямними(б):

1 - лицьова панель блока; 2 - корпус стояка; 3 - напрямна; 4 - напрямок розвороту блока для доступу знизу

- досягнення єдиності 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 спряження з неправильною відповідною частиною;

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

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

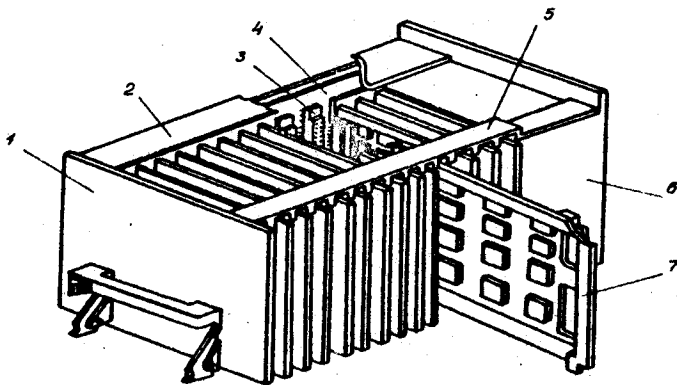


Рис.2.3.Блок рознівної конструкції літакової апаратури:

1 - передня панель; 2 - кутовик; 3 - розетка з'єднувача РПІМ26;
4 - об'єднувальна печатна плата; 5 - напрямна; 6 - задня панель;
7 - чарунка із з'єднувачем РПІМ26

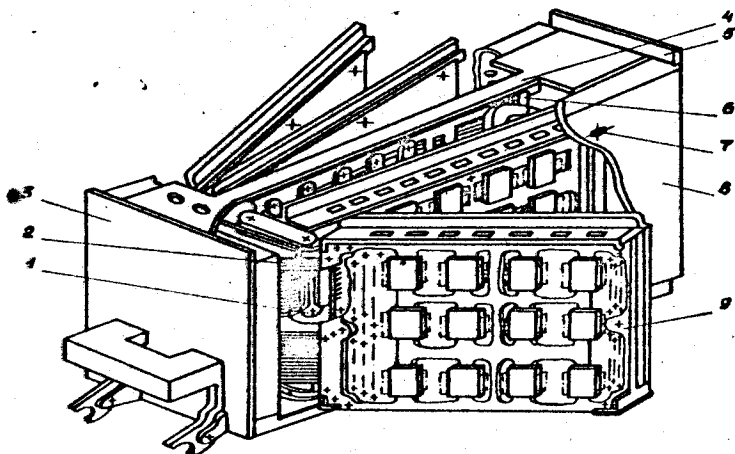


Рис.2.4. Блок книжкової конструкції на мікросхемах і мікроскладаннях: 1 - з'єднувальна колодка; 2 - гнучкий печатний кабель; 3 - передня панель блоку; 4 - рама; 5 - задня панель; 6 - з'єднувальна печатна плата; 7 - стяжний гвинт; 8 - бокова стінка; 9 - чарунка

- використання в конструкції взаємозамінних частин, які не потребують підгонки при заміні;
- застосування в складній апаратурі вбудованого контролю;
- компонування електронної апаратури необхідно виконувати таким чином, щоб за необхідності розбирання та складання частин конструкції проводилось без демонтажу сусідніх частин;
- забезпечення доступу до всіх з'єднувачів, віброізоляторів та інших елементів конструкції;
- комплектування ЗІП (запасних частин, інструменту, приладів і матеріалів) виконувати виходячи з таких міркувань: 1) чим вище інтеграція функціонального вузла, який потрібно замінити, тим менше час відновлення апаратури; 2) комплектувати ЗІП тільки тими вузлами, ймовірність відмови яких найбільша;
- створення повного комплекту експлуатаційної та ремонтної документації.

2.1.4. Показники безпеки

Вимоги безпеки визначають безпеку праці обслуговуючого та 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 в робочій зоні, освітленість та світова індикація, які знаходяться поза нормами.

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

Основними показниками безпеки є: ймовірність безпечної роботи людини протягом певного часу; швидкодія при вмиканні захисних пристроїв; опір ізоляції струмоведучих частин, з якими можливо зіткнення людини; електрична міцність високовольтних ланцюгів; ефективність блокування та 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 суцільної 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 та 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 12.0.002-82..., ГОСТ 12.2.007.14-75.

2.1.5. Показники ергономіки

Ергономічні вимоги поділяють на антропометричні та 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 чуттів та 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 центру 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 та зручною в роботі (ГОСТ 22613-77);

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

3) кнопки та клавіші, розраховані на багаторазове використання або зусилля 8...35 Н, повинні 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, мусять мати діаметр 3...5 мм і опуклу робочу поверхню. Основні параметри кнопових і клавішних перемикачів вибирають за ГОСТ 22614-77;

4) конструкція пульта керування вибирається залежно від робочого положення оператора (сидячи, сидячи-стоячи, стоячи);

5) при роботі оператора у положенні сидячи всі органи керування та індикації необхідно розташовувати, виходячи з таких міркувань (рис.2.5):

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

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

- зона В - прилади й органи керування та контролю, що використовуються рідко;

- зона Г - допоміжні органи керування;

б) найважливіші й часто використовувані засоби відображення інформації та органи керування повинні розташовуватись у межах оптимальної зони (розміри зазначеної зони при повороті очей подано на рис. 2.6);

7) аварійні сигналізатори не можна розміщувати в оптимальній зоні;

8) усі органи керування, настроювання та підстроювання мають бути розташовані з урахуванням товщини пальців оператора, а під час роботи 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 по сприйняттю інформації обмежені (15...20 біт/хв), то при проєктуванні 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 кількісному вигляді;

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

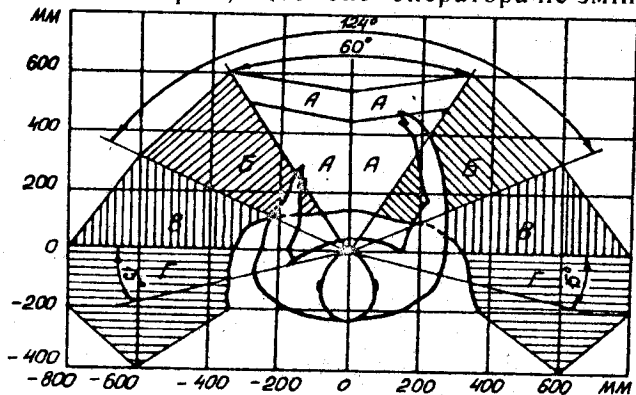


Рис. 2.5. Зона досяжності рук і зона огляду при роботі оператора сидячи

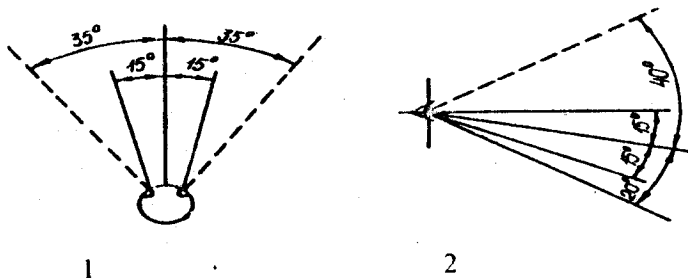


Рис. 2.6. Оптимальні та максимальні кути огляду при повороті очей: 1 - в горизонтальній площині; 2 - у вертикальній площині огляду

чутливість при переводі погляду з освітлених шкал і написів на затемнений простір і навпаки, оскільки змінювання чутливості призводить до додаткової стомлюваності очей;

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

4) у пристроях відображення інформації показання повинні 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 та 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 та 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 мусить відповідати положенню "Ввімкнено", "Пуск", "Збільшення", "Відкриття" або руху "Вперед", "Вправо", "Вверх", а переміщення важелів або рукояток униз, на себе, вліво, проти годинникової стрілки, натиснення нижніх, задніх, лівих кнопок - положенню "Стоп", "Зменшення", "Закриття" або руху "Назад", "Вліво", "Вниз";

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

- віддалення приладу від центру 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 [6, 7];

8) доцільно застосовувати інтегральні прилади, які з'єднують ряд взаємозв'язаних параметрів;

9) при розміщенні кольорових індикаторів на приладовій дошці необхідно враховувати розміри області, в якій оператор упевнено відрізняє даний колір від усіх інших (на рис. 2.7 зазначено кутові розміри областей нормальної диференціації кольору).

Оцінка ергономічних показників здійснюється шляхом зіставлення одержаних і базових показників ергономіки, за які приймають ергономічні вимоги, наведені вище, а також в спеціальних довідниках. Частіше за все оцінка дається експертами у вигляді "Відповідає" або "Не відповідає", а також за п'ятибальною шкалою.

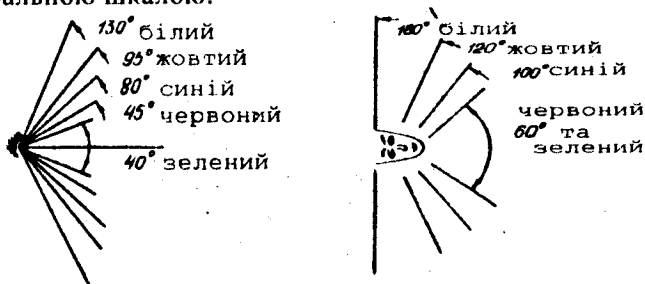


Рис. 2.7. Кутові розміри областей нормальної диференціації кольору

2.1.6. Естетичні вимоги

Естетична підгрупа вимог [8] містить чотири основні вимоги щодо зовнішнього вигляду конструкції: виразність, раціональність форми, цілісність композиції, досконалість виробничого виконання.

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

Раціональність форм характеризує функціональну логіку взаємодії частин і ергономічну зумовленість.

Цілісність композиції характеризує гармонічну 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 оздоб; стійкість до пошкоджень поверхні.

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

2.1.7. Показники технологічності та 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:

$$T_{\text{заг}} = \sum_{i=1}^k t_i, \quad (2.6)$$

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:

$$t_c = T_{ЗАГ} / T_б, \quad (2.7)$$

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:

$$t_{ВІДН} = t_i / T_{ЗАГ}, \quad (2.8)$$

де t_i - трудомісткість i -го виду робіт.

Загальна матеріаломісткість конструкції визначається загальною масою конструкції:

$$M_{ЗАГ} = \sum_{i=1}^h m_i, \quad (2.9)$$

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

Порівняльна матеріаломісткість обчислюється так:

$$m_{П} = M_{ЗАГ} / M_б, \quad (2.10)$$

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

Відносна матеріаломісткість, яка дозволяє виявити застосування в даній конструкції найпрогресивніших видів, сортів, марок матеріалів, визначається як

$$m_{ВІДН} = m_i / M_{ЗАГ}, \quad (2.11)$$

де m_i - маса даного матеріалу.

Загальна собівартість включає вартість матеріалів і комплектуючих виробів, заробітну плату працівників і непрямі, в тому числі накладні витрати. Порівняльна собівартість обчислюється відносно базового показника:

$$C_c = C_{ЗАГ} / C_б. \quad (2.12)$$

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 і повторюваності. Коефіцієнт застосовності визначається як

$$K_{зас} = (n - n_0) / n, \quad (2.13)$$

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

Коефіцієнт повторюваності складових частин конструкції обчислюється так:

$$K_{п} = N / n, \quad (2.14)$$

де N - загальна кількість складових частин.

Для посилення питомої ваги основних складових частин при визначенні показників уніфікації із розрахунків необхідно виключити найпоширеніші деталі та складальні одиниці (кріпильні деталі, заглушки, наконечники, прокладки та ін.).

2.1.8. 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 оформлено юридично. Охороноздатність складається з двох видів захисту: вітчизняними авторськими свідоцтвами та 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 та її новизну, належать показники патентного захисту та патентної чистоти. Показник патентного захисту обчислюється за формулою

$$P_{п.з} = P'_{п.з} + P''_{п.з}, \quad (2.15)$$

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

$$P'_{п.з} = \frac{\sum_{i=1}^s k_i N'_i}{N}, \quad (2.16)$$

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;

$$P_{n,3}'' = \frac{m \sum_{i=1}^s k_i N_i''}{N}, \quad (2.17)$$

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

Коефіцієнти вагомості k_i і m визначаються методом експертних оцінок.

Показник патентної чистоти кількісно характеризує можливість реалізації виробу в даній країні та за рубежом і розраховується за формулою

$$P_{n,4} = \frac{N - \sum_{i=1}^s k_i N_i}{N}, \quad (2.18)$$

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.

2.1.9. Комплексні показники якості

Рівень якості конструкції (РЯК) оцінюється в три етапи:

- 1) вибір номенклатури показників якості конструкції для конкретного випадку;
- 2) підбір аналогів і вибір базового виробу;
- 3) заповнення карти технічного рівня, якості продукції та розрахунок РЯК.

Для обчислення часткового РЯК використовують формулу

$$РЯК_i = \frac{B_i}{P_j}, i=1, \dots, n, j=1, \dots, n, \quad (2.19)$$

де $РЯК_i$ - частковий рівень якості конструкції, яка оцінюється за i -ю властивістю (маса, габарити, надійність, трудомісткість та ін.);

B_i - базовий показник i -ї властивості; P_j - показник j -ї властивості оцінюваної конструкції.

Для оцінки рівня якості конструкції в цілому застосовують відношення середньозважених значень показників властивостей

$$РЯК = \frac{\sum_{i=1}^n m_i B_i}{\sum_{j=1}^n m_j P_j}, \quad (2.20)$$

де $РЯК$ - узагальнений рівень якості конструкції; m_i та m_j - коефіцієнти вагомості, що визначаються експертним методом.

Оскільки при призначенні коефіцієнтів вагомості m_i та m_j запобігти суб'єктивізму важко, то перевагу віддають порівнянню якості за окремими показниками (2.19), не вдаючись по можливості до розрахунку узагальненого показника якості (2.20).

2.2. Умови експлуатації та їх вплив на вузли і 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 та 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 в 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, викликані внутрішніми та зовнішніми джерелами тепла.

Граничні значення параметрів навколишнього середовища, які впливають на електронну апаратуру з кожної групи (наземної, літакової та корабельної), встановлено ГОСТ 16019-78,

ГОСТ 17692-89 і ГОСТ 22579-86. Про ці значення у кожному випадку домовляються в технічних умовах на заново розроблювану апаратуру. Узагальнені параметри зовнішніх впливів для проведення типових випробувань розроблюваної наземної, літакової та ракетної радіоелектронної апаратури наведено в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Фактори та параметри впливу	Режими випробувань для кожної групи		
	Наземна	Літакова	Ракетна
Вібрація			
частота, Гц	10... 70	5... 2000	0... 500
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	50... 1000	-	-
тривалість, мс	0,5... 10	-	-
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
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	
Вітрове навантаження			
робоче, м/с	до 50	-	-
граничне, м/с	до 70	-	-

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 смугі. Вплив вібрації призводить до механічного пошкодження виводів мікросхем, мікроскладань, напівпровідникових приладів та інших радіоелементів, а також механічного пошкодження різних вузлів та елементів. Удари виникають внаслідок зіткнення рухомих об'єктів, впливу вибухової хвилі, зльоту та приземлення літака. При впливі удару на апаратуру мимовільно спрацьовують рухомі та незрівноважені 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 ваги у цих випадках може досягати 10...12 g і більше та викликати різні механічні пошкодження апаратури.

Акустичний шум створюється літальним апаратом та 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 викликати різні несправності та пошкодження чутливих елементів та ін.

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

Електричні та магнітні поля викликають виникнення паразитних наводок усередині електронної апаратури. Причинами перешкод можуть бути струми, які течуть по проводах, і наведені ними на сусідні провідники паразитні сигнали, електромагнітні поля від зовнішніх і внутрішніх джерел випромінювання та 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 та керування, які можуть проходити поряд з проводами та кабелями, що несуть значні напруги перешкод. Спектральний склад перешкод дуже широкий і займає область від найнижчих до надвисоких частот. Недостатнє придушення паразитних зв'язків і наводок сприяє різкому зниженню надійності електронної апаратури, тому що найбільші 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 зруйнування металевих поверхонь та 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 викликати суттєві зміни характеристик електронної апаратури, оборотні й необоротні порушення її працездатності.

Температура корпусу літака змінюється в широких межах (від -60 до $+150$ °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 до навколишнього середовища. При цьому теплові режими апаратури мають бути такими, щоб температура кожного з її елементів дорівнювала заданій або не виходила за допущені межі. Перевищення температурою гранично допустимих значень спричиняє перегрів, а потім і перегорання найуразливіших у тепловому відношенні областей деталей, елементів, приладів (наприклад, р-п - переходів напівпровідникових приладів, обмоток трансформаторів та ін.).

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

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

Найбільше застосування одержали 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 менше ніж на октаву вища за максимальну частоту збудувальних коливань:

$$f_{01} / f'_B \geq 2, \quad (2.21)$$

де f_{01} - перша власна частота коливань, яка для деталей типу пластини розраховується за методикою, наведеною в праці [1]; f'_B - максимальна частота збудувальних коливань.

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

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

2. Поліпшення демпфірувальних властивостей конструкції, наприклад, включення в конструкцію печатних плат спеціальних демпфірувальних покриттів з вібропоглинальних матеріалів (ВП), внутрішнє тертя яких у десятки й сотні разів більше, ніж у 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. Заливка плати з боку радіоелементів (рис. 2.8) вібропоглинальним пінополіуретаном дозволяє знизити амплітуду резонансних коливань більше ніж у десять разів.

Ефективне також для захисту від впливу механічних факторів приклеювання мікросхем на плату або металеву раму демпфірувальним компаундом КТ - 102.

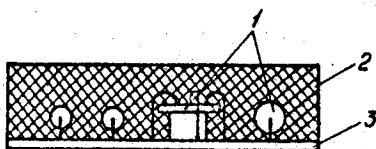


Рис. 2.8. Печатний вузол, залитий з боку радіоелементів вібропоглинальним пінополіуретаном: 1 - радіоелементи; 2 - пінополіуретан; 3 - плата

3. Підвищення жорсткості конструкції, наприклад, для печатних плат; впливати на спектр власних частот коливань можна зміною геометричних розмірів плати, способів її кріплення, матеріалу, конфігурації та 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 натрапляє на небажане зменшення 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 [9] 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 3 рази (рис. 2.9).

При застосуванні ребер жорсткості необхідно виконувати такі вимоги: ребра жорсткості повинні жорстко кріпитися не тільки до плати, але й до опор конструкції (рис. 2.10).

Отже, зменшуючи площину та збільшуючи товщину плат, змінюючи способи кріплення, застосовуючи додаткові точки

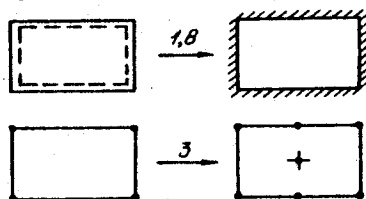


Рис. 2.9. Вплив способів кріплення плат на власну частоту їх коливань

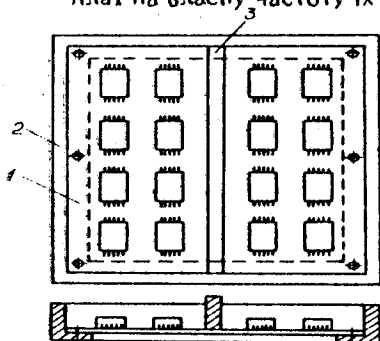


Рис. 2.10. Печатний вузол з ребром жорсткості:

1 - плата; 2 - рама; 3 - ребро жорсткості

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 та застосовуються у випадку, якщо діапазон частот діючих вібрацій не перевищує 400...500 Гц. Основні заходи по 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 та раціональне розміщення на ній електрорадіоелементів (ЕРЕ);

2) оптимізація розміщення монтажних плат в етажерці та 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 компоновання і щоб були виключені резонансні явища. Суть раціонального розміщення ЕРЕ полягає у тому, що найнадійніші елементи розміщують у найбільш віброннагнужених 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. Означені виводи не слід сильно натягувати, а довжина їх не повинна перевищувати 12 мм. Якщо маса елементів більша за 8 г, то застосовують додаткові кріплення елемента та його виводів, наприклад, заливку компаундом, приклеювання клеєм або мастикою, а також кріплять елементи платівками, скобами, поясками, накладками, хомутиками та ін.

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

1) небажано збирати довгі етажерки (більше десяти монтажних плат), тому що при вібровпливах можуть виникнути їх згинальні коливання;

2) необхідно уникати консольних кріплень етажерок, якщо кількість плат у них більше за 4-5.

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 та ударах необхідно застосовувати такі конструктивні способи [10]:

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 дроту, 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 зламу проводу поблизу контактних з'єднань можна додатковим кріпленням його до корпусу;

6) заливка електричних з'єднувачів епоксидною смолою значно зменшує ймовірність зламу 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, компаунда або мастіки для збільшення надійності рекомендується до нанесення зазначених речовин застосовувати підв'язку до шасі проводів, джгутів і кабелів вошеним 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 навивання 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 та об'єктом має бути такою, щоб забезпечити можливість її вільного руху при вібрації;

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

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

2.4.Методика вибору віброізоляторів при конструюванні приладових пристроїв

2.4.1. Віброізолятори та вимоги, що ставляться до них

Віброізолятори служать для зменшення вібрацій і ударних перевантажень, які передаються від опорних або упорних поверхонь об'єкта, а демпфіруючі матеріали призначені для гашення можливих резонансних вібрацій самої апаратури. Залежно від типу пружного елемента та способу демпфірування віброізолятори можна поділити на такі чотири групи: гумометалеві, пружинні з повітряним демпфіруванням, пружинні з фрікційним демпфіруванням, суцільнометалеві 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 (демпфіруваний); до третьої - АФД (з фрікційним демпфіруванням), АПН (просторового навантаження); до четвертої - ПД (подвійний дзвінок), АРМ (з регульованою резонансною частотою), АСП (суцільнометалевий односпрямованої дії).

Креслення, технічні характеристики та розміри основних типів віброізоляторів розглянуто в працях [11,12].

Залежно від частоти власних коливань усі віброізолятори бортової апаратури можна поділити на низькочастотні ($f_{вл\ кол} \leq 3...4$ Гц), середньочастотні ($f_{вл\ кол} \leq 8...10$ Гц), високочастотні ($f_{вл\ кол} \leq 20...25$ Гц) та віброізолятори спеціального призначення. Діапазон частот збурювальних коливань, в якому віброізолятори повинні забезпечувати надійну віброізоляцію апаратури, складає: для низькочастотних - 5...2500 Гц, для середньочастотних - 15...2500 Гц і 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), АГГ (тросові Г-образні), АТЦ (тросові

циліндричні), а також гумометалеві демпфіровані віброізолятори типу АГМД. Високу довговічність та стійкість до температурних і кліматичних впливів мають пружинні віброізолятори. Як пружинні віброізолятори найчастіше використовують сталеві циліндричні кручені пружини, що виготовляються з дроту круглого перерізу. Їх розрахунок можна вести за методикою, наведеною у праці [13].

Віброізолятори бортового обладнання літальних апаратів повинні відповідати технічним вимогам за ГОСТ 21467-81, а гумометалеві приладні 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 13 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. 2.11.

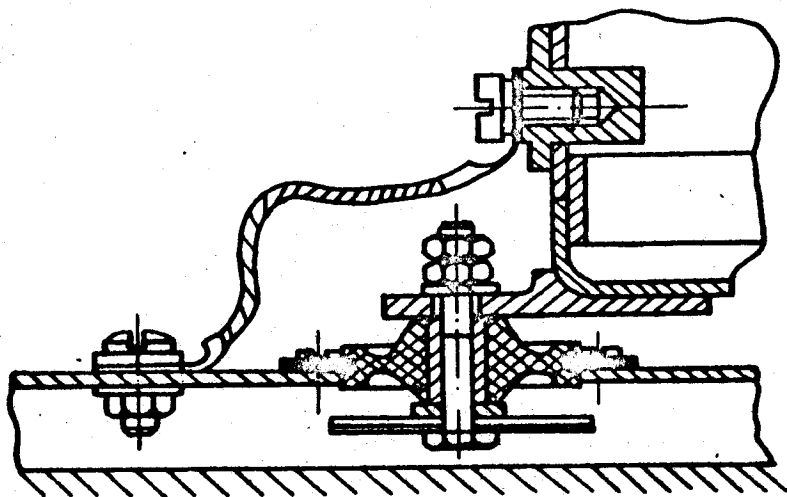


Рис. 2.11. Встановлення блока на віброізоляторах

2.4.2. 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 та їх раціональне розміщення здійснюються на базі статичного та 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 ваги його 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 формулами

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^n c_{x_i} x_i}{\sum_{i=1}^n c_{x_i}}; y_c = \frac{\sum_{i=1}^n c_{y_i} y_i}{\sum_{i=1}^n c_{y_i}}; z_c = \frac{\sum_{i=1}^n c_{z_i} z_i}{\sum_{i=1}^n c_{z_i}}, \quad (2.22)$$

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

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

Найпоширеніші розповсюджені схеми пружного монтажу обладнання зображено на рис. 2.12.

Схеми розміщення віброізоляторів (рис. 2.12, а, б, в) забезпечують захист від сил, що діють у всіх напрямках, і їх доцільно використовувати в умовах просторового навантаження на літальних апаратах.

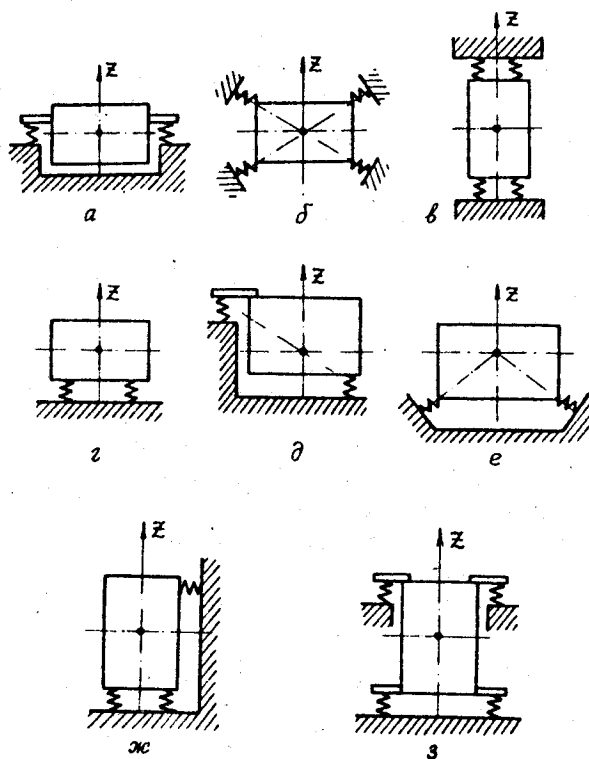


Рис. 2.12. Схеми пружного монтажу обладнання

При впливі на прилад вібрацій та невеликих ударних перевантажень без суттєвих нахилів основи рекомендується застосовувати схему, наведену на рис. 2.12, г. Ця схема розміщення віброізоляторів знайшла широке застосування у звичайній літаковій апаратурі. Значно більшу стійкість, ніж схема на рис. 2.12, г, мають схеми, зображені на рис. 2.12, з, д. Схема, наведена на рис. 2.12, з, звичайно використовується для виробів з відношенням висоти до ширини більше двох. Більш економічною є двоярусна схема (рис. 2.12, д). Ця схема потребує менших зазорів між віброізольованим виробом і конструкціями, що його оточують, ніж схема на рис. 2.12, г, завдяки більшій стійкості системи віброізоляції.

З метою збереження виробу від виникнення крутильних коливань віброізолятори розміщують під кутом до осей симетрії

виробу (рис. 2.12, е). При цьому напрями дії реакцій віброізоляторів повинні перехрещуватися у центрі ваги. За схемою на рис. 2.12, ж звичайно віброізолюються приладові шафи, стояки та інші вироби, які мають значну висоту.

2.4.3. 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:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n P_i &= G; & \sum_{i=1}^n P_i x_i &= 0; & \sum_{i=1}^n P_i y_i &= 0; \\ \sum_{i=1}^n P_i z_i &= 0; & \sum_{i=1}^n P_i x_i y_i &= 0; & \sum_{i=1}^n P_i y_i z_i &= 0; \\ \sum_{i=1}^n P_i z_i x_i &= 0, \end{aligned} \quad (2.23)$$

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 проводиться в такому порядку:

1) визначають схему розміщення віброізоляторів (див. рис. 2.12) 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 (2.23);

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. 2.12, а, г). Оскільки для цього випадку ординати віброізоляторів $z_i=0$, то систему рівнянь (2.23) можна подати у вигляді

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n P_i &= G, \quad \sum_{i=1}^n P_i x_i = 0, \\ \sum_{i=1}^n P_i y_i &= 0, \quad \sum_{i=1}^n P_i x_i y_i = 0. \end{aligned} \quad (2.24)$$

Для системи з трьох віброізоляторів (рис. 2.13) 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 (2.24) визначають координату x_3 і навантаження P_1, P_2, P_3 :

$$\begin{aligned} x_3 &= \frac{x_1 x_2 y_3 (y_1 - y_2)}{x_2 y_1 (y_3 - y_2) - x_1 y_2 (y_3 - y_1)}; \\ P_1 &= \frac{x_2 y_3 - x_3 y_2}{(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)} G; \\ P_3 &= \frac{x_1 y_2 - x_2 y_1}{(x_2 - x_1)(y_3 - y_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)} G \\ P_2 &= \frac{x_3 y_1 - x_1 y_3}{(y_3 - y_1)(x_2 - x_1) - (x_3 - x_1)(y_2 - y_1)} G; \end{aligned} \quad (2.25)$$

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

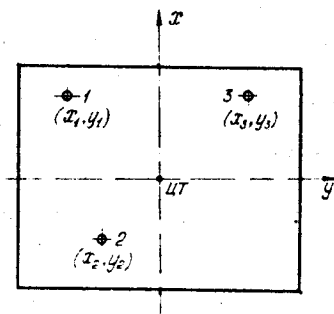


Рис. 2.13. Координати точок кріплення віброізоляторів у горизонтальній площині

Для рівнонавантажених віброізоляторів, коли $P_1 = P_2 = P_3 = G/3$, задають три координати віброізоляторів, зручні з конструктивних розуміння, а із системи рівнянь (2.24) знаходять інші три координати. Наприклад, при заданих координатах x_1, y_1, y_2 (див. рис. 2.13) решта координат визначається з умови раціонального монтажу за такими формулами:

$$x_3 = \frac{x_1(y_1 - y_2)}{2y_2 + y_1}, \quad x_2 = \frac{-x_1(2y_1 + y_2)}{2y_2 + y_1}, \quad (2.26)$$

$$y_3 = -(y_1 + y_2).$$

Приклади статичного розрахунку інших систем віброізоляції наведено у праці [12].

2.4.4. 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 збурювальної сили, а ефективність X системи віброізоляції - не менше 95%.

Розглянемо повністю симетричну систему віброізоляції (рис. 2.14), яку рекомендується застосовувати при проектуванні електронної апаратури через те, що всі власні частоти знаходяться у вузькому діапазоні. Для такої системи характерно, що

$$\sum_{i=1}^4 A_i = 0; \quad \sum_{i=1}^4 B_i = 0; \quad \sum_{i=1}^4 C_i = 0, \quad (2.27)$$

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

Значення частот власних коливань системи визначають за такими формулами:

$$f_{01}^2 = \frac{0,025k_x}{m}; \quad f_{02}^2 = \frac{0,025k_y}{m}; \quad f_{03}^2 = \frac{0,025k_z}{m},$$

$$f_{04}^2 = \frac{0,025 k_z \sum B^2}{I_y}; \quad f_{05}^2 = \frac{0,025 k_x \sum C^2}{I_x}; \quad (2.28)$$

$$f_{06}^2 = \frac{0,025 \left(k_y \sum B^2 + k_x \sum C^2 \right)}{I_z},$$

де f_{01}, f_{02}, f_{03} - власна частота вертикальних, позовжніх та

поперечних коливань; f_{04}, f_{05}, f_{06} - власні частоти незалежних кутових коливань при поздовжньому та боковому хитанні та рисканні; 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. 2.14), 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 визначаються як

$$\omega^2 = \omega_5^2; \omega^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_2^2 + \omega_3^2) \pm \sqrt{(\omega_2^2 - \omega_3^2)^2 + 4\mu_a \mu_b} \right], \quad (2.29)$$

рискання незалежних коливань, зв'язувальних поперечних коливань та бокового хитання - за формулами:

$$\omega^2 = \omega_5^2;$$

$$\omega^2 = \frac{1}{2} \left[(\omega_4^2 + \omega_6^2) \pm \sqrt{(\omega_4^2 - \omega_6^2)^2 + 4\mu_l \mu_f} \right], \quad (2.30)$$

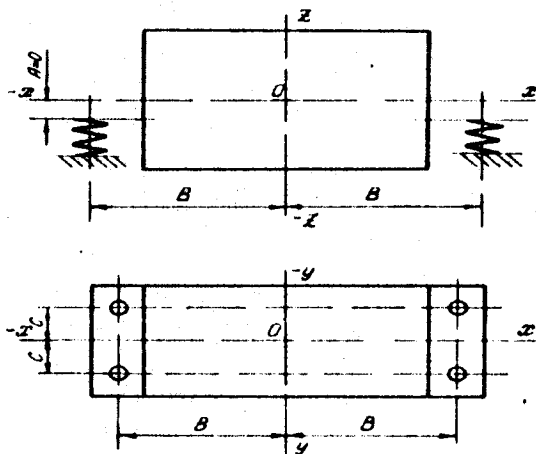


Рис. 2.14. Симетрична система віброізоляції

де

$$\begin{aligned} \omega_1 &= \frac{k_x}{m}; \quad \omega_2 = \frac{k_y}{m}; \quad \omega_3 = \frac{k_y \sum \Lambda^2 + k_x \sum B^2}{I_z}; \\ \omega_4 &= \frac{k_z}{m}; \quad \omega_5 = \frac{k_z \sum B^2 + k_y \sum C^2}{I_z}; \quad \omega_6 = \frac{k_x \sum C^2 + k_z \sum \Lambda^2}{I_y} \quad (2.31) \\ \mu_a &= \frac{k_y \sum A}{m}; \quad \mu_b = \frac{k_y \sum \Lambda}{I_z}; \quad \mu_l = \frac{k_z \sum A}{m}; \quad \mu_f = \frac{k_z \sum \Lambda}{I_y}. \end{aligned}$$

Власну частоту системи віброізоляції обчислюють таким чином:

$$f_0 = \sqrt{\frac{k_p}{40m}}, \quad (2.32)$$

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

$$\mu = \frac{1}{(\psi^2 - 1)}, \quad (2.33)$$

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

Ефективність системи віброізоляції визначають як

$$X = (1 - \mu) * 100\%. \quad (2.34)$$

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

2.5. Конструювання вузлів і приладів ВОК, що працюють в умовах електромагнітного впливу

При конструюванні електронної апаратури (ЕА) необхідно вирішувати питання забезпечення електромагнітної сумісності 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. 2.2.

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

2.5.1. Екранування вузлів і приладів ВОК

Екранування - це локалізація електромагнітної енергії у межах певного простору, що досягається шляхом перегородження поширення електромагнітної енергії всіма можливими засобами. Є 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, через провода, що з'єднують ці ланцюги.

Для екранування вузлів і приладів застосовують циліндричні екрани або екрани квадратного перерізу, до того ж вони можуть бути як одношаровими, так і дво- і тришаровими 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 [12], 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 $A_0(E)$ полів, 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 та відстані r до екрана при заданому послабленні. Остаточний вибір матеріалу визначиться такими факторами, як маса, жорсткість конструкції та 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 виходячи з рис. 2.15.

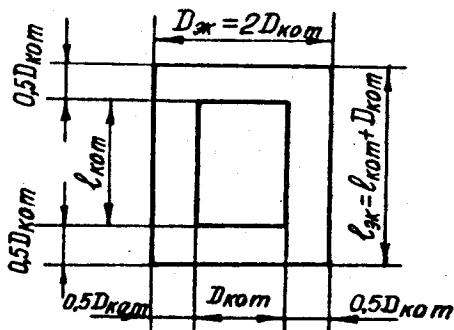


Рис.2.15. Розміри котушки та екрана

При розробленні конструкції екрана слід враховувати її особливості:

а) конструктивно екран містить декілька складових частин, які в процесі складання з'єднуються між собою рознімними або нерознімними 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 та ліній наведених в екрані струмів, тобто стик має бути спрямований уздовж цих ліній (рис. 2.16);

- 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. 2.17).

2.5.2. Екранування проводів

При використанні проводів з екрануючими обплетеннями (рис. 2.18) необхідно мати на увазі, що екран різко підвищує ємність провода відносно корпусу; обплетення, не з'єднане з корпусом, ніякого екранування не дає; екрановані проводи громіздкі та незручні для монтажу.

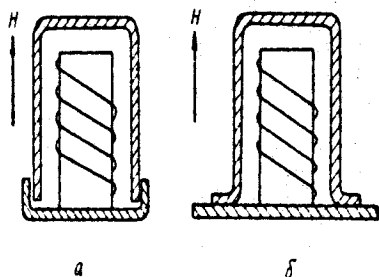


Рис. 2.16. Правильно (а) та неправильно (б) виконаний стик частин екрана

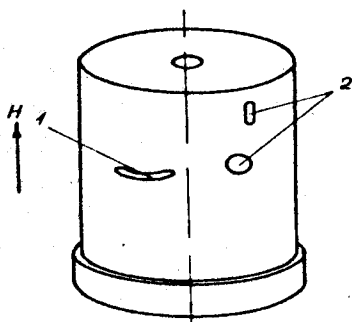


Рис. 2.17. Правильне (а) та неправильно (б) розміщення отворів в екрані

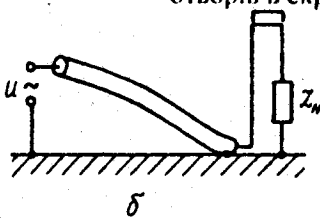
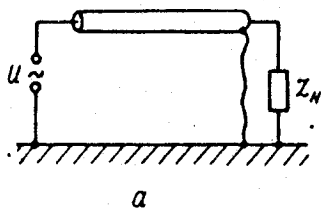


Рис. 2.18. Погане (а) і добре (б) екранування електричного поля провідника

Застосування проводів з екрануючими оболотками потребує виконання таких рекомендацій:

1. Для того щоб захистити зовнішній простір від впливу електричного поля, необхідно особливо ретельно виконувати з'єднання оболотки з корпусом. Тут зовсім недопустимі з'єднувальні проводи будь-якої довжини. Підключення оболотки 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 багатоблокової 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 та об'єднані в один кабель (окрім ланцюгів постачання), завдяки чому струми, що течуть в прямому та зворотному напрямках, будуть рівними, а результуюче магнітне поле – нульовим.

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

2.5.3. Заземлення елементів конструкції

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

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

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

При першому варіанті на печатних платах, касетах, з'єднувальних комутаційних платах виконується розвинута металізована поверхня, до якої присіднуються виводи мікросхем та інших елементів, а сама металізована поверхня з'єднується з корпусом приладу. Цей спосіб з'єднання схеми з корпусом приладу використовується у більшості радіопристроїв.

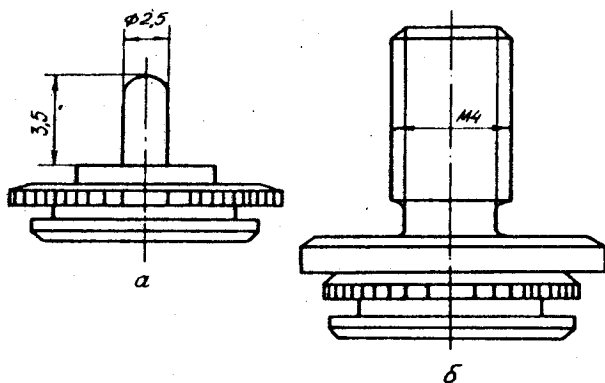


Рис.2.19. Приладові контакти заземлення: а – для круглого монтажної провід; б - з'єднання провід з наконечником за допомогою гайки

Другий варіант з'єднання застосовується 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 смугу прямокутного перерізу (товще 3 мм), яку закріплюють на ізоляторах, а один її кінець з'єднують з корпусом. До цієї шини підключають усі точки схеми з нульовим потенціалом. Шина приєднується 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. 2.19); біметалеві контакти - другий тип конструкцій "земляних" контактів (рис. 2.20); контакти, вирубані з корпусу блока (рис.2.21); контактні пелюстки (рис. 2.22); самонарізуючі гвинти з наступним паянням їх конусової головки до пелюстки (рис. 2.23); швелерні наконечники (рис. 2.24); затискачі заземлення (рис. 2.25). "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 тонколистового матеріалу (товщиною не більше 1 мм). Контактні пелюстки з плакованого алюмінію товщиною до 1,5 мм використовуються в корпусах, виготовлених штампуванням

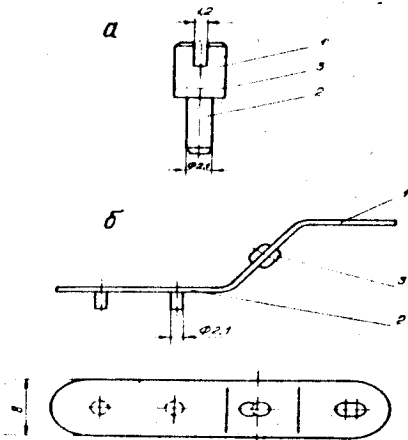


Рис. 2.20. Біметалеві контакти:
а – контакти типу "стовпчик";
б – пластинчастий контакт: 1 – мідь,
покрита припюсом ПСОС 61; 2 – алюмінієвий
сплав; 3 – місце зварювання

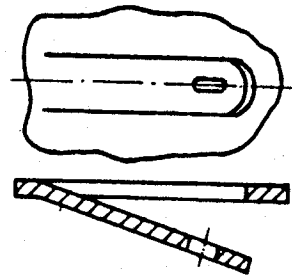


Рис. 2.21. Контактна
пелюстка, одержана
вирубкою листового
матеріалу

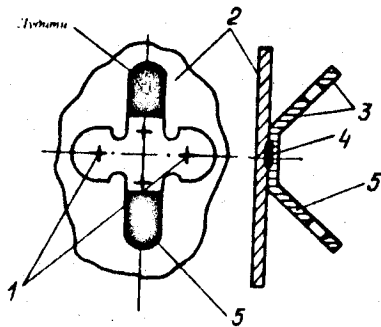


Рис. 2.22. Контактна пелюстка з
плакованого алюмінію, що
з'єднується з корпусом з
листового алюмінієвого сплаву
точковим контактним
електрозварюванням: 1 – місце
зварювання; 2 – корпус;
3 – лужена ділянка пелюстки;
4 – плакований шар міді;
5 – пелюстка

Пайка припюсом
ПСОС 61
(по контуру)

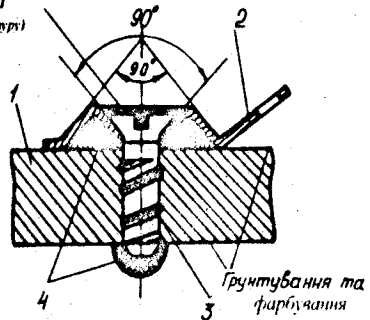


Рис. 2.23. Приспонування
пелюстки до литого корпусу
самонарізуючими гвинтами:
1 – корпус; 2 – пелюстка;
3 – гвинт; 4 – компаунд ЕЗК-6

з алюмінієвих або магнієвих листових матеріалів або виконаних методом лиття. З литим магнієвим корпусом контактний елемент з'єднують сталевим самонарізуючим гвинтом з наступним паянням його конусової головки до пелюстки. Швелерні наконечники застосовуються при великих струмах (більше 5 А), які течуть через контактний елемент заземлення. Затискачі бувають двох типів: легкокорозбірні (див. рис. 2.25, а), що відкручуються рукою, і розбірні (див. рис. 2.25, б), що відкручуються викруткою.

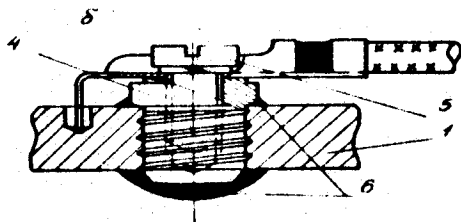
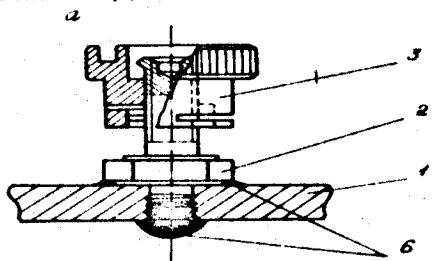
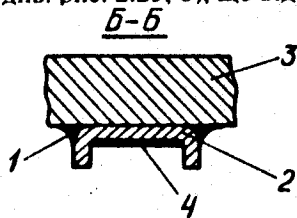


Рис. 2.24. З'єднання швелерного наконечника з алюмінієвим корпусом:
1 - компаунд ЕЗК-6;
2 - швелерний наконечник; 3 - корпус;
4 - плакуючий шар міді

Рис. 2.25. Розітніні затискачі заземлення:
а - легкокорозбірний затискач;
б - затискач під викрутку;
1 - корпус;
2 - гвинт затискача в тілі корпусу;
3 - гайка затискача;
4 - гніздо затискача в тілі корпусу;
5 - гвинт затискача;
6 - компаунд ЕЗК - 6

Конструкції контактів, їх установка на елемент корпусу блока та приєднання до них проводів повинні відповідати ОСТ 41 О.773.000, ОСТ 41 О.483.000, ОСТ 4 209.004-78, а конструкція й розміри приладових шин заземлення - ОСТ 41 О.483.001.

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

2.5.4. Застосування фільтруючих чарунок

Для зниження напруги високочастотних наводок у проводах, які виходять з екрана, в ці проводи вмикають фільтруючі (розв'язувальні) чарунки, складені з опорів, увімкнених послідовно в один із проводів, і опорів, увімкнених паралельно між проводом і екраном (корпусом) (рис. 2.26).

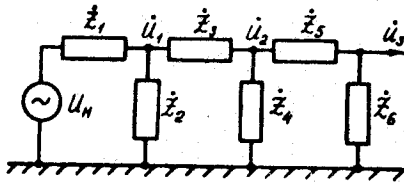


Рис. 2.26. Загальна схема фільтруючого ланцюга

При конструюванні фільтруючих чарунок необхідно враховувати такі рекомендації:

- 1) як послідовні опори Z_1, Z_3, \dots фільтруючого ланцюга застосовуються недротові постійні резистори (великої величини);
- 2) коли не допускається увімкнення великих опорів, встановлюються котушки індуктивності (дроселі);
- 3) у фільтруючих чарунках не слід використовувати великі індуктивності, а їх власну резонансну частоту треба підбирати так, щоб вона була вища або не більше ніж на 20 ... 30% нижче найвищої з частот, що придушуються [14];
- 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 і 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 фільтруючих 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 фільтруючих чарунок слід керуватися такими правилами: а) якщо фільтруючий ланцюг проводить великий струм при низькій напрузі, то необхідно застосовувати фільтруючі чарунки з малими індуктивностями й великими ємностями; б) якщо фільтруючий ланцюг працює на високій напрузі, то застосовують максимально допустимі індуктивності або опори й невеликі ємності; в) при виборі схеми та конструкції фільтруючих 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 замикаючих контактів реле та перемикачів, а також для проводів постачання слід розміщувати ланцюги фільтрації безпосередньо біля стінки корпусу.

2.5.5. Забезпечення перешкодостійкості печатних плат електронних модулів

Широке застосування логічних і аналогових мікросхем різного рівня інтеграції та мікроскладань (МС) ставить 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 та заземлення; викривлення форми сигналу в ІС і лініях зв'язку; наводки від зовнішніх електричних, магнітних і НВЧ електромагнітних іхтів та ін. Зв'язок між джерелом і приймачем наводки через загальний опір, що є видом паразитного зв'язку, який зустрічається

найчастіше, може виникнути при використанні для присіднання до корпусу пелюстки загального проводу, невдалої конфігурації печатного провідника. На рис. 2.27 показано ділянки, на яких виділяється напруга наводки.

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

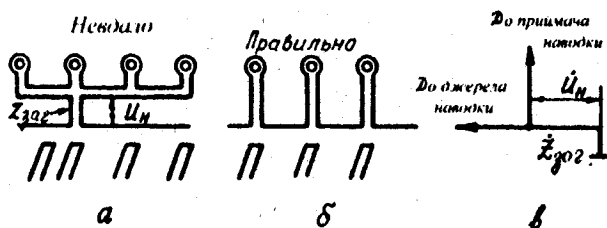


Рис. 2.27. Ділянки провідників, на яких виділяється напруга наводки

Паразитні ємності між печатними провідниками, паразитна індуктивність цих провідників і довжини шин заземлення не повинні перевищувати допустимих значень, наведених у праці [15].

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

1) при конструюванні міжз'єднань і монтажі слід виконувати вимоги раціонального розведення печатних плат і блоків з урахуванням перешкодостійкості;

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

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

4) паразитні зв'язки між паралельними печатними провідниками можуть бути зменшені за рахунок введення між ними скранувальних заземлених провідників (часткового скранування);

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

6) у процесі компоновки корпусів ІС на платі та розведення печатних провідників слід збільшувати відстань між сусідніми провідниками і розміщувати провідники в сусідніх шарах у взаємно перпендикулярних напрямках;

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

8) за наявності в модулях і мікроскладаннях незадіяних кінцевих контактів їх з'єднують з шинами заземлення та розміщують між сигнальними виводами;

9) 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;

10) у випадку перевищення рівня перешкод понад допущені для ІС норм на печатних платах встановлюють конденсатори фільтрів низької та високої частот;

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

2.6. 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 та біологічного середовища.

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

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

2) нанесення захисних покриттів на поверхні деталей та 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 вологопоглиначів силікагелю;

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

2.6.1. Захищені покриття

Для забезпечення вологостійкості апаратури використовують стійкі антикорозійні покриття, покриття, що зберігають поверхню від плісняви, плівкові покриття лаками, смолами, фарбами та компаундами.

Для захисту поверхні металевих виробів застосовують 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.

Найрозповсюдженішим способом захисту металевих поверхонь від корозії є фарбування ґрунтами з наступним покриттям лакофарбовими матеріалами.

Захист виробу від плісняви здійснюється уретановими лаками та лаками з введенням в них протипліснявими отрутами - фунгіцидами. Плівкові покриття створюють на поверхні матеріалу тонкий шар лаку. Вони захищають матеріал 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. Плівковому покриттю ізоляційними лаками та емалями підлягають багато функціональних вузлів печатного монтажу, мікромодулів та мікросхеми.

Різні моткові вироби, деталі з гігроскопічних, пористих та волокнистих матеріалів просочують епоксидними смолами, кремнійорганічними, фторорганічними та поліефірними рідинами.

Залівка елементів електронної апаратури проводиться, як правило, епоксидними смолами у чистому вигляді з наповнювачами

(маршаліт, тальк та ін.). З метою зниження ваги залитого вузла застосовують пінисті заливальні матеріали - пінополіуретани.

Захисні покриття вибирають з урахуванням функціонального призначення, деталі (вузла), тривалості та характеру впливу навколишнього середовища (вологи, агресивних газів, радіації, тепла). Деталі, призначені для використання всередині блоків, повинні захищатися металевими покриттями, оксидними або фосфатними плівками, які одержують на поверхні металевих деталей шляхом окислення або фосфатування основного металу. Поверхні

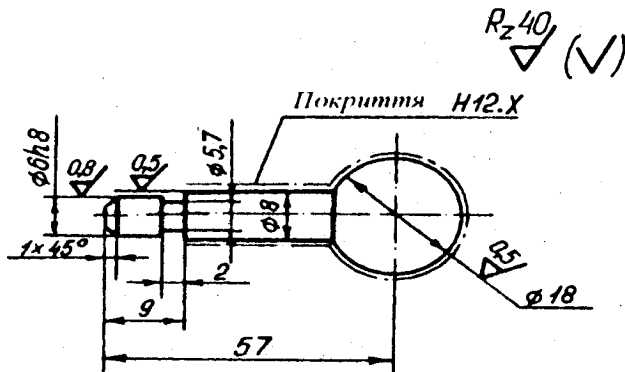


Рис. 2.28. Приклад проставлення на кресленнях позначень покриттів поверхні

деталей, що безпосередньо стикаються із зовнішнім середовищем, захищають лакофарбовим покриттям з попереднім оксидуванням або анодуванням. Особливо це стосується деталей з алюмінієвих і магнієвих сплавів. Гальванічні покриття як підшар для лакофарбових покриттів використовувати не рекомендується. Всі зварені та клепані шви, щоб уникнути корозії, повинні захищатися багатошаровими лакофарбовими покриттями.

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

Лакофарбові покриття металевих поверхонь, які виготовляються 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. 2.28.

2.6.2. Герметизація електронної апаратури (ЕА)

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 та механічних пошкоджень.

Для часткової герметизації електронної апаратури застосовують пропитку, просочування, обволікання та заливку 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 оточуючого барометричного тиску. Литий герметизований корпус складається з двох частин, які з'єднуються за допомогою фланцевого з'єднання (рис. 2.29).

Таблиця 2.8

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

На стиці між поверхнями необхідна беззазорність, яка досягається застосуванням прокладок, як правило, гумових. Умовою непроникності герметичного з'єднання є збереження незмінним контактного тиску між ущільнювальною прокладкою та поверхнями, що стикаються. Гумові прокладки слід використовувати суцільними, переважно круглого перерізу. При ущільненні нерухомих з'єднань (корпуса, кожуха та ін.) діаметр d перерізу тороїдальної прокладки вибирається за табл. 2.8 залежно від її внутрішнього діаметра D (рис. 2.30, а).

Для авіаційних вузлів застосовується, як правило, прямокутний тип гнізд для укладання гумових тороїдальних прокладок (рис. 2.30, б). Розміри гнізд для гум з твердістю 40... 50 за Шором такі [16]: $l = 2,1... 8,5$ 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 зазору призводить до витікання гуми в зазор і прискореного руйнування прокладки. На рис. 2.31 зображено фрагменти конструкцій з правильним і неправильним укладенням гумових прокладок. Для забезпечення ущільнення на всій поверхні потрібен жорсткий допуск на ексцентриситет. На всіх деталях, які

при обробленні вставляються в гумову прокладку або протягуються через неї, необхідно знімати фаску.

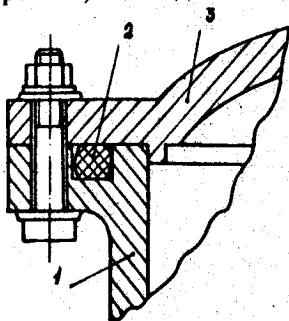


Рис. 2.29. Вузол з додатковим самоущільненням фланцевого з'єднання герметизованого корпусу: 1 – корпус; 2 – герметизуюча прокладка; 3 – фланець

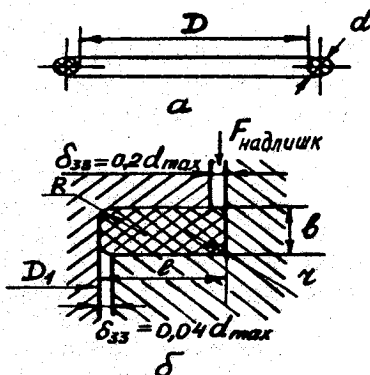


Рис. 2.30. Розміри тороїдальних прокладок (а) і гнізд (б) для їх укладання

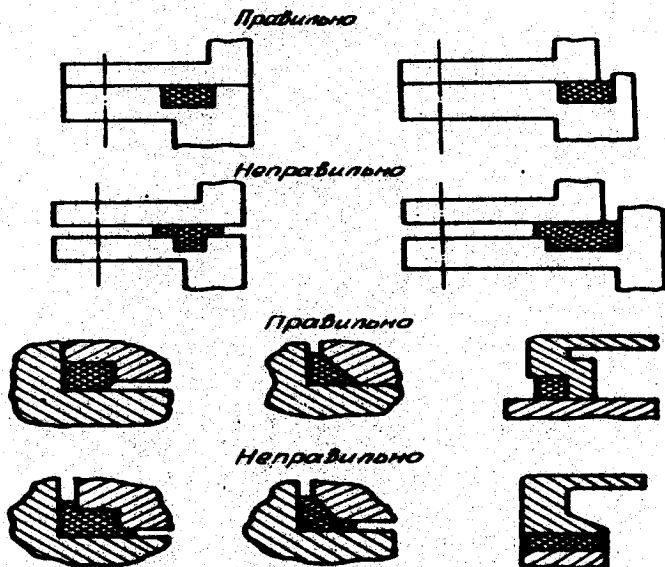


Рис. 2.31. Правильно і неправильно виконані конструкції ущільнювальних стиків корпусів і кришок

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 (якщо застосування мастила небажано).

Для ущільнення виходу валика використовують фетрові або фторопластові сальники (рис. 2.32). Необхідною умовою роботи сальника є відсутність биття при обертанні валика та 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. 2.33), що виготовляються за формою самого елемента, або сільфонів.

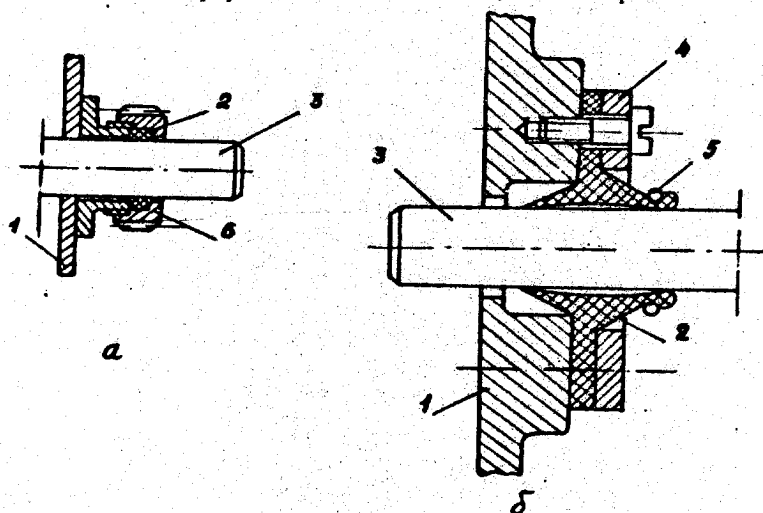


Рис.2.32. Ущільнення валиків герметизованої електронної апаратури за допомогою азбестового (а) і фторопластового (б) сальників: 1 – корпус; 2– сальник; 3– валик; 4– притискний фланець; 5– пружинне кільце; 6– накидна гайка

Для ущільнення оглядових стекол індикаторів або пристроїв використовують прокладки або джгути, сформовані з гуми. У невеликих приладах оглядові стекла 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 розповсюдження одержали гермопрохідники на базі узгоджених спаїв металу зі склом (наприклад, із сплаву П29К18 (ковар) зі склом С48-2). У мікроелектронній апаратурі при використанні безкорпусних мікросхем і мікроскладань з метою зменшення габаритів роблять загальну герметизацію всього блока за допомогою паяного з'єднання корпусу блока та кришки. На рис. 2.34 зображено схему конструкції такого ущільнення. Корпус і кришка

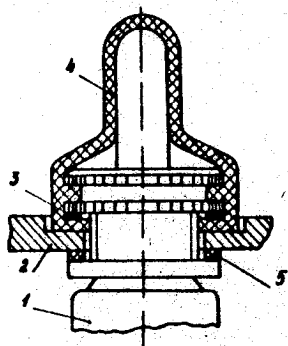


Рис. 2.33. Ущільнення рукоятки тумблера за допомогою гумового ковпачка: 1- тумблер; 2- лицьова панель; 3- металева шайба; 4- ковпачок; 5- гумова прокладка

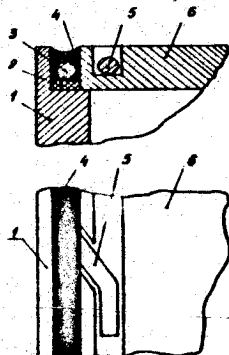


Рис. 2.34. Герметизація корпусу блока мікроелектронної апаратури: 1- корпус; 2- гумова прокладка; 3- лужений дріт; 4- припій; 5- вільний кінець дроту; 6- кришка

виготовлені з алюмінієвого сплаву. Поверхні, повернуті до герметизованого шва, попередньо покривають шаром олова. 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 прокладки розміщують 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 припоем (ПОС-40, ПОС-61). Один кінець дроту залишають зовні й укладають у паз кришки. Гумова

прокладка не дозволяє припоєю затекти на дно паза і захищає внутрішній об'єм блока від проникнення газів у момент паяння. При проведенні ремонту дрiт за вільний кiнець виривають з паза й легко виймають кришку з корпусу.

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

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

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

Згідно з ГОСТ 14254-80 міра захисту виробу від проникнення всередину пилу та води позначається IP та 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: IPX4, IP5X.

2.7. Конструювання електромеханічних та електронних приладових пристроїв з урахуванням теплових впливів

Широке використання мікросхем і мікроскладань, що дозволило значно збільшити густину компонування та скоротити обсяг електронної апаратури (ЕА), привело 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 по охолодженню електронної апаратури. Під охолодженням розуміють процес відведення та 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.

2.7.1. Методи охолодження при конструюванні приладових пристроїв

За видом теплоносія системи охолодження розподіляються на повітряні, рідинні та випарні. Найбільша інтенсивність передачі тепла характерна для випарних систем, найменша - для повітряних. За характером руху теплоносія розрізняють системи примусового та природного руху охолоджувального середовища. Основна доля перенесення тепла в цих системах відбувається за рахунок конвекції, спостерігається також перенесення тепла за рахунок випромінювання та теплопровідності. Наприклад, у конструкціях електронної апаратури при нормальних кліматичних умовах і природному охолодженні близько 70% тепла відводиться за рахунок конвекції, приблизно 20% - шляхом випромінювання і 10% - за рахунок теплопровідності. Під час вибору метода 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 $q \leq 0,2 \text{ Вт/см}^2$, примусово-повітряного охолодження - $q \leq 1 \text{ Вт/см}^2$, рідинного охолодження - $q \leq 20 \text{ Вт/см}^2$ і випарного охолодження - $q \leq 200 \text{ Вт/см}^2$.

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 встановити тепловиділення всіх елементів і віднести його до площини поверхні цього блока. Якщо електронна апаратура виконана у вигляді стояка з блоками, то попередню оцінку теплового режиму апаратури при повітряному охолодженні можна проводити за діаграмою, зображеною на рис. 2.35.

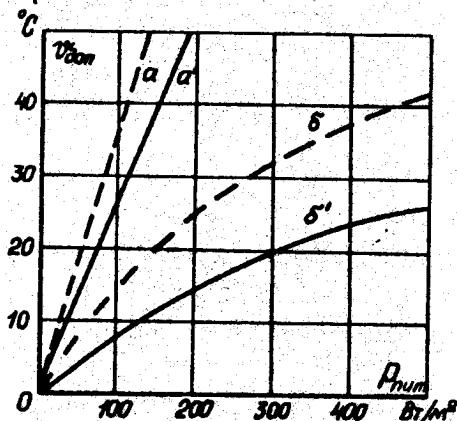


Рис.2.35. Діаграма для приблизного оцінювання теплового режиму електронної апаратури при повітряному охолодженні

Користування показаною діаграмою зводиться до такого:

1. Обчислюють питому потужність $P_{\text{пит}}$, тобто потужність, що приходить на одиницю поверхні:

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

$$P_{\text{пит}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{2(L_1 \cdot L_2 + L_2 \cdot L_3 + L_1 \cdot L_3)}, \quad (2.35)$$

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 більш ніж 15%, то

$$P_{\text{пит}} = \frac{P_{i \text{ макс}}}{2H_i(L_1 + L_2)}, \quad (2.36)$$

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

2. Визначають допустиме перегрівання усередині блока:

$$V_{\text{доп}} = t_{\text{доп}} - t_c, \quad (2.37)$$

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

3. Для розрахованих значень $P_{\text{пит}}$ 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 потраплянні 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 теплонавантаженість 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. 2.36).

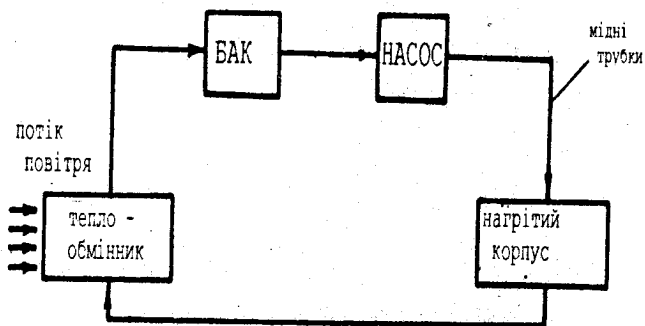


Рис. 2.36. Схема системи примусового рідинного охолодження електронної апаратури

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 короткочасній 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 теплова трубка, яка являє собою вакуумовану трубку, заповнену рідиною (рис. 2.37). 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 забезпечується повернення рідини до нагрітого кінця через капіляри в покритті (гніті). Положення таких трубок у конструкції може бути будь-яким.

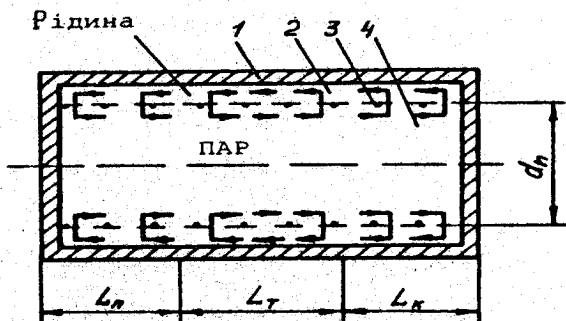


Рис.2.37. Низькотемпературна тепла труба:
 1 – герметичний корпус; 2 – гніт; 3 – пружина, що притискує гніт до стінок корпуса; 4 – паровий канал; d_p – діаметр парового каналу; L_p , L_t , L_k – довжина випарної, транспортної та конденсаторної ділянок відповідно

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.

2.7.2. 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 контакта залежить від таких факторів: шорсткості поверхні з'єднувальних елементів, величини контактного тиску та з'єднуваних 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.

Під час вибору матеріалів конструкційних з'єднань слід враховувати, що малий контактний тепловий опір забезпечують мідь, алюміній, свинець, а також кадмієві та олов'яні покриття. У герметичній конструкції мають бути добрі теплові контакти між внутрішніми елементами та 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. 2.38).

У герметичних конструкціях порівняно невеликих розмірів замість гумових прокладок іноді використовують свинцеві, які забезпечують добрий тепловий контакт. Для створення теплового контакту шасі із зовнішньою поверхнею корпусу застосовують бронзові пластинчасті пружини (рис. 2.39). Гвинтові з'єднання забезпечують добрий тепловий контакт при великих навантаженнях, тому доцільно використовувати гвинти великого діаметра (більше 4 мм).

При конструюванні чарунк і блоків необхідно враховувати такі вимоги:

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

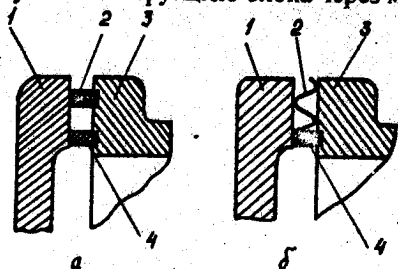


Рис.2.38. Забезпечення теплового контакту між передньою панеллю і кожухом за допомогою металевго шнура (а) і пластинчастої пружини (б): 1 - передня панель; 2 - металевий шнур (а); пластинчаста пружина (б); 3 - кожух; 4 - гумова прокладка

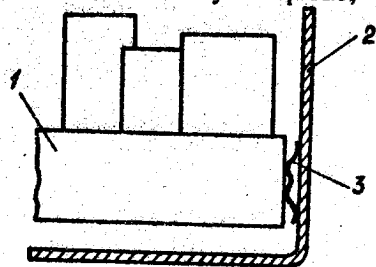


Рис.2.39. Розміщення пластинчастої пружини, яка здійснює тепловий контакт між кожухом і шасі: 1 - шасі; 2 - кожух; 3 - пластинчаста пружина

2) при герметичному виконанні кожух електронного блока, як правило, виготовляють з листового алюмінієвого сплаву або з листової сталі, оскільки ці матеріали мають досить велику теплопровідність;

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

4) тепловіддавальні поверхні чарунок і блоків слід покривати гальванічними та лакофарбовими покриттями, міра чорноти яких має бути $\epsilon \geq 0,9$.

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 та 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, мікроскладань і дискретних електрорадіоелементів доцільно розташовувати правильними геометричними рядами по осях X і Y, забезпечуючи тим самим формування повітряних каналів з найменшим гідравлічним опором (рис. 2.40);

9) чарунки в блоках необхідно встановлювати вертикально (паралельно або перпендикулярно до лицьової панелі) і таким чином, щоб найменшим був розмір по вертикалі, тобто у напрямі руху охолоджувального повітря (рис. 2.40);

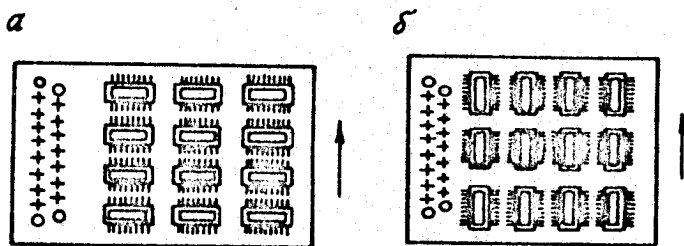


Рис. 2.40. Орієнтація мікросхем відносно вихідних контактів без урахування напрямку повітряного потоку (а), з урахуванням напрямку повітряного потоку (б)

10) з метою створення достатнього за шириною повітряного каналу та збільшення конвективного теплообміну відстань $\Delta\Pi$ між крайніми точками корпусів мікросхем і мікроскладань для сусідніх чарунок рекомендується вибирати не менше 5 мм (рис. 2.41);

11) при виборі габаритних розмірів блока слід враховувати явище камінного ефекту - у корпусів меншої висоти (при тій же поверхні й об'ємі) температури джерел тепла, корпуса, 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 донною поверхнею та поверхнею, на якій встановлено прилад, має бути достатньою відстань ΔY : для приладів $\Delta Y \geq 30$ мм, для приладових шаф і стояків $\Delta Y \geq 60$ мм (рис. 2.42);

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. 2.42).

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

Розташування отворів залежить від розподілення теплонавантажених елементів у об'ємі блока. Так, наприклад, при рівномірному їх розподілі вентиляційні отвори теж рівномірно в шаховому порядку розміщені на відповідних частинах кожуха. Діаметри зазначених отворів вибирають з таких міркувань: для невеликих блоків із загальною площиною поверхні до 3000 см² діаметр вибирають близько 6 мм, а для блоків з площиною поверхні 6000 см² і більше - 12 мм. Коли товщина стінок кожуха не забезпечує необхідної жорсткості, замість отворів застосовують жалюзі, форма та розміри яких уніфіковані (табл. 2.9).

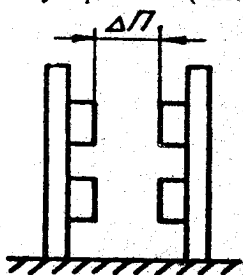


Рис. 2.41. Розміщення сусідніх чарунок електронної апаратури

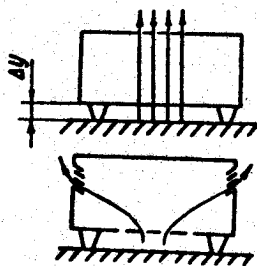


Рис. 2.42. Розміщення повітряних каналів у приладах

Таблиця 2.9

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

Тут b - ширина жалюзі, а l - її довжина. Використання жалюзі,

збільшуючи жорсткість стінок корпусу, погіршує теплообмін приблизно на 10% порівняно з отворами.

Замість перфорації у верхній частині кожуха часто роблять вікно, яке займає до 70% всієї площини цієї частини кожуха і 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 за умовами 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 протікає;
- забезпечувати гарний доступ холодного повітря до теплонавантажених елементів;
- запобігати потрапленню 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 та 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 у 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 встановлювати у приладові стояки та шафи тільки у випадку високого опору в них потоку повітря;
- не перевищувати максимально допустимій швидкості ($\omega_{\text{max}} = 4 \text{ м/с}$) повітря усередині блока або приладової шафи;

- задовольняти основні рекомендації, характерні для конструкцій чарунок 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 використовуються 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 поздовжнім розташуванням ребер, радіатор із зигзагоподібним розташуванням ребер, радіатор з "крильцями", "зірочка", ребристий, двобічний штирьовий, гольчасто-штирьовий радіатори, гольчастий та спіральний радіатори.

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

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

Для радіаторів використовують матеріали, які мають гарну теплопровідність і малу питому вагу, як правило, алюміній та його сплави (Амц, Д16, А12 та ін.), магнієві (МА1, МА8) і берилієві сплави. Ребристі та штирьові радіатори виготовляють литтям або фрезеруванням із суцільної заготовки. Для підвищення тепловіддачі випромінюванням поверхню радіатора фарбують темною матовою фарбою або піддають травленню та оксидуванню 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 хорошою теплопровідністю, наприклад поліметилсилоксанові рідини.

Між корпусом напівпровідникового приладу та радіатором не доцільно 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 встановлюють 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.

2.8. Радіаційний вплив і конструювання приладових пристроїв

2.8.1. Джерела іонізуючого випромінювання

Основними джерелами іонізуючих випромінювань (ІВ) є: ядерний вибух, ядерні енергетичні та силові установки, космічний простір. За характером випромінювання розрізняють корпускулярні та електромагнітні іонізуючі випромінювання. Корпускулярні утворюються елементарними частинками: нейтронами, протонами, електронами, бета- і альфа-частинками та осколками ділення ядер; електромагнітні - це рентгенівське та гамма-випромінювання, а також світлове (теплове) випромінювання та електромагнітний імпульс ядерного вибуху. При цьому слід враховувати, що бета- і альфа-частинки мають слабку проникну здатність. Найсильніший вплив на функціонування апаратури мають нейтрони та 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 і захвату нейтронів, поширюються в просторі зі швидкістю світла, загасаючи знов обернено пропорційно квадрату відстані. Тому захист апаратури від впливу нейтронів є більш складним завданням, ніж захист від гамма-квантів.

Застосування ядерних установок як двигунів літальних апаратів і ракет дозволило забезпечити їх високу енергоозбросність порівняно з літальними апаратами на хімічному паливі і з сонячними елементами. Проте наявність ядерних установок на об'єкті призводить до того, що на його апаратуру і електрорадіовироби можуть впливати іонізуючі випромінювання протягом досить тривалих періодів часу. При цьому до складу випромінювань входять нейтрони, гамма-випромінювання, бета-випромінювання та рентгенівські промені.

Джерелами іонізуючих випромінювань у навколосемному просторі є потоки космічних променів, створені галактичними космічними променями (ГКП) та космічним випромінюванням Сонця (СКВ), 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- та гамма-випромінювання. Через низьку густину потоку галактичних космічних променів ці частинки викликають малу небезпеку для апаратури. СКВ - це протони, ядра гелію та більш важких елементів, електрони, рентгенівське та радіовипромінювання. Космічне випромінювання Сонця виникає тільки в період сонячної активності і 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, які й створюють радіаційні пояси Землі.

2.8.2. Особливості впливу іонізуючого випромінювання на електрорадіовироби та апаратуру

Вплив іонізуючого випромінювання може викликати суттєві зміни характеристик електронної апаратури, оборотні і необоротні порушення її працездатності. Тому при проєктуванні 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 ефект зміщення - це переміщення атомів із свого нормального положення в кристалічній решітці матеріалу. Це викликає структурні дефекти кристалічної решітки: наявність вільних

положень (вакансій) в 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. Іонізаційні ефекти зумовлені іонізацією та збуджуванням атомів речовини, тобто пов'язані з утворенням вільних носіїв, які спричиняють виникнення струмів витоку, надмірних іонізаційних струмів. Це, в свою чергу, може викликати 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 викликає появу короткочасних міжелектродних провідностей та первинних фотострумів. У результаті цього виникають хибні електричні сигнали на виході схем, перегріваються та згоряють транзистори. Вплив нейтронного імпульсу приводить до змін основних параметрів напівпровідникових приладів, наприклад, зміни вольт-амперних характеристик діодів, причому змінюються і зворотний струм, і напруга пробую.

Під час вибору напівпровідникових приладів слід враховувати такі особливості впливу іонізуючого випромінювання: 1) зворотні струми колекторного та 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 збільшення прямого, а у германієвих - зменшення зворотного опорів діодів.

При впливі іонізувального гамма-випромінювання в інтегральних мікросхемах усі зворотно-зміщені переходи генерують фотоструми. Ці іонізаційні ефекти приблизно на порядок більші, ніж у схемах на дискретних елементах. Вплив нейтронного, електронного, протонного та гамма-випромінювань призводить до необоротних змін параметрів інтегральних мікросхем. Порушення їх працездатності виникає за рахунок змін коефіцієнтів посилення транзисторів цих мікросхем, причому для лінійних мікросхем він 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 їх сміст. Більш стійкими до впливу нейтронного потоку є високочастотні керамічні, склокерамічні, скляні та слюдяні конденсатори. Найбільш радіаційно стійкі керамічні конденсатори. Електролітичні конденсатори мають невисоку радіаційну стійкість, з них найменш стійкі сухі алюмінієві фольгові і танталові рідинні конденсатори. Конденсатори з органічним діелектриком (паперові, полістиролові, лавсанові, триацетатні, фторопластові) мають знижену стійкість до іонізуючого випромінювання.

При впливі нейтронів відбувається зміна опору резисторів, як правило, в бік його збільшення. Найбільш стійкі до впливу іонізуючого випромінювання керамічні та дотові 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 дотових - 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 викликає зміни проникності, коерцитивної сили, остаточної намагніченості, але не призводить до списання інформації як з феритових осердь, так і з пристроїв пам'яті на стандартних кубах пам'яті.

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

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

Вплив ІВ у деяких випадках може викликати 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 та магнітні матеріали. Такі метали, як бор, марганець, кобальт, кадмій, цинк, молібден, після опромінювання тепловими нейтронами стають джерелами повторного іонізуючого випромінювання.

При опромінюванні стекел змінюються їх оптичні властивості та колір.

При впливі радіації на апаратуру в цілому відбувається 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, в свою чергу, призводить до хибних спрацьовувань, перекручення імпульсних послідовностей, втрати записаної інформації та ін.

2.8.3. Конструювання радіаційно-стійкої апаратури

При проектуванні радіаційно-стійкої апаратури необхідно вміти раціонально вибирати електрорадіовироби для комплектації апаратури та застосовувати спеціальні схеми, структурно-функціональні рішення, конструктивні заходи. Можна виділити такі основні шляхи, спрямовані на підвищення радіаційної стійкості електронної апаратури [11, 17]:

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

2. Необхідно підвищувати стійкість апаратури за рахунок зміни структури сигналів, наприклад, використання дискретних принципів обробки 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, відновлюючі 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. 2.43). 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 від тривалості хибних імпульсів.

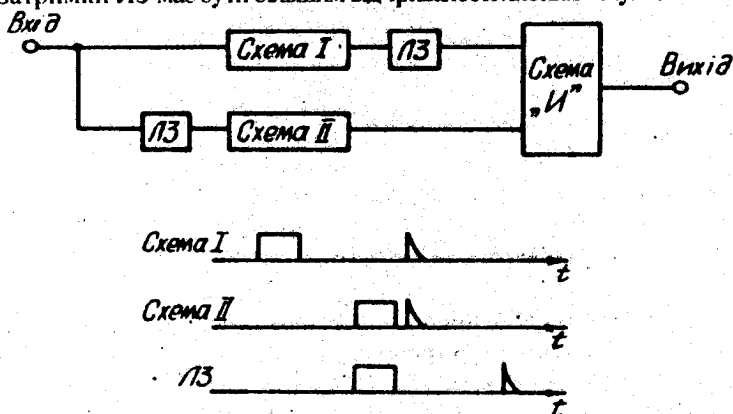


Рис. 2.43. Схема та часові діаграми пристрою, що використовує принцип резервуванням зі зсувом у часі робочих сигналів у резервних каналах

Другим 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, викликаних дією іонізуючого випромінювання.

5. Забезпечення стійкості апаратури до впливу нейтронів і гамма-випромінювань на етапі складання функціональної та принципової схем у першу чергу слід здійснювати шляхом попереднього вибору комплектуючих виробів електронної техніки та електротехніки, які мають радіаційну стійкість, що відповідає заданим вимогам; при цьому необхідно враховувати особливості впливу іонізуючого випромінювання на електрорадіовироби і апаратуру, розглянуті в підрозд. 2.8.2, 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 та опори, наприклад, застосовувати резистори з $\Gamma_{\text{ном}} < 10 \text{ кОм}$, а високоомні резистори захищати залівкою або опресуванням епоксидною смолою.

8. Усюди, де це можливо, потрібно використовувати логічні схеми, що працюють у режимі насичення, пасивні елементи (індуктивності, трансформатори) та 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. При 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. 2.44).

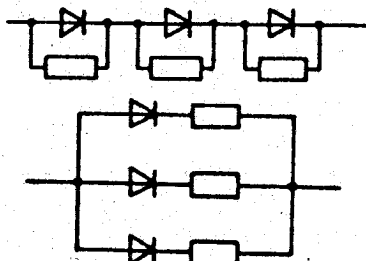


Рис. 2.44. Послідовне і паралельне ввімкнення діодів у радіаційно-стійкій апаратурі

11. При розробці принципових 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 та за перешкодостійкістю.

13. При виборі ненасиченого режиму роботи транзисторів слід забезпечити максимальний струм бази та 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 принципових 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, викликані 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 та в 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 й 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 розробці 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 використовувати загальне екранування та локальний захист окремих компонентів апаратури багат шаровими екранами із таких матеріалів, як свинець, графіт, бор, нержавіюча сталь.

22. Поряд із спеціальними захисними оболонками і 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 і з'єднаннями схем апаратури доцільно розміщувати вузли або блоки у вакуумованих контейнерах або відсіках.

3. КОНСТРУЮВАННЯ ОСНОВНИХ ДЕТАЛЕЙ І ВУЗЛІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

3.1. Конструювання корпусів блоків вимірювально-обчислювальних комплексів

Основним елементом при функціонально-блоковому конструюванні електронної апаратури є блок, який об'єднує касети, чарунки, печатні плати та інші елементи нижчих структурних рівнів. Відмітною 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 створюють блоки, що входять до неї.

Конструкції блоків, стояків та інших базових несучих конструкцій розробляються і випускаються за конкретними умовами експлуатації. За застосованими конструкціями 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 колесний хід; 5) апаратура, призначена для розміщення на носіях, що мають гусеничний хід; 6) морська апаратура; 7) літакова та вертолітна апаратура.

Усередині кожного виду апаратури проведено уніфікацію базових несучих конструкцій вищих структурних рівнів. Зараз промисловістю розроблено і 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 [15], і тактико-технічних вимог до апаратури.

При конструюванні шаф, стояків, рам блоків, панелей і каркасів ЕОМ слід урахувати вимоги і рекомендації, розглянуті у працях [18, 19, 20]. 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 компонованні та конструюванні блоків і приладових шаф широко застосовуються рознімний і книжковий варіанти блоків у герметичному й негерметичному виконанні. Кожен з них має свої переваги та недоліки. Варіант рознімної конструкції (див. рис. 2.3) забезпечує легkozнімність модулів, простоту конструкції й електричних з'єднань. Книжковий варіант конструкції (див. рис.2.4) забезпечує високу густину і ефективне використання об'єму блока, вільний доступ до мікросхем і мікроскладань, навісних елементів і монтажних електричних з'єднань, які знаходяться у ввімкненому стані.

Пристаюючи до розроблення апаратури, конструктор повинен поділити принципovu 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 інше 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. 2.3) бувають малі (М), короткі (К), середні (С) і довгі (Д), малі низькі (МН) і короткі низькі (КН) [1]. Ширина блока може дискретно змінюватися в межах від 57 до 390 мм і визначатися залежністю

$$B_1 = B_n + (n - 1) \Delta, \quad (3.1)$$

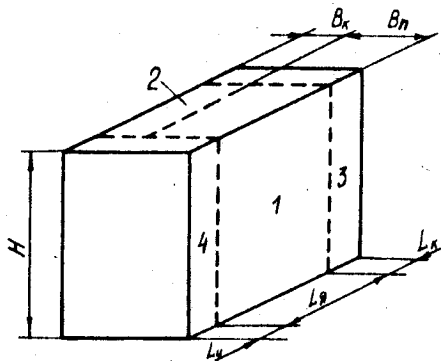


Рис. 3.1. Конструктивні зони блока рознімної конструкції

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 поділяються на низькі (H) - 88 мм і високі (B) - 194 мм. Так, блок позначений 2МН, має ширину 124 мм, висоту 88 мм.

Як приклад розглянемо вибір блока рознімної конструкції (рис. 3.1), в якому можна виділити кілька зон.

Зона 1, що є корисним об'ємом блока, призначена для розміщення чарунок і має довжину L_4 .

Зона 2 необхідна для розміщення елементів комутації чарунок, її характерний розмір B_k визначається використовуваним типом з'єднувачів і вибраним варіантом монтажу.

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 встановлюється складність апаратури N_a , із величини якої визначається кількість чарунок N_4 . Висота чарунки знаходиться із нормативних документів, наприклад ОСТ 4ГО.010.009-84. Розміри печатної плати у цьому випадку визначені типом чарунки і будуть B_n , L_n . Ширина блока вибирається виходячи з ширини печатної плати B_n і ширини зони комутації B_k :

$$B = B_n + B_k \quad (3.2)$$

Звичайно в блоках мікроелектронної апаратури $V_k = 30 \dots 40$ мм. Довжина пакета чарунок визначатиметься кількістю чарунок N_q та їх висотою H_q :

$$L_q = N_q H_q. \quad (3.3)$$

Довжина блока в цьому випадку

$$L = N_q H_q + L_k + L_y. \quad (3.4)$$

Вона визначається його типом і звичайно 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.

3.2. Конструювання штампованих, пресованих і литих деталей

Більшість елементів несучих конструкцій виконують методом штампування або лиття під тиском з магнієвих або алюмінієвих сплавів, що забезпечує малу масу цих конструкцій.

Найпоширенішими є несучі конструкції електронної апаратури на основі штампованих деталей, тому що штампування з листових матеріалів забезпечує малу трудомісткість і вартість виготовлення, високу точність розмірів.

Для виготовлення штампованих деталей застосовують дві групи технологічних операцій: роздільні та формотвірні.

До першої групи належать операції відрізання, вирубування, пробивання, надрізання, що використовуються переважно для плоских деталей, наприклад, для одержання жалюзі в корпусах, кожухах електронної апаратури (рис. 3.2).

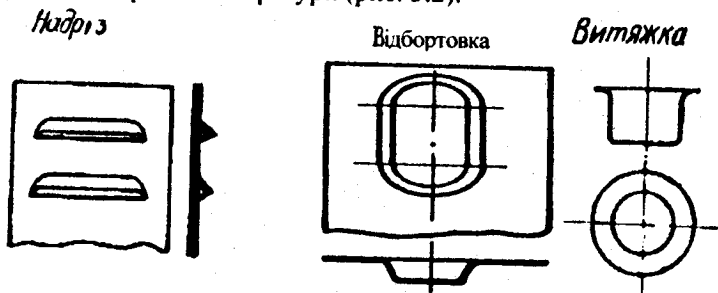


Рис. 3.2. Одержання жалюзі в корпусах електронної апаратури

Рис. 3.3. Формотвірні операції штампування

До другої групи належать операції згинання та витяжки, а також відбортовки, видавлення, висадки та ін., наприклад, відбортовка отворів, виготовлення витяжкою деталей з фланцем (рис. 3.3).

При конструюванні штампованих деталей необхідно враховувати такі рекомендації:

1. Мінімальні розміри елементів конфігурації вирубуваного контуру для деталей, виготовлених шляхом вирубування та пробивання, повинні в два і більше разів перевищувати товщину листа (рис. 3.4).

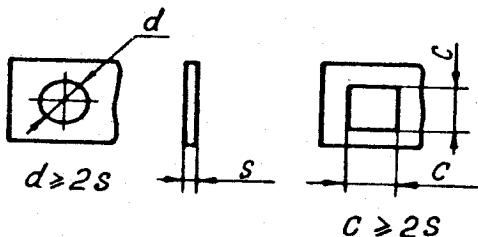


Рис.3.4. Мінімальні розміри елементів вирубуваного контуру й отворів залежно від товщини листа

2. Мінімальні відстані між отворами, що пробиваються, між отвором і краєм деталі треба вибирати виходячи з товщини матеріалу (рис. 3.5). Порушення зазначеної умови робить конструкцію деталі менш технологічною через швидке спрацювання штампа.

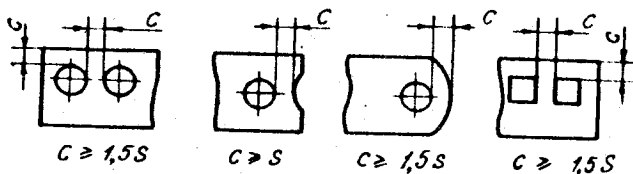


Рис. 3.5. Мінімальні відстані між отворами, що пробиваються, та краєм деталі залежно від товщини листа

3. При проставлянні розмірів на кресленнях слід пам'ятати, що відстань між центрами отворів можна забезпечити в два рази точніше, ніж відстані від базових поверхонь до центрів отворів (рис. 3.6).

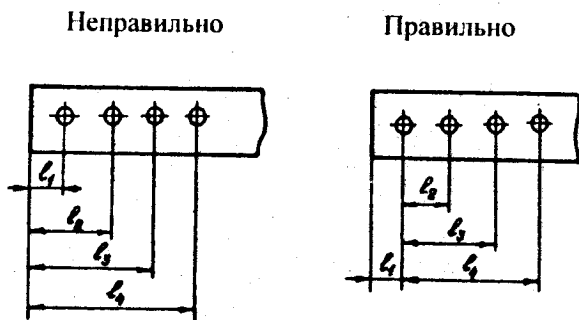


Рис. 3.6. Вибір бази при проставлянні розмірів при штампуванні

4. При конструюванні деталей, які одержують згинанням (скоби, хомутики та ін.), необхідно враховувати мінімальний допустимий радіус згинання листового прокату в холодному стані:

$$r_{\min} = k_1 \cdot k_2 \cdot S, \quad (3.5)$$

де k_1 - коефіцієнт, що залежить від марки матеріалу, його стану й орієнтації відносно напрямку прокату; k_2 - коефіцієнт, що залежить від кута згинання; S - товщина листа, мм. Значення коефіцієнтів k_1 і k_2 наведено у праці [1]. Якщо не враховувати мінімальний допустимий радіус згинання, то внутрішні механічні напруги, що виникають у металі, можуть призвести до тріщин у листовому прокаті.

5. При згинанні на ребро (рис. 3.7, а) мінімальний радіус для алюмінієвих сплавів і м'якої сталі приймається $r_{\min} = 2,5b$.

6. При згинанні труб (рис. 3.7, б) із зовнішнім діаметром до 20 мм мінімальний радіус для алюмінієвих сплавів і м'якої сталі приймається $r_{\min} > 1,5D$, а для титанових сплавів - не менше трьох діаметрів. До того ж мінімальний радіус збільшується із зростанням відношення D/S .

7. При конструюванні деталей типу кришка у місцях згинання в кутах необхідні технологічні отвори (рис. 3.8), діаметр d яких вибирається з табл. 3.1 залежно від товщини матеріалу S .

8. Розміри деталі, одержаної згинанням, не слід проставляти від ділянки, яка відгинається, щоб запобігти впливу похибки товщини листа.

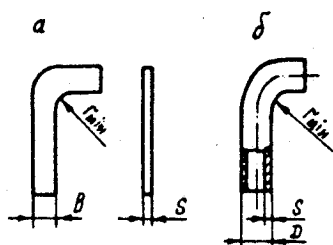


Рис. 3.7. Радіуси згину:
а – при згинанні листового матеріалу на ребро; б – при згинанні труби

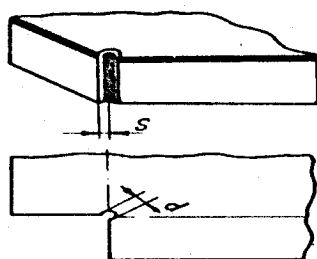


Рис. 3.8. Відбортовка кришки за прямим кутом

Таблиця 3.1

S, мм	0,6	1,0	1,5	2,0	3,0
d, мм	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0

9. Для підвищення жорсткості тонколистового матеріалу, забезпечення кріплення, збільшення поверхні теплообміну, одержання напрямних для переміщення встановлюваних вузлів необхідно застосовувати різноманітні видавлення, відбортовки, ребра жорсткості та ін. До того ж видавлювання прямокутної форми використовують як опорні площадки для кріплення важких вузлів, наприклад трансформаторів, а круглої форми - для кріплення віброізоляторів (рис. 3.9). Розбортовані отвори застосовують для збільшення жорсткості вентиляційних отворів і прорізів (рис. 3.10), для втоплення головок гвинтів з потайною головкою або для нарізання в них внутрішньої нарізки. Розбортовка під внутрішню нарізку використовується для нарізок від M2 до M5, а висоту розбортованого отвору звичайно приймають рівною подвійній товщині матеріалу.

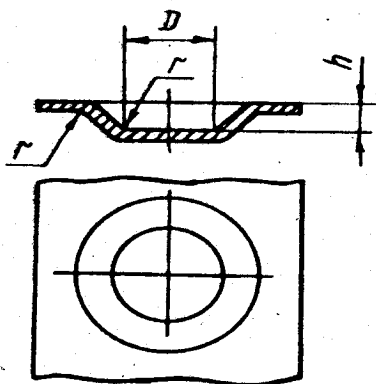


Рис. 3.9. Видавлювання круглої форми

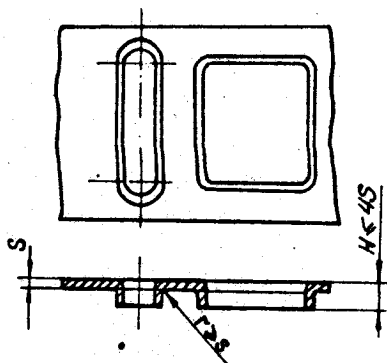


Рис. 3.10. Розбортовка отворів, призначених для вентиляції та зниження маси

10. При конструюванні деталей, виготовлених витяжкою (див. рис. 3.3), важливо, щоб висота деталі не перевищувала $3/4$ її діаметра або меншої сторони прямокутної основи коробки для деталей коробчастої форми. Радіуси скруглень мають бути приблизно в три рази більшими за товщину матеріалу, а відношення висоти деталі до радіуса спряження її дна і стінки - $H/r < 6$ для м'яких металів, які застосовуються для витяжки.

При виборі матеріалу для штампованих деталей необхідно керуватися такими рекомендаціями:

1. Оскільки несучі конструкції електронної апаратури повинні мати достатню жорсткість при малій масі, то для виготовлення штампованих деталей цих конструкцій слід застосовувати тонколистові сталі (вуглецева якісна сталь 10КП), алюмінієві (АМц, Д16), магнієві (М1, МА5) і титанові (ВТ1, ВТ5) сплави.

2. Для виготовлення деталей використовують прокат товщиною до 2 мм у вигляді листів, стрічок і гнутих профілів.

3. Коли особлива увага приділяється масі конструкції, необхідно пам'ятати, що маса матеріалів зростає вздовж ряду: магнієві сплави - алюмінієві сплави - титанові сплави - сталь. При цьому магнієві сплави в 1,5 рази легші, ніж алюмінієві, титанові - майже в два рази легші від сталі, а алюмінієві - в три рази легші, ніж сталь.

4. Магнієві сплави за багатьма параметрами, в тому числі за корозійною стійкістю і вартістю, поступаються алюмінієвим.

5. Найвисокопластичнішим з алюмінієвих сплавів є алюмінієво-марганцевий сплав АМц, що має підвищену корозійну стійкість і

хорошу зварюваність. Алюмінієво-мідний сплав Д16 - більш міцний, але й більш жорсткий, ніж АМц.

6. Титанові сплави мають високу міцність і твердість, що порівнюється з твердістю сталі, більш корозійно-стійкі, ніж нержавіюча сталь. Однак теплопровідність у титана в чотири рази нижча, ніж у сталі, а вартість титанових сплавів у декілька разів вища за вартість сталі.

7. Вуглецева якісна сталь 10КП має високу пластичність і в'язкість, відносно низьку границю текучості, високу чистоту поверхні та хорошу зварюваність.

Об'ємні деталі з металів, пластмас і кераміки одержують, як правило, пресуванням або литтям під тиском. При конструюванні таких деталей необхідно враховувати таке:

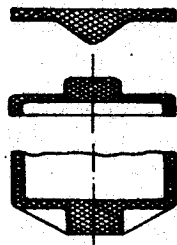
1. Усі деталі, одержані пресуванням або литтям, мають усадку, величина якої зростає вздовж ряду металеві деталі - пластмасові деталі - керамічні деталі. Усадка мінімальна при литті під тиском алюмінієвих і магнієвих сплавів.

2. Деталь має бути простою.

3. Щоб запобігти нерівномірностям усадку в об'ємі всієї деталі, товщину стінок слід вибирати приблизно однаковою, а кути скругляти, тому що наявність гострих кутів і різких переходів від однієї площини до іншої може викликати внутрішні механічні перенапруження і розтріскування матеріалу в процесі усадки.

4. Правильно сконструйована така деталь, в якій товщина стінок відрізняється не більше ніж на 30%, при цьому товщину суцільних перерізів не рекомендується брати більше 10 мм (рис. 3.11).

Неправильно



Правильно

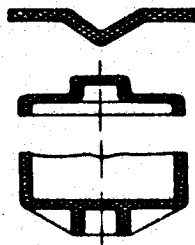


Рис. 3.11. Забезпечення рівностінності

5. Для зміцнення країв тонкостінних деталей застосовуються буртики (рис. 3.12), товщина яких не повинна перевищувати подвійної товщини стінки.

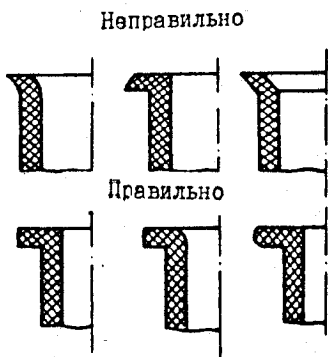


Рис.3.12. Зміцнювальні буртики для тонкостінних деталей

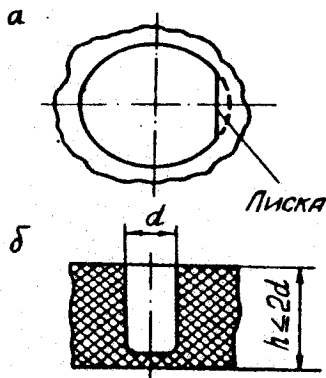


Рис.3.13.Отвори в пластмасових деталях: фасонне (а) та глухе (б)

6. Товщина ребра жорсткості мусить не перевищувати 0,6 товщини стінки, що прилягає до нього.

7. Радіуси закруглення рекомендується робити не менше ніж 0,8 мм для зовнішніх поверхонь і 1,5 - мм для внутрішніх, до того ж для одного й того ж виробу слід застосовувати мінімальну кількість значень радіусів.

8. Треба передбачати технологічні уклони і конусність, які забезпечують полегшене витягнення деталі з форми, до того ж на кресленнях уклони, як правило, проставляє технолог у межах від 15' до 1° залежно від матеріалу та габаритів деталі.

9. Допуски повинні призначатися з урахуванням усадки.

10. Вибираючи конфігурацію деталі, необхідно враховувати, що міцність пресованих і литих матеріалів при розтягуванні значно нижча, ніж при стисненні.

При конструюванні пресованих і литих деталей з отворами слід враховувати такі рекомендації:

1. Розташування отворів у деталі, їх різновид (наскрізні, глухі, ступінчасті) і форма значною мірою визначають значення внутрішніх напружень, усадку, точність діаметрів і міжцентрових відстаней, складність пресформи.

2. При малій серії деталей менш трудомістким є виконання отворів сверлінням, тому що складання форми зі стрижнями, які утворюють отвір, потребує ручної праці.

3. Під час пресування і лиття можна одержати отвори такої форми, яка механічним обробленням не виготовляється або зробити це дуже важко (рис. 3.13). Наприклад, фасонні отвори (рис. 3.13, а) легко одержати за допомогою циліндричного вкладиша зі знятою лискою, який встановлюється у формі.

4. Наскрізний отвір виготовити легше, ніж глухий (рис. 3.13,б), тому що формуючий стрижень кріпити консольно у формі важче.

5. Відстань між сусідніми отворами або отвором і краєм деталі має бути не меншою, ніж діаметр отвору.

6. При розміщенні отвору в куті деталі (біля краю) необхідно, щоб форма краю повторювала форму отвору, забезпечуючи тим самим вимоги однакової товщини стінок (рис. 3.14).

7. Для скорочення площини торкання та підвищення площинності при усадці опорні поверхні біля кріпильних отворів роблять виступними у формі бобишок (рис. 3.15).

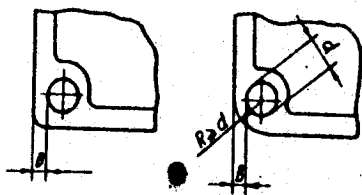


Рис. 3.14. Розташування отвору в куті пластмасової деталі

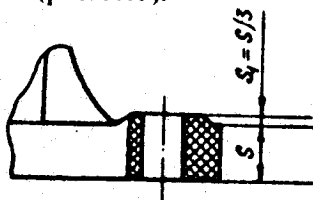


Рис. 3.15. Опорна поверхня пластмасової деталі у вигляді бобишки

При конструюванні пластмасових деталей в об'єм деталі вводять металеву арматуру, тобто застосовують армування (рис. 3.16).

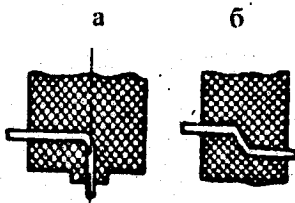


Рис. 3.16. Арматура в пластмасових деталях: кутова (а) і наскрізна (б)

Металева арматура трохи знижує усадку і шкідливий вплив таких недоліків деяких видів пластмас, як низька контактна міцність, малий опір зрізу, схильність до повзучості при тривало діючих навантаженнях. Часто арматура принципово необхідна, наприклад латунні контактні групи. Але слід пам'ятати, що застосування арматури тягне за собою значне підвищення трудомісткості виготовлення деталей із пластмас.

3.3. Конструювання відлікових пристроїв

У приладах для виведення інформації, яку зчитує людина, застосовуються оптичні індикатори. Класичною є аналогова індикація, яка під час відтворення значення вимірюваної величини аналогічна визначенню його за відхиленням стрілки відносно штрихової шкали. Окрім аналогових використовуються цифрові індикатори, які дають малу кількість помилок під час зчитування показань. Основним недоліком цифрових індикаторних пристроїв є те, що при швидкій зміні вимірюваної величини на таких приладах порівняно зі стрілковими не завжди можна швидко визначити напрям зміни параметра та швидкість цієї зміни.

Усі візуальні індикатори можна поділити на предметні та світлові. Предметні індикатори та сигналізатори виконуються у вигляді шкал, цифр, написів, фігур та ін. Світлові індикатори та сигналізатори являють собою сигнальні лампи, написи, які світяться, світлоплани та ін.

Під час конструювання аналогових індикаторів слід враховувати такі вимоги:

1. Показання повинні зніматися оператором з необхідною точністю, але при цьому не можна намагатися досягти надмірної точності, бо вона призводить до додаткової стомлюваності оператора та виникнення помилок.

2. Кількість проміжних відміток в основному інтервалі шкали не повинна перевищувати дев'яти.

3. Показчики мусять мати чіткі написи, а у випадку роботи в затемнених приміщеннях - чорний фон і білі цифри. Всі написи в нічний час повинні підсвічуватись червоним кольором.

4. Усі написи предметних показників і сигналізаторів мають бути лаконічними та виконуватися літерами найпростішого накреслення. При цьому ширина обведення чорно-білого шрифту складає $1/7$ висоти літер, а біло-чорного - $1/6$ висоти. Висоту шрифту, яка лежить у межах 20...40, вибирають виходячи з відстані від очей оператора до пульта керування. Висоту цифр чисел відліку шкали, як правило, слід вибирати з ряду 3,5; 5,0; 7,0 мм;



Рис. 3.17. Форма та розміри показчиків

5. Для зменшення ймовірності помилок при зчитуванні показань відповідні відмітки шкали мусять містити не більше двох цифр, а їх скорочення проводиться шляхом використання кратних і дольних одиниць з коефіцієнтом 10^{-n} (n - будь-яке ціле число), який рекомендується ставити у центрі шкали.

6. Для нанесення на шкали рекомендуються такі цифрові послідовності: добре сприйняття - 1, 2, 3, 4, 5,...; 5, 10, 15, 20, 25,...; задовільне сприйняття - 2, 4, 6, 8, 10,...

7. Не дозволяється використовувати шкали з такими числовими послідовностями: 3, 6, 9, 12,...; 4, 8, 12, 16,...; 0; 2,5; 5; 7,5,... Виняток може бути зроблений для шкал, які показують кутові величини в градусах, час - в годинах і хвилинах.

8. Оскільки похибка зчитування вимірюваної величини залежить від взаємного розташування стрілок і показчика, то при конструюванні відлікових пристроїв необхідно враховувати таке:

- чим менша відстань між кінцем штрихової поділки шкали та стрілки, тим точнішим буде відлік;

- відстань від кінця стрілки до штрихової поділки не повинна перевищувати 1,6 мм (рис. 3.17, а), а відстань від стрілки до циферблату зводиться до мінімально можливої з метою зменшення помилки за рахунок паралакса.

9. Кінці стрілок і показчиків мають бути найпростішими, а ширина вістря стрілки не повинна перевищувати ширину відміток на шкалі (рис. 3.17, в).

10. Конструювати циферблати та стрілки авіаційних індикаторів і приладів необхідно відповідно до ГОСТ 27626-88.

11. Індикатори мусять забезпечувати швидке сприйняття оператором інформації, що передається, та високу надійність показань у заданих умовах експлуатації. Для більш швидкого сприйняття інформації, що подається, часто символічну інформацію поєднують з наочною. Наприклад, на приладі авіагоризонту символічна інформація про крен літака в градусах супроводжується зміною положення проєкції літака відносно умовної горизонтальної лінії (рис. 3.18).

12. Показчики, що подають різні фізичні величини, повинні відрізнятися за зовнішнім виглядом.

13. У випадках, коли вимірювана величина змінюється у широких межах, доцільно використовувати рухомі шкали і нерухомі показчики (рис. 3.19).

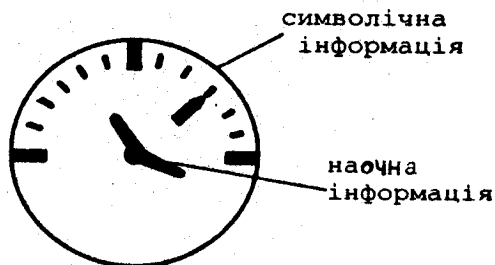


Рис. 3.18. Циферблат приладу з символічною та наочною інформаціями

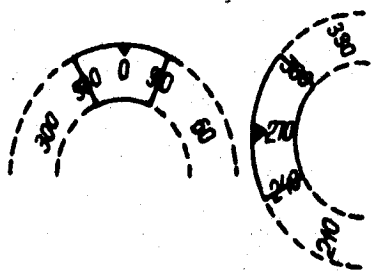


Рис. 3.19. Розташування цифр і показчиків при рухомій шкалі

14. При використанні рухомих шкал необхідно враховувати таке:

- цифри на шкалі повинні розташовуватися з таким розрахунком, щоб при зніманні показань вони були поблизу від показника вертикально;

- при розміщенні рухомої шкали за панелью в останній робиться вікно, розмір якого вибирається таким, щоб у ньому одночасно було видно повністю дві оцифровані поділки або три поділки не повністю (див. рис. 3.19).

15. При конструюванні відлікових пристроїв з нерухомими шкалами та рухомими показниками оцифровку шкал слід виконувати так, щоб цифри не перекривалися стрілкою під час її руху (див. рис. 3.17,6).

До цифрових індикаторів [12] відносяться: індикатори з одним висвічуванним елементом, індикатори з декількома висвічуваними елементами, комплексні індикаторні пристрої.

Індикатори з одним висвічуванним елементом застосовуються для контролю працездатності приладу. Для цього використовують пристрої, здатні перебувати в одному з двох можливих положень, відображуючи відповідні положення приладу, наприклад, ввімкнено - вимкнено, повний - порожній та ін. До таких пристроїв належать сигнальні лампи та світлодіоди.

Як приклади індикаторів з декількома висвічуваними елементами можна навести цифрові індикатори в годинниках, калькуляторах і вимірювальних приладах. Для створення буквено-цифрових індикаторів висвічувані елементи розташовують в ряд (рис. 3.20) або у вигляді матриці. Звичайно використовують рядне розташування у вигляді окремих сегментних індикаторних



Рис.3.20. Розташування буквено-цифрових індикаторів у ряд

пристроїв (сім сегментів (рис. 3.21, а) - для індикації цифр, 14 сегментів (рис. 3.21, б) або 15 сегментів (рис. 3.21, в) - для індикації цифр і літер). Для одержання матричного індикатора, що дозволяє відтворювати будь-які цифри, букви та знаки, застосовуються індикаторні пристрої з 7×5 точками (рис. 3.21, г).

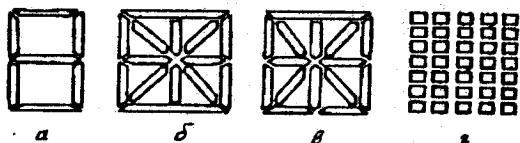


Рис.3.21. Структура сегментних (а - в) і матричного (г) буквено-цифрових індикаторів

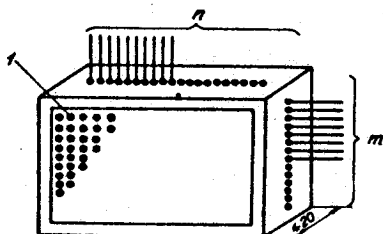


Рис.3.22. Схема оптоелектронного індикаторного пристрою: l - індикаторне поле з $N=nm$ висвічуваними елементами; n - кількість виводів за стовпцями; m - кількість виводів за рядками

До комплексних індикаторів, що мають інформаційну ємність $N \geq 10^3$, відносяться індикатори великої площини, наприклад, екран з електронно-променевої трубки. Поряд з такими трубками широкого поширення набувають оптоелектронні газорозрядні, рідинно-кристалічні та електролюмінесцентні індикатори (рис. 3.22). При $(n+m)$ виводах можна будь-яким способом керувати роботою $N=n \times m$ висвічуваних елементів.

Питання конструювання перелічених цифрових індикаторів докладно розглянуто у працях [22, 23, 24].

3.4. Методи конструювання печатних плат і вузлів

Електричні та електронні функціональні вузли у більшості випадків складають на печатних платах (ПП), класифікацію яких наведено на рис. 3.23.

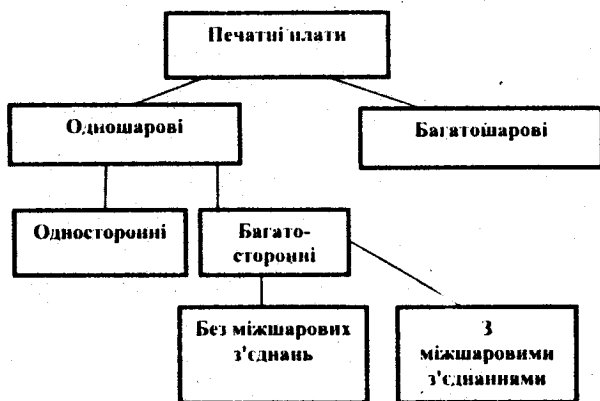


Рис. 3.23. Типи печатних плат

Перевага печатних плат порівняно зі звичайним електромонтажем полягає в тому, що вони мають більш високі електричні властивості, добру відтворюваність електричних і механічних параметрів, високу густину компонування електрорадіоелементів, малі масу і об'єм, невеликі витрати матеріалів і високу надійність.

3.4.1. Критерії вибору конструкції печатних плат

Під час вибору конструкції печатних плат слід враховувати габаритний критерій, критерій густини 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 і послабленням негативного впливу таких явищ, як жолоблення, погіршений теплообмін у центрі плати, знижена ремонтпридатність, які зростають при збільшенні габаритних розмірів плати. Розміри печатних плат вибираються за ГОСТ 10317-79. Довжина печатної

плати звичайно регламентована з урахуванням розміру електричного з'єднувача. Для літакової РЕА ширина складає 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.

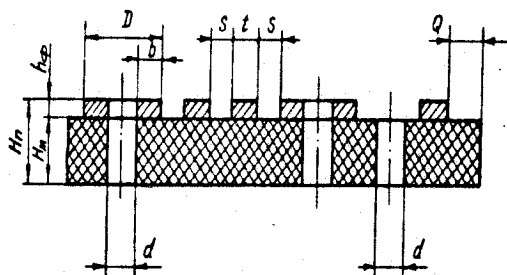


Рис. 3. 24. Конструкція односторонньої печатної плати (ОПП)

Критерій густини рисунка безпосередньо пов'язаний з габаритним критерієм і класом точності печатної плати. При цьому визначальними розмірами елементів конструкції ОПП (рис. 3.24) є: ширина t печатного провідника, відстань S між краями сусідніх елементів провідного рисунка, гарантійний пояс b , відношення γ номінального значення діаметра найменшого із металізованих отворів до товщини печатної плати. Найменші номінальні значення основних розмірів елементів конструкції печатних плат для вузького місця залежно від класів точності (ГОСТ 23751-86) наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2

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 (табл. 8 ГОСТ 23751-86), а також за допустимою густиною струму в печатному провіднику, яка для фольги лежить у межах $100...250 \text{ А/мм}^2$, а для гальванічної міді - $60...100 \text{ А/мм}^2$. Густина струму, в 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) та багатошарові (БПП) печатні плати. Можливості трасування зростають уздовж ряду ОПП - ДПП - БПП, хоча при цьому збільшується трудомісткість виготовлення і зменшується надійність конструкції. Варіант печатної плати вибирає конструктор з точки зору технологічності конструкції. Він повинен намагатися застосовувати в першу чергу односторонні печатні плати і 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 перемичок з ізолюваного проводу, які напаюють вручну. Через значні технологічні недоліки БПП конструктор повинен віддавати перевагу ДПП з прокладанням на їх поверхні провідних перемичок замість печатних провідників, які не вмістились. При однакових габаритах і товщині плат жолоблення в ДПП завжди значно менше, ніж в ОПП, тому що розташовані на основі з обох сторін металеві шари деякою мірою компенсують один одного.

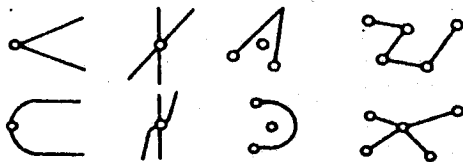
Вибір товщини та матеріалу основи впливає на такі властивості печатних плат, як жорсткість, власна ємність і теплопровідність. Залежно від механічних вимог і методу виготовлення номінальна товщина жорстких печатних плат вибирається з ряду 0,8-1,0-1,5-2,0-2,5-3,0 мм, а гнучких ПП - з ряду 0,1 - 0,2 - 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 низьковуглецева сталь) з полімерною плівкою.

3.4.2. Загальні вимоги щодо конструювання печатних плат

Печатні плати мусять 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 від основного, відповідно дорівнюють 1,25; 0,625. 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 мусять розташовуватися у вузлах координатної сітки. Діаметр отвору вибирають з наміром одержання зазору між виводом ЕРЕ та стінкою отвору 0,1 мм. Контактні площадки можуть мати будь-яку форму.

Однак частіше застосовуються кільцеві контактні площадки з отвором у центрі для виводів ЕРЕ. Діаметр кільцевої площадки бажано збільшувати для підвищення надійності контакту. Слід запобігати вузьких місць, стикування печатних провідників під гострим кутом і ланцюжків контактних площадок (рис. 3.25).

Неправильно



Правильно

Рис. 3. 25. Правильні та неправильні варіанти підведення печатних провідників до контактних площадок

Для забезпечення перешкодостійкості печатних плат шини постачання і 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 вибирати 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 та перешкодозахищеності пристрою.

3.4.3. Вимоги щодо розміщення та встановлення елементів на печатній платі

Встановлення корпусних мікросхем, мікроскладань та інших електрорадіовиробів на печатні плати повинно проводитися згідно з ОСТ 4ГО.010.030-81, в якому дано встановлювальні розміри, варіанти формування виводів радіоелементів та ін.

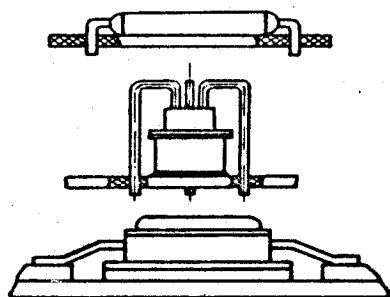


Рис. 3. 26. Варіанти встановлення ЕРЕ на печатній платі

Найвеликогабаритніші ЕРЕ розташовують поблизу місць механічного кріплення плати. Навісні ЕРЕ рекомендується встановлювати на печатні плати, використовуючи місця для мікросхем (ІС) та мікроскладань (МС). За необхідності додаткового кріплення навісних ЕРЕ на печатних платах деталі кріплення (кутники, кронштейни, тримачі, скоби, пелюстки та ін.) слід вибирати відповідно до вимог ОСТ 4ГО.812.000. Навісні ЕРЕ при двосторонньому розміщенні корпусних ІСМС та безкорпусних МС рекомендується встановлювати з боку розташування електричних з'єднувачів або елементів електричної комутації. На рис. 3.26 зображено фрагменти встановлення навісних ЕРЕ на печатній платі.

Для забезпечення перешкодостійкості печатних вузлів мікросхеми підвищеного ступеня інтеграції (IC3 і IC4) слід розміщувати безпосередньо біля контактів з'єднувачів.

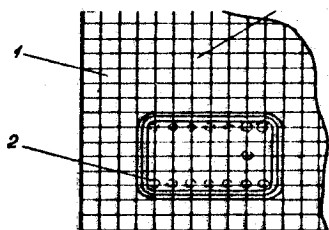
Невикористані контакти мікросхем розташовують між сигнальними виводами та з'єднують з шиною заземлення. Елементи з найбільшими кількостями загальних з'єднань розміщують якомога ближче один до одного.

Корпусні IC та 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 мікроскладань у випадку малих теплових навантажень можна розташовувати без урахування напрямку повітряного потоку (див. рис. 2.40, а). Для забезпечення найкращих умов охолодження корпусів IC та MC їх виводи відносно кінцевих контактів плати встановлюють з урахуванням повітряного потоку (див. рис. 2.40, б).

Мікросхеми та мікроскладання зі штирковими виводами розміщують тільки з однієї сторони печатної плати. IC та MC з планарними виводами можуть встановлюватися як з однієї, так і з двох сторін печатної плати симетрично один до одного. Корпусні IC/MC та безкорпусні MC розташовують на печатних платах геометрично правильними рядами. При встановленні використовують клей та лак. Крок розміщення корпусних мікросхем і мікроскладань на ПП слід вибирати з урахуванням застосовуваної координатної сітки за ГОСТ 10317-79.

Для мікросхем і мікроскладань з кроком розташування виводів 1,25 і 2,50 мм рекомендується вибирати крок установлення, кратний 2,5 мм. IC та MC у корпусах зі штирковими виводами з кроком 2,5 мм розміщують на печатній платі так, щоб виводи збігалися з вузлами координатної сітки (рис. 3.27). Якщо крок виводів не дорівнює 2,5 мм, то корпус IC слід розташовувати так, щоб один або декілька виводів збігалися з вузлами координатної сітки (рис. 3.28). IC та MC з планарними виводами встановлюють на печатній платі за попередньою розміткою відносно координатної сітки з обов'язковим розміщенням виводів симетрично контактним площадкам.

Координатна сітка



Координатна сітка

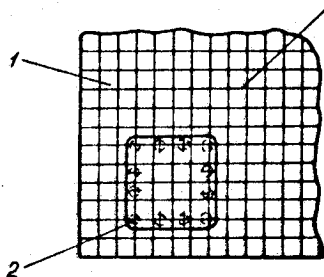


Рис. 3.27. Розміщення корпусних мікросхем зі штирковими виводами (2) на печатній платі зі стандартною координатною сіткою (1)

Рис. 3.28. Розміщення корпусних мікросхем зі штирковими виводами (2) на печатній платі зі стандартною координатною сіткою (1) (крок виводів не кратний 2,50 мм)

При цьому перший вивід корпусу суміщується з першою контактною площадкою, яка має ключ, нанесений на платі (рис. 3.29).

Координатна сітка

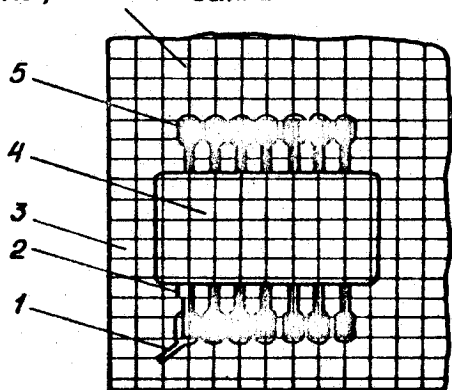


Рис. 3.29. Розміщення корпусних мікросхем з планарними виводами на печатній платі зі стандартною координатною сіткою: 1 – ключ; 2- перший вивід корпусу IC; 3 – печатна плата; 4 – корпус IC; 5 – контактна площадка

Кількість стовпців мікросхем або мікроскладань на основі печатної плати (рис. 3.30) визначається за формулою

$$n_x = E \left\lfloor \frac{L_1 - X_1 - X_2 - L_0}{L_{x0}} \right\rfloor + 1 \quad (3.6)$$

де n_x – кількість стовпців мікросхем або мікроскладань, шт.;

E – символ процедури цілочисельного значення, що полягає у відкиданні дробової частини числа;

L_1 – довжина базової сторони основи печатної плати, вздовж 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 мікроскладання, мм ;

L_{x0} – крок установлення мікросхеми або мікроскладання вздовж осі X , мм.

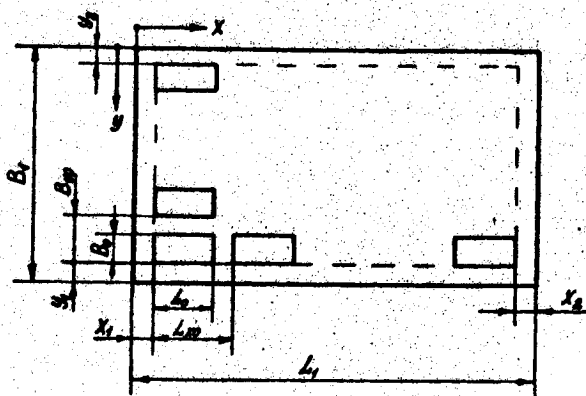


Рис. 3. 30. Зони розміщення на основі електронного модуля першого рівня місць для встановлення корпусних мікросхем, мікроскладань і безкорпусних мікроскладань

Кількість рядів мікросхем або мікроскладань на основі печатної плати визначається за формулою

$$n_y = E \left| \frac{B_1 - y_1 - y_2 - B_0}{B_{y0}} \right| + 1, \quad (3.7)$$

де n_y - кількість рядів мікросхем або мікроскладань 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 мікроскладання, мм;

B_{y0} - крок установлення мікросхем або мікроскладань уздовж осі Y, мм.

Кількість ІС або МС при односторонньому їх розміщенні на основі печатної плати визначається за формулою

$$П_1 = n_x n_y, \quad (3.8)$$

а при двосторонньому розміщенні –

$$П_2 = 2 n_x n_y. \quad (3.9)$$

Розміри посадочного місця і крок установлення для мікросхем і мікроскладань у різних корпусах наведено у працях [1, 15].

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 наведено у працях [1,15]. Дуже часто ширину крайового поля з лівого і правого країв приймають рівною: для штиркових 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. 3.3 залежно від типу вибраного з'єднувача.

Таблиця 3.3

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
ГРПМІ-ШУ	31,45	Вилка або розетка	В отворі	22,5	- - -
ГРПМІ-ШУ	122	Те ж саме	Те ж саме	27,5	- - -
ГРПМІ-ГУ	25	- - -	Те ж саме	25,0	- - -
ГРПМУ-Н	25	Вилка	Внапуск	17,5	ВП і ВП
РПММ	40	Те ж саме	В отворі	30,0	Те ж саме
РПММ2	142	- - -	Внапуск	22,5	- - -
РПММ26	17,72	- - -	Те ж саме	17,5	- - -
СНП 34	135	Розетка	В отворі	15,0	- - -
Кабель гнучкий печатний	-	-	В отворі і внапуск	25,0	-
Джгут об'ємний	-	-	В отворі	35,0	-

3.4.4. Методи конструювання печатних плат

Існують такі методи конструювання печатних плат: ручний, напівавтоматизований та автоматизований. Складність топологічних робіт при конструюванні печатних плат можна орієнтовно оцінити за кількістю мікросхем, які розміщуються 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 ЕОМ, 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 та ЕРЕ, розміщення навісних

елементів на ДП, трасування електричних з'єднань, перевіряє провідний рисунок печатної плати на відповідність принциповій електричній схемі. Розташування навісних елементів і трасування електричних з'єднань виконуються конструктором вручну в такому порядку:

- 1) принципова електрична схема пристрою поділяється на функціонально зв'язані групи, складається таблиця з'єднань;
- 2) у кожній групі розміщуються навісні елементи і трасування з'єднань;
- 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 та електричним з'єднувачем, і розміщується поряд з першою.

Процес розташування повторюється аналогічно до тих пір, доки не буде розміщена остання група. Потім здійснюється оптимізація розташування кожного з навісних елементів і за необхідності вносяться корективи. Після розміщення елементів виконується трасування електричних з'єднань. При цьому зручно використовувати папір в клітинку або міліметровку на прозорій основі, з однієї сторони якої викреслюють контури ЕРЕ, а з іншої - печатних провідників, у випадку конструювання двосторонніх або багат шарових печатних плат - папір різних кольорів.

При напівавтоматизованому методі розміщення елементів на печатній платі виконують за допомогою ЕОМ, а розробку провідного рисунку плати - ручним методом, або навпаки: перше - вручну, друге - за допомогою ЕОМ.

При автоматизованому методі на ЕОМ здійснюється й розміщення навісних елементів на платі, і трасування печатних провідників з видачею списку нерозведених з'єднань та ескізу провідного рисунку плати. При цьому креслення печатних плат повинні відповідати ГОСТ 2.417-91. За необхідності зазначення способу виготовлення печатної плати його слід записувати першим пунктом технічних вимог креслення, решту ж технічних вимог групувати та записувати послідовно згідно з ГОСТ 2.316-68.

3.5. Конструювання внутрішньблокового та міжблокового монтажу

В електронній апаратурі, побудованій на мікросхемах і мікроскладаннях, 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 та 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, в тому числі з'єднання стояків між собою. Електричні з'єднання в електронних модулях виконуються за допомогою електричних з'єднувачів, плоских кабелів та елементів об'ємного монтажу.

3.5.1. Типи проводів і кабелів

Монтажні проводи випускаються з поліхлорвініловою, гумовою та волокнистою ізоляцією. Проводи з волокнистою ізоляцією застосовуються в апаратурі, що працює в нормальних умовах, коли виключена можливість конденсації води в апаратурі та відсутні різкі кліматичні зміни. Проводи в поліетиленовій, поліхлорвінілової та гумовій ізоляції застосовуються в умовах підвищеної вологості, при різких коливаннях температури. За конструкцією струмопровідної жили розрізняють однодротові негнучкі та багатодотові гнучкі проводи, в яких струмопровідні жили сплетені з тонких мідних дровів. Як приклад розглянемо умовні позначення монтажних проводів деяких марок: МПШД - багатодотовий, ізольований подвійною обмоткою зі шпичного шовку; МПМ - багатодотовий, ізольований поліетиленом; МГВ - багатодотовий, ізольований поліхлорвінілом; МГВЕ - багатодотовий, ізольований поліхлорвінілом, екранований. Переріз монтажних проводів вибирається залежно від струму, що проходить по них. Наприклад, мідні дрозитозалежно від перерізу допускають значення струмів, подані в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Переріз провода, 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
Допус- тимий струм, А	0,7	1,0	1,3	2,5	3,5	5,0	7,0	10	14	17	25	30	45

Марки та перерізи проводів для виконання об'ємного монтажу в електричних блоках наведено в ОСТ 4ГО.022.400.

Кабелі виконуються у вигляді об'ємного джгута, бувають також плоскі кабелі. Перевагою плоского кабелю є значно менший об'єм порівняно з об'ємним. Плоскі кабелі застосовуються переважно в

блоках книжкової конструкції, що дозволяє більш раціонально використовувати об'єм блока, зменшити його габаритні розміри та масу. Розрізняють такі типи плоских кабелів: гнучкий печатний кабель (ГПК), плоский тканый 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. 3.31). ПТК - система монтажних проводів, розташованих паралельно один одному в одній площині та скріплених нитками ткацьким методом або методом шлітіння (рис. 3.32). ПОК - система монтажних проводів, розташованих паралельно один одному в одній площині та скріплених методом опресування полімерними еластичними матеріалами (рис. 3.33). Гнучкі печатні та 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 краще 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'єднувати в єдину конструкцію провідники різного перерізу та з різною ізоляцією, що є безумовною перевагою ПТК. Основною позитивною якістю ПТК є їх низька вартість. Оскільки провідники в ПОК розміщуються між двома шарами термопластичної ізоляції (поліхлорвініл, фторопласт, поліефірні профіліровані плівки), які склеюються між собою під впливом тепла і тиску, то опресовані кабелі відрізняються високою якістю та надійністю в роботі.

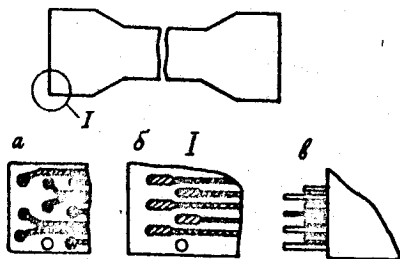


Рис. 3. 31. Гнучкий печатний кабель з металізованими контактними площадками з отворами (а) і без них (б), з контактними пелюстками (в)



Рис. 3. 32. Плоский тканый кабель



Рис. 3. 33. Плоский опресований кабель з ізольованими круглими провідниками

За конструктивним оформленням та способами електричного приєднання до печатних плат ГПК можуть виконуватися в трьох варіантах (рис. 3.31):

1) ГПК, що закінчуються металізованими контактними площадками з отворами; кабелі цього типу встановлюються і запаюються на контактні штирі, розміщені на печатній платі або колодці;

2) ГПК, що закінчуються металізованими контактними площадками, які після суміщення припаюються до контактних площадок на печатній платі;

3) ГПК, що закінчуються контактними пелюстками, що припаюються до контактних площадок на печатній платі.

Усі типи ГПК виконуються на основі гнучкого фольгованого діелектрика товщиною 0,1; 0,2; 0,4 мм. ГПК з боку печатних провідників покриваються кількома шарами лаку або захищаються плівкою, яка з'єднується з печатними кабелями за допомогою адгезійного шару. Розміри печатних провідників, контактних площадок і пелюсток печатних плат і ГПК мусять 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 контактної 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, зроблені за варіантом 1, розміщуються з однієї сторони печатної плати, а для ГПК за варіантами 2 і 3 допускається встановлення з двох сторін. ГПК мають бути механічно закріплені на чарунці в зоні електричного приєднання до печатних плат.

Ткани та 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 та 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. Ткані кабелі при довжині з'єднання менше 40 мм не застосовуються, у цьому випадку слід використовувати монтажні проводи. Для фіксованого монтажу рекомендуються такі опресовані кабелі: КПВР, КППР, КППРО, КППРЕ, ПВП. Розглянемо параметри таких кабелів на прикладі кабелю КПВР: кількість жил у кабелі та переріз, $\text{мм}^2 - 20 \cdot 0,50$; відстань між центрами жил, мм - 2,4; ширина кабелю, мм - 47,5; товщина кабелю, мм - 1,9; вид ізоляції - полівінілхлоридна.

Марки та 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

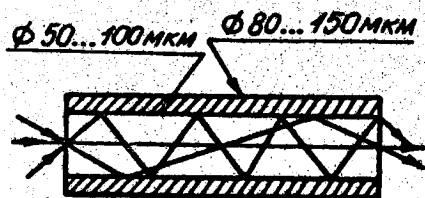


Рис. 3. 34. Волоконний світлопровід

світлового потоку в результаті багаторазового внутрішнього відбиття променя усередині скляної основи світлопровідної жили (рис. 3.34). 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 стекел. Детальніше конструкції волоконисто-оптичних кабелів описано у

працях [25, 26, 27]. Важливою особливістю світлопроводів є те, що носіями сигналів в них є не електрони, а фотони, завдяки чому вони практично не схильні до наводок від зовнішніх електромагнітних полів. Окрім того, відсутня заважаюча взаємодія усередині потоку, тому що фотони, на відміну від електронів, електрично нейтральні. Світлопровідні кабелі мають малі масогабаритні характеристики, наприклад, у світлопровідного кабелю, що складається з восьми волокон, погонна маса 50 г/м. Світлопровідні кабелі застосовуються у волокнисто-оптичних системах передачі даних і пристроях оптичної обробки сигналів.

Їх 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 та виході світлопроводу, тобто у з'єднувачах, які поділяються на пасивні та активні.

Пасивні з'єднувачі призначені для стикування торців скляних волокон один з одним. Тут на загасання найбільше впливають поперечна і 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 та оптоелектронні пристрої використовують світодіоди, лазерні діоди, фотодіоди, фоторезистори, фотопомножувачі, голографічні запам'ятовуючі пристрої. Активні світлопровідні з'єднувачі конструктивно більш надійні, ніж пасивні, а їх застосування найкраще.

3.5.2. Електричні з'єднувачі. Основні типи

Сучасні мініатюрні електричні з'єднувачі поділяються на дві групи: для внутрішньоблокового печатного та об'ємного монтажу, для міжблокового об'ємного монтажу. До електричних з'єднувачів, що використовуються в електронній апаратурі на мікросхемах, ставляться такі вимоги: висока надійність електричних з'єднань; малі габаритні розміри та 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. 3.5.

Вид з'єднання	Тип електричного з'єднувача	Технічні умови
Печать – печать	ГРПП3 ГРППМ7	КЕО. 364. 003 ТУ КЕО.364.010 ТУ
Печать - об'ємний монтаж	ГРПМ1 ГРПМ9 РППМ8 РППМ17 СНП 34 СНП 34С	КЕО. 364. 006 ТУ КЕО. 364. 009 ТУ КЕО. 364. 194 ТУ КЕО. 364. 011 ТУ КЕО. 364. 043 ТУ КЕО. 364. 043 ТУ
Об'ємний монтаж - Об'ємний монтаж	ГРПМ2 ГРПМ3	КЕО. 364. 002 ТУ КЕО. 364. 008 ТУ

Технічні характеристики деяких електричних з'єднувачів наведено у працях [1, 15, 20]. 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 золочені 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) вони встановлюються на печатній платі, чи забезпечують динамічну стабільність контактних опорів під час вібрації. Наприклад, тільки електричні з'єднувачі РППМ26 і СНП 34 гарантують динамічну стабільність контактних опорів при вібрації, з них РППМ26 призначені під пайку внапуск, а СНП 34 - в отвори, причому встановлюються на печатній платі своєю розеткою. 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 застосовувати такі електричні з'єднувачі: РПКМ - АВО. 364. 040 ТУ, 2РМТ - А1 ГЕО. 364. 134 ТУ, 2РМДГ - А1 ГЕО. 364. 136 ТУ, ГРПМ2 - КЕО. 364. 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 (в літаковій апаратурі) найчастіше проводяться за допомогою врубних з'єднань типу РП і РПКМ. У низькочастотних ланцюгах для

зовнішніх з'єднань широко використовується з'єднувач типу 2РМ, систему позначень таких з'єднувачів наведено в табл. 3.6.

Електричний з'єднувач позначається, наприклад, таким чином: 2РМ30КПН32Г1А1, де 2РМ - тип з'єднувача; 30 - посадочний діаметр корпусу блокової частини з боку хвостовика, мм; КПН - частина з'єднувача для монтажу на кабелях, патрубок прямий, кабель неекранований, 32 - кількість контактів; Г - контакти в даній частині з'єднувача - гнізда; 1 - діаметр контакта; А1 - вид покриття (золочення).

Як електричні з'єднувачі можуть використовуватись з'єднувальні колодки та перехідні контакти. Приклади рекомендованих варіантів з'єднувальних колодок та їх установок наведено в ОСТ 4ГО.010.009-84. Електричні з'єднання між печатними платами чарунок доцільно виконувати плоскими та 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 наведено в ОСТ 4ГО. 010.009-84.

Таблиця 3.6

Частини з'єднувача	Позначення
Блокові та 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, 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

3.5.3. Правила конструювання внутрішньоблокового та міжблокового провідного монтажу

Внутрішньоблоковий монтаж виконується об'ємним гнучким проводом або плоским кабелем, а міжблоковий - об'ємним кабелем або джгутом. При проектуванні таких з'єднань необхідно враховувати такі рекомендації:

1. Найменшу механічну міцність при впливі вібрації мають проводи з одним дротом у жилі, найбільшу - багатожилінні проводи.

2. Під час праці 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 та різким перегинам.

4. Мінімальний внутрішній радіус згину провідника має бути не меншим від діаметра проводу з ізоляцією.

5. Проводи не повинні торкатися гострих металевих кромок.

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 та ремонту.

9. Для зручності складання та ремонту апаратури доцільно під час монтажу різних ланцюгів використовувати проводи різних кольорів (табл. 3.7), причому монтаж кожного електричного ланцюга, який має один і той самий потенціал, повинен виконуватись від початку до кінця проводом одного кольору.

10. У кожному отворі пелюстки допускається кріпити не більше двох проводів, а до одного затискного контакта - підключати також не більше двох проводів з кабельними наконечниками.

11. Кінці екрануючого облєтєння, з'єднані з корпусом (шасі) апаратури, мають бути розділені розплєтєнням екрануючого облєтєння та відведенням його в сторону зі скручуванням і облєтєнням кінця облєтєння на проводі.

12. Дротові виводи багатоконтактних елементів з'єднують з монтажними проводами закрученням на один-два оберти з наступним паянням.

13. На пелюстки та дротові виводи необхідно надівати ізоляційні трубки, які закріплюються за допомогою клею.

14. Під час монтажу штепсельних електричних з'єднувачів допускається приєднання до одного контакта 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 мусить проводитися за допомогою маркувальної стрічки, трубки або бирки.

Джгут складають з паралельно розміщених проводів, об'язаних нитками № 00 з кроком в'язки 20... 40 мм залежно від діаметра джгута. Екрановані проводи та проводи малих перерізів розміщують усередині джгута. За необхідності захисту джгута від механічних та кліматичних впливів його перед об'язкою обмотують бавовняною (кіперною) або м'якою поліхлорвініловою стрічкою.

Таблиця 3.7

Ланцюг	Колір проводу
Високовольтний з позитивним потенціалом	Червоний та всі його сполучення з іншими кольорами, окрім синього та зеленого
Високовольтний з негативним потенціалом	Синій та всі його сполучення з іншими кольорами, окрім червоного та зеленого
З нульовим потенціалом відносно корпусу	Чорний або фіолетовий
Розпечення ламп	Зелений та всі його сполучення з іншими, окрім червоного та синього

Примітка. Інші ланцюги монтують проводами будь-якого кольору за винятком перелічених вище.

Кінець обмотки джгута слід кріпити бандажем із ниток. На рис. 3.35 наведено приклади в'язки джгутів. Джгути кріпляться до стінок блоків і шасі скобами, що встановлюються з інтервалом, який дорівнює приблизно десяти діаметрам джгута. Джгути рекомендується закріплювати за допомогою скоби або хомутика поблизу місця розпаювання. Між джгутом і металевою скобою містять прокладку з електрокартону або хлорвінілу. При проходженні джгутів через

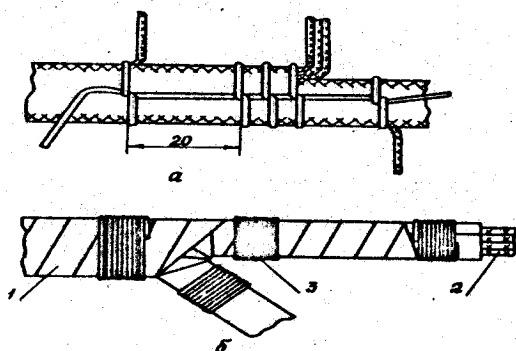


Рис. 3. 35. В'язка джгута нитками (а) і кріплення стрічки джгута бандажами з ниток (б): 1 - ізоляційна стрічка; 2 - джгут; 3 - бандаж із ниток

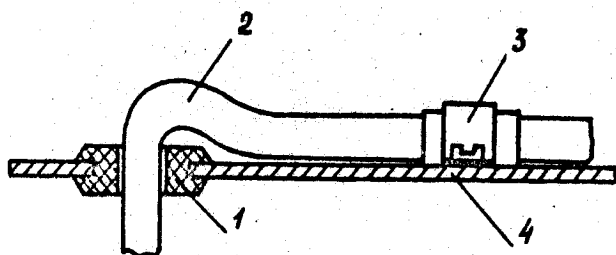


Рис. 3. 36. Приклад прокладки джгута у вікно металевої стінки: 1 - ізоляційна втулка; 2 - джгут; 3 - скоба; 4 - стінка

металеві стінки необхідно застосовувати ізоляційні втулки (рис. 3.36). 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, в свою чергу, зменшує ймовірність обриву провідників.

Ряд рекомендацій щодо конструювання провідного монтажу розглянуто також у підрозд. 2.3, 2.5.

3.6. Методи компоновання електронних приладових пристроїв

Під компонованням блока розуміють взаємне розміщення і орієнтацію чарунок або інших конструктивних елементів у заданому об'ємі блока. Компоновання - одна з найскладніших і найвідповідальніших операцій, тому що необхідно враховувати умови електромагнітної та 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 компоновання виконують вручну, компоновання на площині - за допомогою обчислювальної техніки.

Компоновання виконується методом послідовних наближень, і за його результатами складається компоновальна схема (схема розміщення, габаритне креслення). За прийомами виконання можна виділити такі методи компоновання: аналітичний, номографічний, аплікаційний та модельний.

Аналітичний та номографічний методи компоновання використовуються на ранніх стадіях проектування електронної апаратури і дозволяють одержувати орієнтовну оцінку укрупнених характеристик конструкції. Аналітичне та номографічне компоновання проводяться за принциповою електричною схемою.

Під час аналітичного компоновання підраховуються кількість елементів кожного виду та 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 та не дозволяють оцінити просторове компоновання.

Аплікаційне та модельне компоновання використовують для одержання ескізів, за якими розробляють конструкторську

документацію. При площинному апікаційному компоуванні трасування зв'язків між конструктивними елементами здійснюється автоматично за допомогою ЕОМ, яка керує графопобудовником, що видає ескіз конструкції, або фотоскладальною машиною, яка видає фотошаблон печатної плати.

При модельному компоуванні об'ємні складові частини виготовляють з неопласту у вигляді кубів, циліндрів, паралелепіпедів та інших спрощених геометричних форм, які кріпляться до несучої конструкції за допомогою клею або постійних феритових магнітів. Ескіз компоування дістають фотографуванням моделі.

При натурному компоуванні для макетування використовують реальні вузли, блоки, прилади. Натурне компоування дозволяє вирішувати складні задачі, які графічно часто дуже важко показати, і має велику наочність. На практиці натурне компоування суміщують з модельним. При цьому частину складних блоків і пристроїв заміняють їх моделями.

На рис. 3.37 наведено можливі схеми компоування блоків рознімної та книжкової конструкції. При цьому об'єм блока V можна виразити як

$$V = V_1 + V_2, \quad (3.10)$$

де V_1 - об'єм, що займають чарунки; V_2 - об'єм, що займають елементи електричної комутації та монтажні з'єднання.

Для варіантів компоування, наведених на рис. 3.37, об'єми V_1 і V_2 визначатимуться таким чином:

1) для варіантів *a* і *б*

$$V_1 = L H (B - B_k), \quad V_2 = L H B_k; \quad (3.11)$$

2) для варіантів *в* і *г*

$$V_1 = L B (H - H_k), \quad V_2 = L B H_k; \quad (3.12)$$

3) для варіантів d і e

$$V_1 = B H (L - L_k), \quad V_2 = B H L_k. \quad (3.13)$$

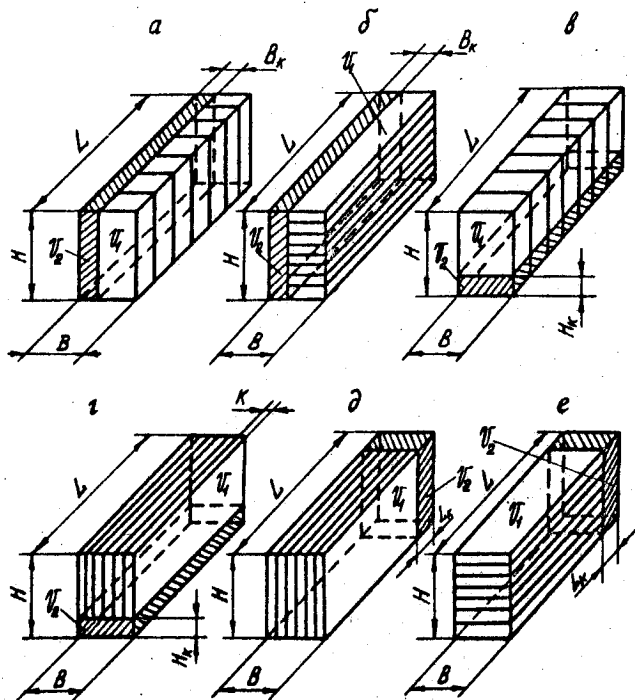


Рис. 3. 37. Схеми компонування блока, побудованого на чарунках

На практиці при конструюванні блоків у більшості випадків виконуються умови $L > H$; $L > B$; $H > B$. Виходячи з формул (3.11) – (3.13) і враховуючи обмеження, одержимо

$$V_1^{d, e} > V_1^{в, г} > V_1^{a, б}; \quad V_2^{d, e} < V_2^{в, г} < V_2^{a, б}. \quad (3.14)$$

У варіантах компонування d і e об'єм, що займають комутаційні елементи, буде найменшим, а об'єм, що займають чарунки –

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 компоновання *б* і *е* у цьому випадку на практиці не використовуються. Їх можна застосовувати при примусовому повітряному охолодженні.

Оскільки $L / h_{\text{ч}} > B / h_{\text{ч}}$, де $h_{\text{ч}}$ - крок розміщення чарунок, то кількість чарунок у варіантах компоновання *a* і *б* більша, ніж у варіантах *г* і *д*.

У книжкових конструкціях блоків кількість "сторінок" (чарунок) звичайно буває невеликою, що зумовлено неможливістю достатнього розкриття чарунок. Тому в книжкових конструкціях блоків використовують варіанти компоновання: *г* і *д*, а в рознімних конструкціях блоків - *a* і *б*.

При конструюванні печатних плат і чарунок кількість вихідних контактів, як правило, складає 60 - 80. З цих позицій переважні варіанти компоновання *a* - для рознімної конструкції і *г* - для книжкової. Але при цьому має місце програш у корисному об'ємі порівняно з варіантами компоновання *в* і *д* відповідно.

При виборі варіанта компоновання 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, тому що $H < L$.

При остаточному виборі компоновальної схеми блока конструкторові часто доводиться йти на компроміс.

4. АВТОМАТИЗАЦІЯ КОНСТРУЮВАННЯ ВУЗЛІВ І ПРИБАДІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

4.1. Загальні питання автоматизації процесу конструювання

4.1.1. Цілі та задачі автоматизації процесу конструювання

Цілі автоматизації процесів конструювання та проектування електронної апаратури (ЕА) - скорочення термінів її виробництва, зниження вартості та 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. До основних задач комутаційно-монтажного проектування в системах автоматизованого проектування ЕА належить розміщення компонентів на (в) монтажному просторі, трасування електричних з'єднань між ними, компоновання елементів і вузлів у блоки. При цьому компоновання та 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 та міцності конструкцій та їх елементів, визначенням допусків та ін.

Розробка конструкторської документації складається з автоматичного оформлення результатів проектування у вигляді креслень, діаграм, таблиць, програмних продуктів, фотошаблонів і т.д.

4.1.2. Структура і принципи побудови систем автоматизованого проектування

Система автоматизованого проектування (САПР) - це сукупність засобів і методів для здійснення автоматизованого проектування. САПР складається з таких частин: технічне,

математичне, програмне, лінгвістичне, інформаційне, методичне та організаційне забезпечення.

Технічне забезпечення містить технічні засоби (ЕОМ, периферійне обладнання та ін.), за допомогою яких вирішуються задачі проектування.

Математичне забезпечення - це математичні моделі, методи та алгоритми для вирішення проектних задач.

Програмне забезпечення - це сукупність програм для реалізації автоматизованого проектування. Воно може бути спеціальним (пакети прикладних програм) і загальним (операційна система ЕОМ, програми керування завданнями, даними, редагуванням, трансляцією та ін.).

Лінгвістичне забезпечення виражається сукупністю мовних засобів, що використовуються в САПР. До нього входять загальновідомі алгоритмічні мови - Асемблер, Паскаль, РІ - І та ін.

Інформаційне забезпечення - це сукупність знань, необхідних для виконання проектування. Воно містить бази даних, архіви та банки даних.

Методичне й організаційне забезпечення є сукупністю документів, що встановлюють склад і правила функціонування засобів САПР і підрозділів проектного підприємства.

Можна виділити такі принципи побудови САПР:

1) САПР - людино-машинна система, тому що є процедури, які частково або повністю не формалізуються і тому виконуються переважно людиною;

2) комплексна автоматизація всіх рівнів проектування;

3) інформаційна погодженість підсистем і програм проектування, яка забезпечується єдністю елементів інформаційного та лінгвістичного забезпечень;

4) відкритість САПР, що забезпечує можливість внесення змін у систему під час її експлуатації, які можуть полягати в додаванні нових або заміні старих елементів у програмному, інформаційному і, можливо, й в технічному і лінгвістичному забезпеченнях;

5) сумісність традиційного й автоматизованого проектування, що особливо важливо при впровадженні автоматизованого проектування на вже діючому підприємстві, тому що додержання даного принципу дозволяє не порушувати на тривалий час нормативне функціонування підприємства.

4.1.3. Організація програмного забезпечення САПР

Як правило, кожний пакет прикладних програм (ППП) орієнтований на обслуговування задач окремої підсистеми САПР. До складу пакета прикладних програм входять керуюча програма та прикладні програми. 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 вирішувальних задач, великий ступінь відкритості системи, менші часові та вартісні витрати на розроблення та зміну малого модуля. При розробленні програмного забезпечення доцільне компромісне вирішення питання про розміри та кількість модулів, що спрягаються один з одним у різних сполученнях. Необхідно також враховувати такі основні рекомендації щодо розроблення програм різних рівнів:

- чим нижче рівень вкладеності програми в сполученні різнорівневих програм, тим ретельніше повинні відпрацьовуватися алгоритми, що реалізуються нею;
- операції обміну між оперативною та зовнішньою пам'яттю як такі, що потребують великих витрат часу, доцільно застосовувати тільки в програмах вищих рівнів;
- при виборі структури даних, що використовуються в програмах різних рівнів, необхідно у першу чергу враховувати вимоги, які ставляться з боку програм нижчих рівнів;
- для програм нижчих рівнів переважніше застосовувати як мову програмування Асемблер (за винятком програм, що реалізують тільки арифметичні вирази), а для програм вищих рівнів - універсальні алгоритмічні мови;
- для забезпечення відкритості САПР розбиття програми на модулі доцільно здійснювати за функціональною ознакою;
- звернення до будь-якого модуля може відбуватися тільки з якого-небудь модуля більш високого рівня;

- спочатку проводиться проектування модулів вищих, а потім нижчих рівнів; у процесі налагодження модулів вищих рівнів відсутні модулі замінюються макетами (заглушками), які імітують зв'язки по керуванню та інформації в деяких типових ситуаціях;

- слід відмовитися від використання оператора безумовного переходу GOTO, бо він робить програму погано структурованою та заплутаною;

- оформлення програмної документації повинно відповідати стандартам ЄСПД.

Єдина система програмної документації (ЄСПД) - комплекс державних стандартів, що встановлюють взаємозв'язані правила розробки, оформлення й обігу програм і програмної документації. Стандарти ЄСПД, які відносяться до 19-го класу, підрозділяються на такі класифікаційні групи: 0 - загальні положення, 1 - основоположні стандарти; 2 - правила виконання документації розробки; 3 - правила виконання документації виготовлення; 4 - правила виконання документації супроводження; 5 - правила виконання експлуатаційної документації; 6 - правила обігу програмної документації; 7 і 8 - резервні групи; 9 - інші стандарти. Найважливіші положення щодо оформлення програмного забезпечення наведено в таких стандартах: ГОСТ 19.103-77; ГОСТ 19.106-78; ГОСТ 19.202-78; ГОСТ 19.401-78; ГОСТ 19.402-78; ГОСТ 19.701-90; ГОСТ 19.404-79.

4.2. Автоматизація компоновання електронної апаратури

4.2.1. Компоновання електронної апаратури. Задачі, критерії, обмеження

Компоновання електронної апаратури поділяється на декілька рівнів. На першому рівні подають функціональну схему пристрою у вигляді схеми з'єднань електричних елементів, вибираючи при цьому оптимальну елементно-технологічну базу пристрою, що проектується. На другому рівні компоновання з мікросхем складають плати типових елементів заміни, які потім групують в блоки, панелі, шафи та ін. Задача компоновання схем конструктивно уніфікованими модулями полягає у розподілі електричної схеми електронної апаратури на модулі заданого

розміру (за кількістю елементів і зовнішніх виводів) з мінімумом міжмодульних з'єднань. Це має місце при компопуванні модулів високого рівня (монтажних панелей, блоків тощо), і від цього залежить якість виконання наступних задач проектування, наприклад, розміщення конструктивних елементів, трасування електричних з'єднань та ін.

Звичайно розподіл здійснюється так, щоб задовольнялись одна або декілька з перелічених нижче умов:

- 1) кожний блок повинен містити не більше P компонентів і Q виводів;
- 2) загальна кількість з'єднань між блоками - мінімальна;
- 3) кількість блоків N - мінімальна;
- 4) кожний блок - складова частина бібліотеки стандартних блоків;
- 5) кількість типів блоків, що визначаються даним розподілом, - мінімальна;
- 6) кількість виводів Q в кожному блоці - мінімальна;
- 7) обмеження на всі затримки розповсюдження сигналів виконуються;
- 8) максимальна затримка сигналів - мінімальна;
- 9) ремонт і тестування здійснюються з найменшими витратами.

При компопуванні схем функціонально типізованими модулями із заданого набору критеріями оптимізації можуть бути: 1) мінімум загальної кількості модулів, необхідних для компопування схеми; 2) мінімум кількості типів використовуваних модулів; 3) мінімум міжмодульних з'єднань, одержаних у результаті компопування схеми.

Основними обмеженнями в задачі компопування є: 1) максимальна кількість елементів у модулях; 2) максимальна кількість зовнішніх виводів; 3) обмеження на спільне або роздільне компопування зазначених типів елементів, зумовлені енергетичними (тепловими) вимогами, вимогами простоти діагностики, експлуатації та ін. Названі критерії та обмеження використовуються окремо або в яких-небудь сполученнях. Наприклад, найпоширенішим є варіант задачі з критерієм 3 і обмеженнями 1 і 2.

При цьому задача зводиться до оптимального розбиття графа, що являє собою початкову схему пристрою, на підграфи із заданою кількістю вершин і обмеженою кількістю зовнішніх ребер. Підграфи відповідають модулям вищого рівня з обмеженою кількістю розміщених у них модулів нижчого рівня та зовнішніх виведень.

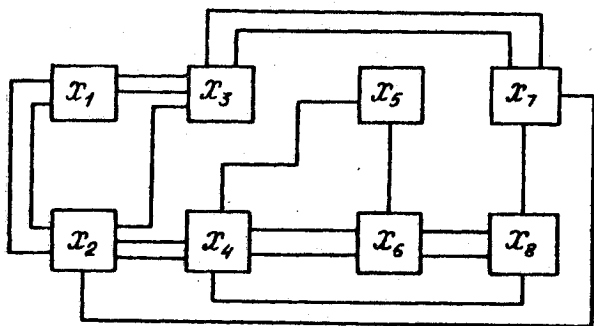


Рис. 4. 1. Схема з'єднання конструктивних елементів

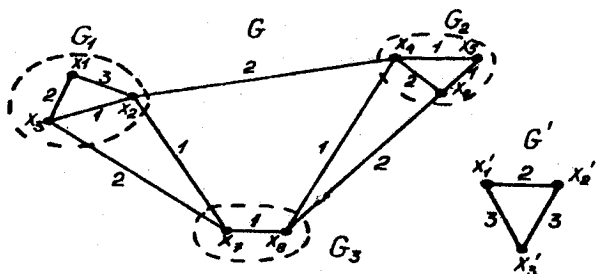


Рис.4.2 Розбиття графа на три вузли

Для формалізації задачі розбиття початкову схему з'єднання елементів (рис. 4.1) замінюють зваженим мультиграфом $G(X,A)$, в якому елементи подано вершинами вузла, а міжелементні з'єднання - ребрами (рис. 4.2). Графу G відповідає матриця суміжності $A = [a_{ij}]_{n \times n}$, де n - кількість елементів у схемі; a_{ij} - елементи матриці, причому $a_{ij} = m$, якщо в графі G є m дуг (X_i, X_j) ; $a_{ij} = 0$, якщо в G немає дуги (X_i, X_j) . Для випадку, зображеного на рис. 4.2, матриця суміжності має такий вигляд:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 3 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & 0 & 1 & 2 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 2 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 1 & 0 \end{bmatrix} \cdot (4.1)$$

Хай задано обмеження на місткість вузлів k і допустиму кількість зовнішніх виведень у вузлі v : $k = 3$; $v = 6$. Потрібно розрізати початковий граф (див. рис. 4.2) на окремі підграфи $G_l = (X_l, A_l)$, де $l = 1, \dots, m$; m - кількість підграфів, на які розбивається граф $G(X, A)$. При цьому кількість міжвузлових з'єднань має бути мінімальною. Для оцінювання різних варіантів вирішення задачі вводиться матриця інциденцій "елементи - вузли" (матриця рішень) $B = [b_{ij}]_{n \times m}$, в якій $b_{ij} = 1$, якщо $x_i \in X_l$; $b_{ij} = 0$ в протилежному випадку; n - кількість вершин у графі G ; m - кількість підграфів. На рис. 4.2 показано перетворення початкового графа G при розбитті схеми на три вузли в граф $G' = (X', A')$, в якому множина вершин X' відповідає вузлам розбиття, множина ребер A' визначає міжвузлові з'єднання, а цифрами позначена вага відповідних ребер. Для зазначеного розбиття матриця рішень B має вигляд

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot (4.2)$$

Загальна кількість зовнішніх з'єднань l -го вузла графа G' визначається як

$$v_l = \sum_{x_i \in X_l} \sum_{x_j \in X_l^c} a_{ij}. \quad (4.3)$$

Наприклад, кількість зовнішніх з'єднань вузла l дорівнюватиме

$$v_1 = a_{14} + a_{15} + a_{16} + a_{17} + a_{18} + a_{24} + a_{25} + a_{26} + a_{28} +$$

$$+ a_{34} + a_{35} + a_{36} + a_{37} + a_{38} = a_{24} + a_{27} + a_{37} = 2 + 1 + 2 = 5. \quad (4.4)$$

Використовуючи матрицю рішень B , вираз (4.3) можна записати таким чином:

$$v_l = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} b_{il} (1 - b_{jl}). \quad (4.5)$$

Для оцінювання міри зв'язності схеми міжвузлових з'єднань служить величина

$$S = 0.5 \sum_{l=1}^m v_l. \quad (4.6)$$

Тоді критерій оптимізації міжвузлових з'єднань матиме вигляд

$$F = 0.5 \sum_{l=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} b_{il} (1 - b_{jl}). \quad (4.7)$$

Обмеження на місткість вузла записується так:

$$\sum_{i=1}^n b_{il} \leq k, l = 1, 2, \dots, m. \quad (4.8)$$

Обмеження на допустиму кількість виводів у вузлі подають у вигляді нерівності

$$v_l \leq v, \quad l = 1, 2, \dots, m. \quad (4.9)$$

Отже, задачу розбиття можна сформулювати як мінімізацію функціонала (4.7) при обмеженнях (4.8), (4.9) і варійованій матриці змінних B . Цю задачу нелінійного цілочислового програмування можна вирішити, наприклад, методом гілок і меж. Однак при вирішенні задач

великої розмірності методи нелінійного цілочислового програмування не застосовуються через надмірні витрати часу та пам'яті ЕОМ. Тому найбільше поширення знайшли наближені алгоритми вирішення задач розбиття.

4.2.2. Алгоритми компоювання вузлів

Для двох основних класів задач компоювання можна виділити алгоритми компоювання конструктивних вузлів і алгоритми компоювання типових вузлів (чарунок).

З точки зору обчислювальної процедури алгоритми компоювання конструктивних вузлів можна поділити на послідовні, паралельно-послідовні та ітераційні. В алгоритмах першого типу вводиться послідовний процес компоювання вузлів, при якому на кожному кроці в черговий вузол додається один з елементів схеми і здійснюється перевірка заданих обмежень. У паралельно-послідовних алгоритмах спочатку виділяють деяку початкову множину груп елементів, які потім розподіляються по вузлах з урахуванням критеріїв та обмежень на компоювання. Послідовні та паралельно-послідовні алгоритми застосовуються для створення базового (початкового) варіанта компоювання при заданих обмеженнях на кількість елементів у вузлі та кількість виводів на вузлі. Ітераційні алгоритми компоювання служать для поліпшення деякого початкового варіанта компоювання відповідно до прийнятого критерію.

Типовим прикладом послідовного алгоритма є метод максимальної кон'юнкції - мінімальної диз'юнкції. При цьому кон'юнкцією $Con(x_i, X^*)$ називається показник зв'язності елемента x_i , значення якого дорівнює кількості з'єднань між елементом x_i і підмножиною елементів X^* , призначених у вузол, що формується. Величина даного показника визначається за формулою

$$Con(x_i, X^*) = \sum_{x_j \in X^*} a_{ij}. \quad (4.10)$$

Для двох елементів x_i, x_j ця величина обчислюється як

$$Con(x_i, x_j) = a_{ij}. \quad (4.11)$$

Диз'юнкцією $Dis(x_i, X^*)$ називається показник зв'язності елемента x_i , значення якого дорівнює кількості з'єднань, інцидентних елементу x_i , але не інцидентних підмножині X^* елементів, призначених у вузол, що формується. Розмір даного показника розраховується за залежністю

$$Dis(x_i, X^*) = \sum_{j=1}^n a_{ij} - Con(x_i). \quad (4.12)$$

Для двох елементів x_i, x_j ця величина визначається як

$$Dis(x_i, x_j) = \sum_{j=1}^n a_{ij} - c. \quad (4.13)$$

Якщо підмножину розподілених у вузлі елементів позначити через X^P , а підмножину нерозподілених елементів - X^H , то $X^P \cup X^H = X$, де X - множина всіх конструктивних елементів. При цьому суть алгоритму полягає в такому:

1) для формування чергового вузла з підмножини елементів X^H спочатку вибирають елемент x_i , що має максимальну кількість зовнішніх зв'язків, тобто значення $Con(x_i, X^P)$ для цього елемента максимальне;

2) вибраній елемент закріплюють як перший елемент вузла, що формується;

3) у подальшому на кожному кроці формування вузла з підмножини X^H вибирають елемент x_j , включення якого у вузол не порушує обмежень на k і v і який максимально зв'язаний з елементами, вже поміщеними у вузлі, тобто має максимальне значення $Con(x_j, X^P)$; у випадку, якщо є декілька таких елементів, вибирають елемент з мінімальним значенням диз'юнкції $Dis(x_j, X^P)$;

4) формування вузла закінчується, якщо включення будь-якого елемента призводить до порушення обмежень розбиття.

Ітераційні алгоритми залежно від початкового варіанта розбиття можуть бути двох типів. Початковим варіантом для ітераційних алгоритмів першого типу є деякий початковий варіант розбиття, одержаний вручну або за допомогою одного з послідовних алгоритмів. В основу цих алгоритмів покладено ітераційний процес обміну місцями

елементів (парні перестановки) або груп елементів (групові перестановки), що належать різним вузлам. Заміна елементів проводиться з метою оптимізації вибраного критерію F_j . Початковим варіантом для ітераційних алгоритмів другого типу є розбиття схеми на дві частини. Спочатку здійснюють парні або групові перестановки з цих частин для мінімізації зв'язків між ними. Потім розглядають по черзі кожну з частин, які, в свою чергу, розбивають на два блоки з наступною мінімізацією зв'язків між блоками шляхом перестановок елементів. Зазначений процес триває до моменту одержання всіх вузлів розбиття.

Розглянемо ітераційний алгоритм парних перестановок, в якому одну ітерацію складає деяка кількість проб перемін місцями чергового елемента x_i деякого вузла зі всіма елементами x_j інших вузлів. Після кожної проби підраховується зміна функції - критерію $\Delta F(x_i, x_j)$. Кінець ітерації визначається двома способами:

1) для обміну вибирають перший елемент x_i , для якого $\Delta F(x_i, x_j) > 0$;

2) для обміну вибирають елемент x_i , для якого $\Delta F(x_i, x_j) > 0$ і максимальне серед усіх можливих варіантів обміну.

Переміна місцями елементів x_i і x_j здійснюється перестановкою місцями рядків і стовпців у матриці рішень B . Процес ітерацій закінчується у тому випадку, якщо при черговій ітерації матриця B не змінюється або кількість ітерацій перевищує їх задану величину.

Найпоширенішим критерієм оптимізації ΔF є критерій, що визначає міру виграша в числі зовнішніх з'єднань при заміні елемента x_i на елемент x_j . Позначимо підмножини всіх вершин тих вузлів, до яких входять елементи x_i і x_j , відповідно через Y_{X_i} і Y_{X_j} . Тоді кількість зовнішніх з'єднань елемента з елементами із підмножини Y_{X_j} визначається за виразом

$$E_{xi} = \text{Con}(x_i, Y_{xj}), \quad (4.14)$$

а кількість внутрішніх з'єднань елемента X_i з елементами із Y_{xi} -

$$I_{x_i} = \text{Con}(x_i, Y_{x_i}). \quad (4.15)$$

Різниця кількості зовнішніх і внутрішніх з'єднань елемента

$$D_{x_i} = E_{x_i} - I_{x_i}. \quad (4.16)$$

Якщо поміняти місцями елементи X_i і X_j , то різниця кількості міжвузлових з'єднань до і після перестановки буде такою :

$$\Delta F = D_{x_i} + D_{x_j} - 2\text{Con}(x_i, x_j). \quad (4.17)$$

Парні перестановки поліпшують первісні розбиття, але не забезпечують досягнення оптимального розбиття через обмежену кількість елементів, що беруть участь в обміні, та наявність у вузлах сильно зв'язаних елементів. Тому для поліпшення результатів розбиття іноді необхідні групові перестановки елементів. Цей метод доцільніше застосовувати при вирішенні задач, в яких функція ΔF має велику кількість локальних екстремумів.

4.3. Автоматизація розміщення конструктивних елементів

4.3.1. Розміщення конструктивних елементів.

Задачі, критерії, обмеження

При розміщенні модулів у чарунках, чарунок у панелях, панелей у стояках та ін. виникає задача розподілення конструкторських одиниць у заданому монтажному просторі з урахуванням відповідних вимог і обмежень.

Початкові дані при вирішенні задачі розміщення: схема з'єднань конструктивних елементів деякого вузла або її граф; конструктивні параметри елементів; параметри монтажного простору вузла; ряд обмежень на взаємне розташування окремих елементів, які враховують особливості розроблюваної конструкції.

Основними критеріями, що визначають якість вирішення задачі розміщення, можуть бути: сумарна довжина всіх монтажних з'єднань між елементами; максимальна кількість з'єднань між елементами, що знаходяться в сусідніх позиціях або в позиціях, зазначених конструктором; мінімум кількості перетинів провідників; кількість переходів з шару в шар; максимум кількості ланцюгів простої конфігурації; максимально можливі наводки в ланцюгах зв'язку елементів; концентрація джерел тепла в монтажному просторі.

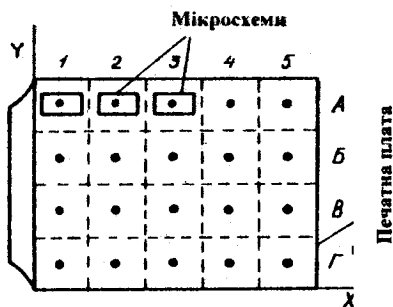


Рис. 4.3. Печатна плата ТЕЗ

Найбільше поширення в алгоритмах розміщення одержав перший критерій, тому що зменшення довжин з'єднань поліпшує електричні характеристики пристрою, спрощує трасування печатних провідників і знижує трудомісткість виготовлення печатних плат.

Обмеження для задачі розміщення пов'язані з конкретними конструктивно-технологічними особливостями вузла та складових його елементів, а також з вимогами перешкодостійкості й теплообміну в конструкції.

Монтажний простір, в якому розміщуються елементи будь-якого вузла і здійснюється їх електричне з'єднання, може бути регулярним і нерегулярним. Регулярний монтажний простір має прямокутну форму, і однакові за розмірами елементи розміщуються з постійним кроком по вертикалі та горизонталі. Прикладом може служити печатна плата типового елемента заміни (рис. 4.3). Нерегулярний монтажний простір характеризується тим, що елементи мають різні розміри і форму і не мають точно визначених посадочних місць.

Залежно від технології виготовлення між'єднань відстані між позиціями установлення елементів підраховуються за однією з таких формул:

1) в евклідовій метриці - як відстань між двома точками на площині

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}; \quad (4.18)$$

2) в ортогональній (лінійній) метриці (Манхеттенова відстань)

$$d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|; \quad (4.19)$$

3) в нелінійній метриці

$$d_{ij} = (x_i - x_j)^k + (y_i - y_j)^k, \quad (4.20)$$

де $(x_i, y_i); (x_j, y_j)$ - координати i -ї та j -ї позицій комутаційної плати; $k = 2, 3, \dots$

Формула (4.18) відповідає проведенню провідників найкоротшим шляхом між з'єднуваними точками. Вираз (4.19) передбачає розкладку провідників по каналах або магістралях, паралельних сторонам плати, що характерно для печатного монтажу з ортогональним рисунком з'єднань і джгутового монтажу. Формулу (4.20) застосовують за наявності особливих вимог щодо максимальної довжини окремих з'єднань (як правило, $k = 2$).

Формалізацію задачі розміщення розглянемо на прикладі розміщення модулів (мікросхем) на печатній платі, причому печатна плата являє собою регулярний монтажний простір, а елементи мають однакові габаритні розміри. Покажемо схему з'єднань модулів зваженим мультиграфом $G=(X,A)$, який характеризує матриця суміжності $A = [a_{ij}]_{n \times n}$, де n - кількість модулів, а a_{ij} - кількість

з'єднань між модулями x_i і x_j . При поданні схеми графом, при якому множині модулів M системи взаємно однозначно ставиться у відповідність множина X вершин графа $G = (X,A)$, а множині S з'єднань схеми - множина A ребер графа, є недолік: за рахунок розв'язання вузлів схеми в графі G з'являються повні підграфи, тобто вводиться велика кількість надмірних ребер у графі, що ускладнюють вирішення задач проектування. Це вносить надмірну інформацію і призводить до гірших рішень. З метою усунення зазначеного недоліку при переході від схеми до графа враховується специфіка модулів, яка дозволяє у випадку зв'язку одного модуля з іншим з'єднувати тільки контакти, що належать одному рівнопотенціальному ланцюгу. На рис. 4.4 показано два способи переходу від модульної схеми до графів, що ліквідують цей недолік. Фрагмент схеми, зображений на рис. 4.5, можна подати або повним графом G , або графом G' , одержаним з використанням одного із способів переходу від модульної схеми до графів (рис. 4.6).

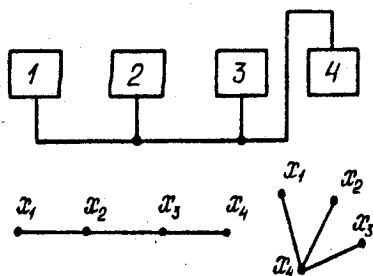


Рис. 4.4. Способи переходу від модульної схеми до графів, що усувають надмірні ребра

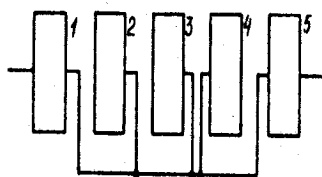


Рис. 4.5. Схема з'єднання модулів

Площина печатної плати в координатах XU розбивається на m позицій для розміщення модулів (рис. 4.3), причому $m \geq n$. У відповідність печатній платі ставиться граф $G_r = (P, U)$, множина вершин якого відповідає центрам посадочних місць позицій, а множина ребер - координатній решітці, що зв'язує вершини графа.

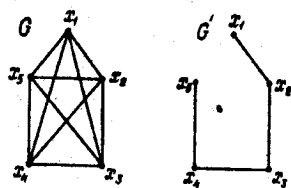
Граф G_r характеризується матрицею відстаней $D = [d_{ij}]_{m \times m}$, де

d_{ij} - відстань між позиціями i та j відповідно до вибраної метрики.

Результат рішення задачі розміщення подається матрицею інциденцій

$B = [b_{ij}]_{n \times m}$, де $b_{ij} = 1$, якщо елемент x_i знаходиться в позиції p_j , і

$b_{ij} = 0$ - у протилежному випадку.



Повний граф

Рис.4.6. Повний граф G і граф G' , що усуває надмірні ребра

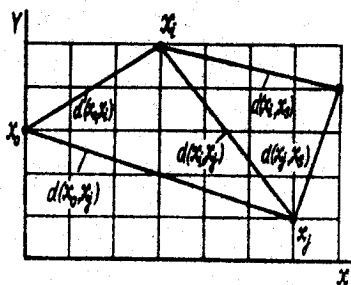


Рис.4.7. Розміщення модулів на полі печатної плати

На рис. 4.7 показано взаємне положення модулів X_i , X_j , X_s і положення електричного з'єднувача X_0 . З цього рисунка видно, що сумарну довжину з'єднань між X_i і X_j можна оцінити величиною $a_{ij} \cdot d(x_i, x_j)$, де $d(x_i, x_j)$ - відстань між вершинами графа G_r , в які поміщено модулі X_i і X_j . Тоді сумарна довжина з'єднань при довільному розміщенні модулів визначається як

$$F(B) = 0.5 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{ij} d(x_i, x_j). \quad (4.21)$$

Задача розміщення полягає в мінімізації функціонала F при варійовній матриці B і обмеженнях

$$\sum_{i=1}^n b_{ij} = \sum_{j=1}^m b_{ij} = 1, \quad b_{0k} = 1, \quad (4.22)$$

де k - номер позиції, що відповідає електричному з'єднувачу.

Для точного вирішення задачі розміщення при $n < 15$ можливе застосування метода гілок та меж, для задач більшої складності використовують наближені методи. При цьому можна виділити три основні групи наближених алгоритмів вирішення задач розміщення: послідовні, ітераційні та неперервно-дискретні.

4.3.2. Алгоритми розміщення конструктивних елементів

У послідовних алгоритмах початкову множину модулів розміщують на платі за певну кількість кроків, меншу від n , тому що звичайно перед початком розміщення частина модулів і електричних з'єднувачів одержують фіксовані позиції. На кожному кроці з множини X_n нерозміщених модулів вибирається черговий модуль X_i і встановлюється в незайняту позицію P_l . У подальшому модуль не переміщується.

Різновиди алгоритмів визначаються правилами вибору модуля і встановлення його у вибрану позицію. У найпростішому випадку

вибір модуля базується на оцінюванні кількості зв'язків модуля X_i з розміщеними (із множини X_p) та нерозміщеними модулями:

$$F(x_i) = \sum_{x_j \in X^p} a_{ij} - \sum_{x_j \in X^H} a_{ij}. \quad (4.23)$$

Вибирається той модуль, для якого $F(x_i)$ максимальне.

Найпростіше правило встановлення базується на оцінюванні сумарної довжини часткових з'єднань модуля X_i з уже встановленими модулями із X_p :

$$F(P_l) = \sum_{x_j \in X_p} a_{ij} d(x_i, x_j). \quad (4.24)$$

Вибирається та з позицій P_l для якої значення $F(P_l)$ мінімальне.

Програми, що реалізують найпростіші послідовні алгоритми, наведено у працях [29,30].

В ітераційних алгоритмах початковий варіант розміщення модулів задається вручну, випадковим чином або за допомогою одного з послідовних алгоритмів. Потім різні варіанти встановлення одержують на кожній ітерації шляхом парних (групових) перестановок модулів або випадковим чином. Кожний із одержаних варіантів розміщення оцінюється за певним критерієм, вибирається і запам'ятовується кращий варіант. Ітерації закінчуються або після досягнення локального мінімуму критерію оптимізації, або після заданої кількості ітерацій.

У найпростішому ітераційному алгоритмі парних перестановок на кожній ітерації вибирають пари модулів X_i і X_j з деякого варіанта розміщення та міняють їх місцями з обчисленням функції-критерію ΔF . Запам'ятовується або перша перестановка, для якої $\Delta F > 0$, або перестановка, для якої ΔF максимальне. При цьому різновиди алгоритму відрізняються стратегією вибору пар модулів і способом оцінювання критерію ΔF . Вибір пар модулів може являти собою випадкову процедуру, перестановку пар модулів у порядку зменшування степеня зв'язності кожного модуля або вибір пар модулів, які стоять поряд. У найпростішому випадку як ΔF вибирають зміну сумарної довжини з'єднань при перестановці двох модулів.

Ітераційні алгоритми потребують більших витрат часу та пам'яті ЕОМ, ніж послідовні алгоритми, а їх ефективність залежить від початкового розміщення конструктивних елементів.

До неперервно-дискретних алгоритмів належать алгоритми, що базуються на механічній або електричній інтерпретації задачі розміщення.

При механічній інтерпретації задача розміщення зводиться до задачі руху матеріальних точок (що замінюють модулі) на неперервній площині до положення рівноваги під час дії на них деяких сил притягання і відштовхування, які відповідно пропорціональні кількості зв'язків між модулями та їх розмірам. Положення рівноваги відповідатиме оптимальному розміщенню модулів.

При електричній інтерпретації зв'язки між модулями замінюються провідностями, а модулі - вузлами деякої електричної схеми. Для одержаної схеми складаються рівняння за першим і другим законами Кірхгофа, рішення яких потім перетворюються в оптимальне розміщення модулів.

Більш докладно вказані алгоритми розглянуто в працях [30, 31]. Вони застосовуються для вирішення задач розміщення різногабаритних, але не кратних один одному за розмірами елементів, таких, як гібридні та твердотільні мікросхеми, електрорадіоелементи печатних плат аналого-цифрової техніки та ін.

4.4. Автоматизація трасування електричних з'єднань

4.4.1. Трасування електричних з'єднань.

Задачі, критерії, обмеження

Задачі трасування електричних з'єднань полягають у знаходженні геометрично визначеного способу з'єднань еквіпотенціальних виводів схеми. Задачі трасування можна поділити на дві групи: трасування провідних з'єднань і трасування печатних (плівкових) 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 і плівкових з'єднань безпосередньо пов'язано 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. Параметри комутаційного поля містять в собі його розміри, координати всіх контактних площадок і зовнішніх виводів печатної плати та ін.

Під час вирішення задачі трасування звичайно використовуються такі критерії: мінімум сумарної довжини трас, мінімум кількості трас довжиною більше заданої, мінімум числа згинів 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 заданої; 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 трасі, не повинен перевищувати допустимого.

Задачі трасування більш трудомісткі порівняно з задачами компоновання і розміщення конструктивних елементів. Так, наприклад, час виконання трасування з'єднань у чарунці, що містить 40...100 модулів, приблизно на два порядки більший, ніж час, що витрачається на компоновання і розміщення модулів у чарунці.

Для проведення трас між двома контактними площадками застосовують такі алгоритми трасування [32, 33]: хвильовий алгоритм Лі, хвильовий алгоритм з числовою хвилею за mod 3, променевий та евристичний.

4.4.2. Алгоритми трасування електричних з'єднань

При використанні алгоритмів трасування комутаційне поле розподіляється 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. 4.8).

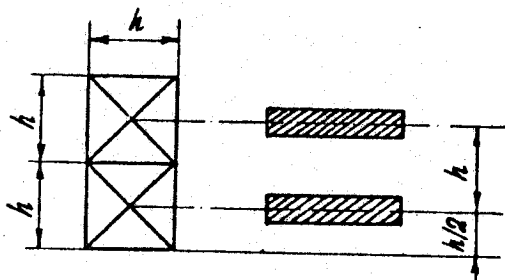


Рис. 4. 8. Відповідність чарунки комутаційного поля основній координатній сітці

Хвильовий алгоритм Лі реалізується в два етапи :

- 1) поширення числової хвилі;
- 2) проведення траси.

При цьому вся множина квадратів комутаційного поля (рис. 4.9) розбивається на підмножину вільних квадратів, по яких може проходити траса, що проводиться, і підмножину зайнятих квадратів, до якої належать квадрати, що відповідають контактам елементів, виводам електричних з'єднувачів та ін.

Поширення числової хвилі відбувається з початкової точки контакту А.

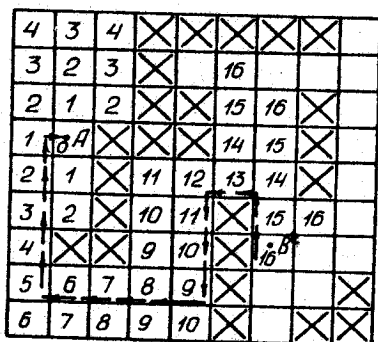


Рис. 4. 9. Хвильовий алгоритм трасування

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, сусіднім з квадратами попереднього фронту, надається маса, на одиницю більша. При цьому номер фронту збігається зі значенням маси квадратів і кількістю кроків алгоритму. Поширення хвилі припиняється після досягнення її фронтом 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 проведення траси проглядаються всі відмічені квадрати в зворотному порядку від В до А, спершу - квадрати, сусідні з В, і вибирається той, в якому маса мінімальна. У подальшому аналогічно проглядаються квадрати, сусідні з квадратом, вибраним на попередньому кроці, та вибирається квадрат з мінімальною масою. Процедура закінчується при досягненні квадрата з контактом А. Координати вибраних квадратів в 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 перегинів (для цього випадку оптимальну трасу показано на рис. 4.9).

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 прокладки 90 ... 95% трас.

Основний недолік цього алгоритму - великий обсяг використовуваної пам'яті та великі витрати машинного часу при вирішенні задач трасування печатних плат, причому близько 80% часу йде на поширення хвилі.

Хвильовий алгоритм застосовується 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. 4.10). При цьому в процесі поширення хвилі квадратам присвоюють маси 1, 2, 0, 1, 2, 0, При проведенні траси послідовність мас квадратів, що вибираються, має вигляд... 0, 2, 1, 0, 2, 1,

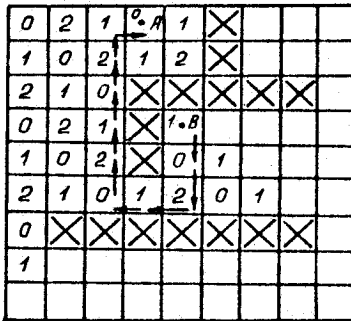


Рис. 4.10. Алгоритм трасування з числовою хвилею за mod 3

Скоротити витрати пам'яті ЕОМ і машинного часу дозволяють також променеві алгоритми трасування, які запропонував Л.Б. Абрайтіс [33]. Основна ідея алгоритму полягає в дослідженні квадратів для визначення шляху між контактами a , b за деякими наперед заданими напрямками, подібно променям. Променеві алгоритми трасування розглянемо на прикладі двопроменевого алгоритму (рис. 4.11). У цьому алгоритмі поширення двох променів

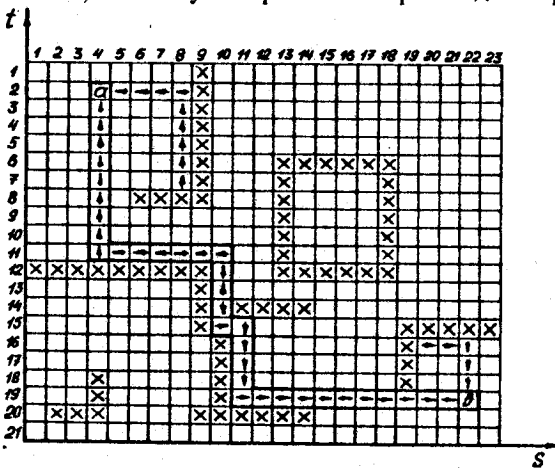


Рис. 4.11. Променевий алгоритм трасування

від кожного контакту a і b відбувається одночасно до зустрічі двох різноіменних променів у деякому квадраті. На початку роботи алгоритму обчислюються пріоритетні напрямки поширення променів, що залежать від положення з'єднаних контактів. Наприклад, для контактів a і b (див. рис. 4.11) взято по два промені з протилежними напрямками: перший - від контакту a вниз, вправо; другий - від контакту b - вліво, вверху. Поширення кожного променя припиняється, якщо всі сусідні квадрати, які вибираються з числа можливих, зайняті або заборонені (блокування променя) або якщо промені від різних контактів перетинаються в деякому квадраті. Прикладами першого випадку є другий промінь від контакту a (вправо, вниз) і перший промінь від контакту b (вверх, вліво), заблоковані забороненими чарунками. Другому випадку відповідає перетин на вісімнадцятому кроці алгоритму першого променя від контакту a (вниз, вправо) і другого променя від контакту b (вліво, вверху).

Променевий алгоритм менш універсальний, ніж хвильовий, але при його використанні час обчислень скорочується майже на порядок. Оскільки за допомогою променевого алгоритму вдається провести близько 80% трас, то його доцільно застосовувати разом з хвильовим алгоритмом. Останній використовується на другому етапі трасування для побудови нерозведених з'єднань. Променеві алгоритми особливо вигідно застосовувати при проектуванні печатних плат з невисокою густиною монтажу.

Найбільш швидкодіючими та простими в програмуванні є евристичні алгоритми трасування з'єднань (рис. 4.12). У цих алгоритмах, на відміну від хвильового, не розглядають усі можливі траси для вибору оптимальної, а одразу 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 здійснюється або на першим вільним напрямком, або за пріоритетним порядком.

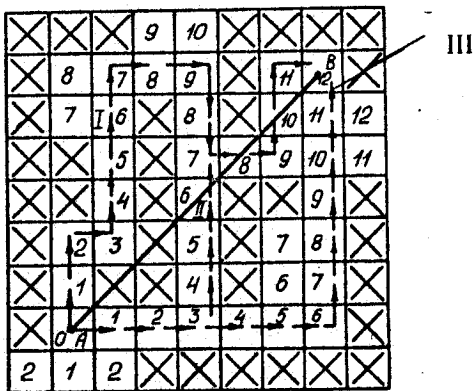


Рис. 4. 12. Евристичний алгоритм трасування:
III- хвильовий алгоритм

Розглянемо евристичний алгоритм, в якому загальний напрямek руху при проведенні траси повинен проходити вздовж прямої АВ, що з'єднує контакти А і В. Якщо перешкода немає, то вибирається напрямek у бік цієї прямої. Під час вибору пріоритетного порядку проведення шляху з урахуванням перешкод (уверх, вправо, вниз, вліво) виходить варіант I траси. У випадку зміни порядку руху (вправо, вверх, вліво, вниз) конфігурація траси зміниться (варіант II). Побудовані за допомогою даного алгоритму траси не є оптимальними. Для порівняння показано варіант III траси, побудований за допомогою хвильового алгоритму при оптимізації з'єднання за двома критеріями: мінімумом довжини та кількістю згинів провідника.

Евристичні алгоритми застосовуються 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.

ЗАКІНЧЕННЯ

Сучасний стан приладобудування характеризується, з одного боку, широким використанням мікроелектронної бази, в 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 та надійність і орієнтовані на застосування в цифрових системах, наприклад у ВОК.

Основними показниками ефективності та якості сучасних ВОК є висока точність і надійність в складних експлуатаційних умовах, малі габарити та маса, а також невисока вартість при серійному виготовленні.

Для поліпшення цих показників необхідно вести розроблення ВОК на сучасному науково-технічному рівні. Великий ефект при цьому може дати, наприклад, перехід від аналогових до цифрових методів подання і обробки інформації, широке впровадження інтегральної мікроелектроніки, застосування лазерних ефектів, уніфікація і стандартизація конструкцій, широке використання принципів зрівноваження і комплексування, застосування мікрообчислювачів для реалізації функції перетворення, корекції похибок і обробки інформації, використання систем вбудованого контролю та сучасних засобів індикації й відображення інформації, впровадження САПР та ін.

Для створення малогабаритної, високоефективної, надійної та економічної апаратури ВОК треба вирішити три основні задачі сучасного конструювання: комплексної мініатюризації, охолодження та підвищення технологічності. При вирішуванні задачі комплексної мініатюризації необхідно вибрати оптимальну структуру конструкції, матеріали і 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 та із застосовуваними мікросхемами.

Чим вище ступінь мініатюризації функціонального вузла, тим вища питома розсіювальна потужність. Тому без ретельно обміркованого та виконаного охолодження не можна забезпечити надійність та ефективність сучасної апаратури. Застосування

модульного принципу з використанням стандартних і уніфікованих вузлів при створенні нової апаратури забезпечує високу її технологічність.

Багато проблем конструювання ВОК, пов'язаних із затримками та перекрученням сигналів, забезпеченням теплових режимів, задачами компоновання, розміщення, трасування, потрібно вирішувати на якісно новому рівні.

Найперспективнішими напрямками автоматизації проектування ВОК є:

- 1) підвищення ефективності математичного та програмного забезпечення за рахунок використання особливостей нової обчислювальної техніки;
- 2) створення типових пакетів прикладних програм;
- 3) розвиток методів конструкторського проектування на основі критеріїв, що враховують вимоги електромагнітної сумісності та забезпечення потрібних теплових режимів; розробка концепції багаторівневої оптимізації;
- 4) автоматичне складання ескізів топології інтегральних схем, спільне вирішення задач розміщення та трасування.

Все це зумовлює необхідність подальшого розвитку теоретичних основ конструювання, в тому числі й автоматизації, підвищує роль курсу при підготовці спеціалістів у галузі проектування вимірювально-обчислювальних комплексів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гелль П.П., Иванов-Есипович Н.К. Конструирование и микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры: Учебник для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, 1984. - 536 с.
2. А.с. 1252736 СССР. Устройство для автоматического измерения и регулирования плотности тока в гальванической ванне/Кошевой Н.Д., Кошель В.А. Опубл. 23.08.86. Бюл. № 31.
3. А.с. 1497299 СССР. Устройство для нанесения гальванических покрытий/Кошевой Н.Д., Капустин А.А., Трухляк Г.А., Трухляк Л.А. Опубл. 30.07.89. Бюл. № 28.
4. Козловский Н.С., Виноградов А.Н. Основы стандартизации, допуски, посадки и технические измерения. - М.: Машиностроение, 1982.- 284 с.
5. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 01.07.90.
6. ГОСТ 19186-81. Доски приборные кабин самолетов с двумя летчиками. Требования к компоновке и установке приборных досок летчиков. Введ. 01.07.82.
7. ГОСТ 24987-81. Доски приборные кабин самолетов с двумя летчиками. Требования к компоновке и установке приборной доски бортинженера. Введ. 01.07.82.
8. Поляков К.П. Конструирование приборов и устройств радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Радио и связь, 1982. - 240 с.
9. Токарев М.Ф., Талицкий Е.Н., Фролов В.А. Механические воздействия и защита радиоэлектронной аппаратуры. - М.: Радио и связь, 1984. - 223 с.
10. Карпушин В.Б. Вибрации и удары в радиоаппаратуре. - М.: Сов. радио, 1971. - 344 с.
11. Краткий справочник конструктора радиоэлектронной аппаратуры / Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Сов.радио, 1972.- 856 с.
12. Кошевой Н.Д. Конструирование узлов измерительно-вычислительных комплексов летательных аппаратов: Учеб. пособие по курсовому проектированию и лабораторному практикуму. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1989.- 86 с.

13. Кошевой Н.Д. Расчет пружин с использованием ЭВМ: Учеб.пособие по курсовому проектированию. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1987. - 32 с.
14. Величко А.Ф. Конструирование РЭА ЛА: Консп. лекций: В 2 ч. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1974. Ч. 1. - 133 с.
15. Верхомятницкий П.Д., Латинский В.С. Справочник по модульному конструированию радиоэлектронной аппаратуры. - Л.: Судостроение, 1983. - 232 с.
16. Справочник конструктора РЭА: Общие принципы конструирования/ Под ред. Р.Г. Варламова. - М.: Сов.радио, 1980.- 478 с.
17. Мырова Л.О., Челиженко А.З. Обеспечение радиационной стойкости аппаратуры связи.- М.: Радио и связь, 1983.- 216 с.
18. Романов Ф.И., Шахнов В.А. Конструкционные системы микроЭВМ. - М.: Радио и связь, 1983.-120 с.
19. Романов Ф.И., Шахнов В.А. Конструкционные системы микро- и персональных ЭВМ. - М.: Высш. шк., 1991.-272 с.
20. Савельев А.Я., Овчинников В.А. Конструирование ЭВМ и систем. - М.: Высш. шк., 1989. - 312 с.
21. Конструирование приборов: В 2 кн. / Под ред. В. Краузе; Пер. с нем. В.Н. Пальянова; Под ред. О.Ф. Тищенко. - М.: Машиностроение, 1987. Кн.2. - 376 с.
22. Савельев А.С. Устройства отображения информации: Учеб. пособие по курсовому проектированию и лабораторному практикуму. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1994. - 63 с.
23. Яблонский Ф.М., Троицкий Ю.В. Средства отображения информации; Учебник для вузов. - М.: Высш.шк., 1985.- 209 с.
24. Быстров Ю.А., Литвин И.И., Дерсланов Г.М. Электронные приборы для отображения информации. - М.: Радио и связь, 1985. - 240 с.
25. Гаприндашвили Х.И., Джангобегов Р.П., Коган В.Е., Накаузе Д.М. Волоконная оптика. Материалы, технология, применение. - Тбилиси: Мецниереба, 1984. - 148 с.
26. Жаботинский М.Е. Световодная связь. - М.: Знание, 1977. - 64 с.
27. Кацуяма Т., Мацумара Х. Инфракрасные волоконные световоды/ Пер. с англ. - М.: Мир, 1992. - 272 с.
28. Кошевой Н.Д. Автоматизация конструирования узлов измерительно-вычислительных комплексов летательных аппаратов;

Учеб. пособие по курсовому проектированию и лабораторному практикуму. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1990. - 93 с.

29. Методические указания к применению программных модулей в системе автоматизированного конструирования РЭА / Сост. В.Д.Акулов. - Харьков: Харьк. авиац. ин-т, 1984. - 20 с.

30. Селютин В.А. Машинное конструирование электронных устройств. - М.: Сов. радио, 1977. - 383 с.

31. Петренко А.И., Тетельбаум А.Я. Формальное конструирование электронно-вычислительной аппаратуры. - М.: Сов. радио, 1979. - 256 с.

32. Норенков И.П., Маничев В.Б. Системы автоматизированного проектирования электронной и вычислительной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высш. шк., 1983. - 272 с.

33. Морозов К.К., Одинокое В.Г., Курейчик В.М. Автоматизированное проектирование конструкций радиоэлектронной аппаратуры: Учеб. пособие для вузов. - М.: Радио и связь, 1983. - 280 с.

Перелік основних стандартів,
які використовуються в приладобудуванні

Д Транспортные средства и тара

Д О Общие правила и нормы по транспорту и таре

Д ОО Термины и обозначения

ГОСТ 19919-74 Контроль автоматизированный технического состояния изделий авиационной техники. Термины и определения.

ГОСТ 21658-76 Освещение и световая сигнализация самолетов и вертолетов. Термины и определения.

ГОСТ 22686-85 Средства отображения информации экипажу самолета и вертолета. Термины и определения.

ГОСТ 22837-77 Оборудование самолетов и вертолетов пилотажно-навигационное бортовое. Термины и определения.

ГОСТ 26120-84 Акустика авиационная. Термины и определения.

Д 02 Нормы расчета и проектирования

ГОСТ 18977-79 Комплекты бортового оборудования самолетов и вертолетов. Типы функциональных связей. Виды и уровни электрических сигналов.

Д I Авиация

Д I0 Классификация, номенклатура и общие нормы

ГОСТ 2645-71 Аппараты летательные. Технические требования к надписям. Цвета окраски агрегатов.

ГОСТ 19186-81 Доски приборные кабин самолетов с двумя летчиками. Требования к компоновке и установке приборных досок летчиков.

ГОСТ 20296-81 Самолеты и вертолеты гражданской авиации. Допускаемые уровни шума в самолетах и кабинах экипажа и методы измерения шума.

ГОСТ 23718-93 Самолеты и вертолеты пассажирские и транспортные. Допускаемые уровни вибрации в самолетах и кабинах экипажа.

ГОСТ 24987-81 Доски приборные кабин самолетов с двумя летчиками. Требования к компоновке и установке приборных досок бортинженера.

Д 15 Детали, узлы и агрегаты авиационные

ГОСТ 19125-90 Части штуцеров соединительные бортовых авиационных приборов. Конструкция и размеры.

ГОСТ 21467-81* Амортизаторы бортового оборудования летательных аппаратов. Типы, основные параметры, размеры и технические требования.

ГОСТ 24898-81 Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Методика расчета показателей безопасности.

ГОСТ 26807-86* Аппаратура бортовая цифровая самолетов и вертолетов. Методы стендовых испытаний на работоспособность в условиях электромагнитных воздействий.

ГОСТ 27626-88 Лицевые части авиационных индикаторов и приборов. Общие эргономические требования.

Е 02 Нормы расчета и проектирования по электротехнике

ГОСТ 19705-89 Системы электроснабжения самолетов и вертолетов. Требования к качеству электроэнергии.

ГОСТ 23366-78* Ряды номинальных напряжений постоянного и переменного тока.

Е 08 Применение и эксплуатация

ГОСТ 15543-70* Изделия электротехнические. Исполнение для различных климатических районов. Условия эксплуатации в части воздействия климатических факторов внешней среды.

ГОСТ 15543.1-89Е Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к климатическим внешним воздействующим факторам.

ГОСТ 17516.1-90Е Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам.

Е 09 Методы испытаний. Упаковка. Маркировка

ГОСТ 16962.2-90Е Изделия электротехнические. Методы испытания на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам.

П Измерительные приборы, средства автоматизации и вычислительной техники

П 01 Техническая документация и общие технические требования

ГОСТ 5944-91 Приборы измерительные щитовые. Корпусы. Типы и основные размеры. Технические требования.

ГОСТ 12997-84* Изделия ГСП. Общие технические условия.

ГОСТ 16841-79* Отверстия вентиляционные приборных корпусов РЭ и электротехнических изделий. Типы, конструкция и размеры.

ГОСТ 20504-81* Система унифицированных типовых конструкций агрегатных комплексов ГСП. Типы и основные размеры.

ГОСТ 22261-94 Средства измерений электрических и магнитных величин. Общие технические условия.

ГОСТ 25565-88 Приборы электронные измерительные. Документация, поставляемая с электронными измерительными приборами.

ГОСТ 26139-84* Интерфейс для автоматизированных систем управления рассредоточенными объектами. Общие требования.

ГОСТ 26765.51-86* Интерфейс магистральной параллельной МПИ системы электронных модулей. Общие требования к совокупности правил обмена информацией.

ГОСТ 28601.1-90 Система несущих конструкций серии 482,6 мм. Панели и стойки. Основные размеры.

ГОСТ 28601.2-90 Система несущих конструкций серии 482,6 мм. Шкафы и стоечные конструкции. Основные размеры.

ГОСТ 28601.3-90 Система несущих конструкций серии 482,6 мм. Каркасы блочные и частичные подвижные. Основные размеры.

П 04 Детали и узлы общего применения в приборостроении

ГОСТ 5365-83* Приборы электроизмерительные. Циферблаты и шкалы. Общие технические требования.

ГОСТ 8898-78* Подпятники для измерительных приборов. Общие технические условия.

ГОСТ 10958-78* Стекла защитные для приборов общепромышленного применения. Технические условия.

ГОСТ 16330-85* Системы обработки информации. Шрифты для оптического чтения. Типы, основные параметры и размеры.

ГОСТ 20862-81* Стойки установочные крепежные шестигранные с резьбовым концом и отверстием. Конструкция и размеры.

ГОСТ 20863-81* Стойки установочные крепежные круглые с лысками с резьбовым концом и отверстием. Конструкция и размеры.

ГОСТ 20864-81* Стойки установочные крепежные круглые со шлицем с резьбовым концом и отверстием. Конструкция и размеры.

ГОСТ 20865-81* Стойки установочные крепежные шестигранные с резьбовыми отверстиями. Конструкция и размеры.

ГОСТ 20866-81* Стойки установочные крепежные круглые с лысками и резьбовыми отверстиями. Конструкция и размеры.

ГОСТ 20867-81* Стойки установочные крепежные круглые со шлицем и резьбовыми отверстиями. Конструкция и размеры.

ГОСТ 20868-81* Стойки установочные крепежные. Технические требования.

ГОСТ 25852-83* Контакт-детали электрические из благородных металлов и сплавов на их основе. Технические требования.

ГОСТ 26.008-85* Шрифты для надписей, наносимых методом гравирования. Исполнительные размеры.

ГОСТ 26.020-80* Шрифты для средств измерений и автоматизации. Начертания и основные размеры.

П 7 Регулирование, автоматика и телемеханика

П 70 Общие нормы

ГОСТ 26.201.1-94 Система КАМАК. Требования к интерфейсу параллельной ветви.

ГОСТ 26.201.2-94 Система КАМАК. Требования к интерфейсу последовательной магистрали.

ГОСТ 27079-95 Система КАМАК. Требования к многоконтроллерному крейту.

ГОСТ 27080-93 Система КАМАК. Требования к крейту и вставным блокам.

П 82 Управляющие вычислительные машины и устройства

ГОСТ 20999-83 Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Кодирование информации управляющих программ.

ГОСТ 24836-81* Устройства программного управления промышленными роботами. Методы кодирования и программирования.

П 85 Математическое обеспечение машин

ГОСТ 22558-89 Язык программирования КОБОЛ.

ГОСТ 23056-78* Язык программирования ФОРТРАН.

ГОСТ 23057-78* Язык программирования базисный ФОРТРАН.

ГОСТ 27787-88 Язык программирования БЕЙСИК.

ГОСТ 27831-88 Язык программирования АДА.

Т 52 Система проектно-конструкторской документации

ГОСТ 2.001-93 ЕСКД. Общие положения.

ГОСТ 2.004-88 Правила выполнения конструкторских документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.

ГОСТ 2.101-68* Виды изделий.

ГОСТ 2.102-68* Виды и комплектность конструкторских документов.

ГОСТ 2.103-68* Стадии разработки.

ГОСТ 2.104-68* Основные надписи.

ГОСТ 2.105-95 Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.106-96 Текстовые документы.

ГОСТ 2.106-96 Спецификация.

ГОСТ 2.109-73* Основные требования к чертежам.

ДСТУ-1.3-93 Технические условия.

ГОСТ 2.118-73* Техническое предложение.

ГОСТ 2.119-73* Эскизный проект.

ГОСТ 2.120-73* Технический проект.

- ГОСТ 2.123-93 Комплектность конструкторских документов на печатные платы при автоматизированном проектировании.
- ГОСТ 2.125-88 Правила выполнения эскизных конструкторских документов.
- ГОСТ 2.201-80 Обозначение изделий и конструкторских документов.
- ГОСТ 2.301-68* Форматы.
- ГОСТ 2.302-68* Масштабы.
- ГОСТ 2.303-68* Линии.
- ГОСТ 2.304-81* Шрифты чертежные.
- ГОСТ 2.305-68* Изображения - виды, разрезы, сечения.
- ГОСТ 2.306-68* Обозначения графических материалов и правила их нанесения на чертежах.
- ГОСТ 2.307-68* Нанесение размеров и предельных отклонений.
- ГОСТ 2.308-79* Указание на чертежах допусков форм и расположения поверхностей.
- ГОСТ 2.309-73* Обозначение шероховатости поверхностей.
- ГОСТ 2.310-68* Нанесение на чертежах обозначений покрытий, термической и других видов обработки.
- ГОСТ 2.311-68* Изображение резьбы.
- ГОСТ 2.312-72* Условные изображения и обозначения швов сварных соединений.
- ГОСТ 2.313-82* Условные изображения и обозначения неразъемных соединений.
- ГОСТ 2.315-68* Изображения упрощенные и условные крепежных изделий.
- ГОСТ 2.316-68* Правила нанесения на чертежах надписей, технических требований и таблиц.
- ГОСТ 2.317-69* Аксонометрические проекции.
- ГОСТ 2.318-81* Правила упрощенного нанесения размеров отверстий.
- ГОСТ 2.321-84 Обозначения буквенные.
- ГОСТ 2.401-68* Правила выполнения чертежей пружин.
- ГОСТ 2.402-68 Правила выполнения чертежей зубчатых колес, реек, червяков и звездочек цепных передач.
- ГОСТ 2.403-75* Правила выполнения чертежей цилиндрических зубчатых колес.
- ГОСТ 2.404-75* Правила выполнения чертежей зубчатых реек.
- ГОСТ 2.405-75* Правила выполнения чертежей зубчатых колес.

- ГОСТ 2.406-76* Правила выполнения чертежей цилиндрических червяков и червячных колес.
- ГОСТ 2.409-74* Правила выполнения чертежей зубчатых (шлицевых) соединений.
- ГОСТ 2.410-68* Правила выполнения чертежей металлических конструкций.
- ГОСТ 2.411-72 Правила выполнения чертежей труб, трубопроводов и трубопроводных систем.
- ГОСТ 2.412-81* Правила выполнения чертежей оптических изделий.
- ГОСТ 2.413-72* Правила выполнения чертежей изделий с применением электрического монтажа.
- ГОСТ 2.414-75* Правила выполнения чертежей жгутов, кабелей и проводов.
- ГОСТ 2.415-68* Правила выполнения чертежей изделий с электрическими обмотками.
- ГОСТ 2.416-68* Правила выполнения чертежей сердечников магнитопроводов.
- ГОСТ 2.417-91 Правила выполнения чертежей печатных плат.
- ГОСТ 2.605-68* Плакаты учебно-технические. Общие технические требования.
- ГОСТ 2.701-84* Схемы. Виды и типы. Общие требования к выполнению.
- ГОСТ 2.702-75* Правила выполнения электрических схем.
- ГОСТ 2.703-68* Правила выполнения кинематических схем.
- ГОСТ 2.705-70 Правила выполнения электрических схем обмоток и изделий с обмотками.
- ГОСТ 2.708-81 Правила выполнения электрических схем цифровой вычислительной техники.
- ГОСТ 2.721-74* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Обозначения общего применения.
- ГОСТ 2.722-68* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Машины электрические.
- ГОСТ 2.723-68* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Катушки индуктивности, дроссели, трансформаторы и магнитные усилители.
- ГОСТ 2.725-68** ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Устройства коммутирующие.

- ГОСТ 2.726-68 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Токоъемники.
- ГОСТ 2.727-68* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Разрядники, предохранители.
- ГОСТ 2.728-74* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Резисторы, конденсаторы.
- ГОСТ 2.729-68** ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Приборы электроизмерительные.
- ГОСТ 2.730-73* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Приборы полупроводниковые.
- ГОСТ 2.731-81* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Приборы электровакуумные.
- ГОСТ 2.732-68* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Источники света.
- ГОСТ 2.736-68* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Элементы пьезоэлектрические и магнитострикционные; линии задержки.
- ГОСТ 2.737-68* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Устройства связи.
- ГОСТ 2.741-68* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Приборы акустические.
- ГОСТ 2.768-90 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Источники тока электрохимические.
- ГОСТ 2.743-91 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Элементы цифровой техники.
- ГОСТ 2.747-68** ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах. Размеры условных графических обозначений.
- ГОСТ 2.756-76* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Воспринимающая часть электромеханических устройств (реле, электромагниты и т.п.).
- ГОСТ 2.759-82* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Элементы аналоговой техники.
- ГОСТ 2.764-86 ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Интегральные оптоэлектронные элементы индикации.
- ГОСТ 2.770-68* ЕСКД. Обозначения условные графические в схемах.
Элементы кинематики.

Т 55 Система документации (ЕСПД)

- ГОСТ 19.101-77* Виды программ и программных документов.
ГОСТ 19.103-77 Обозначения программ и программных документов.
ГОСТ 19.104-78* Основные надписи.
ГОСТ 19.105-78* Общие требования к программным документам.
ГОСТ 19.106-78* Общие требования к программным документам, выполненным печатным способом.
ГОСТ 19.401-78* Текст программы. Требования к содержанию и оформлению.
ГОСТ 19.402-78* Описание программы.
ГОСТ 19.701-90 Схемы алгоритмов, программ, данных и систем. Условные обозначения и правила выполнения.

Э Электронная техника, радиоэлектроника и связь

Э 0 Общие правила и нормы

Э 00 Термины и обозначения

- ГОСТ 15133-77* Приборы полупроводниковые. Термины и определения.
ГОСТ 15971-90 Системы обработки информации. Термины и определения.
ГОСТ 17021-88 Микросхемы интегральные. Термины и определения.
ГОСТ 17704-72 Приборы полупроводниковые. Приемники лучистой энергии фотоэлектрические. Классификация и система обозначений.
ГОСТ 18421-93 Усилители операционные. Термины и определения.
ГОСТ 18669-73* Резонаторы пьезоэлектрические. Термины и определения.
ГОСТ 19095-73* Транзисторы полевые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
ГОСТ 19480-89 Микросхемы интегральные. Термины, определения и буквенные обозначения электрических параметров.
ГОСТ 19781-90 Программное обеспечение систем обработки данных. Термины и определения.
ГОСТ 20003-74* Транзисторы биполярные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
ГОСТ 20332-84 Тиристоры. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.

- ГОСТ 20406-75* Платы печатные. Термины и определения.
- ГОСТ 20886-85* Организация данных в системах обработки данных. Термины и определения.
- ГОСТ 20938-75 Трансформаторы малой мощности. Термины и определения.
- ГОСТ 21414-75* Резисторы. Термины и определения.
- ГОСТ 21415-75* Конденсаторы. Термины и определения.
- ГОСТ 21934-83* Приемники излучения полупроводниковые. Фотоэлектрические и фотоприемные устройства. Термины и определения.
- ГОСТ 21962-76* Соединители электрические. Термины и определения.
- ГОСТ 22719-77* Микровыключатели и микропереключатели. Термины и определения.
- ГОСТ 23633-79 Стыки в системах передачи данных. Термины и определения.
- ГОСТ 25066-91 Индикаторы знаковинтезирующие. Термины и определения.
- ГОСТ 25529-82* Диоды полупроводниковые. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
- ГОСТ 25868-91 Устройства ввода, вывода и подготовки данных вычислительных машин. Термины и определения.
- ГОСТ 26566-85 Система инструментального захода летательного аппарата на посадку сантиметрового диапазона волн радиомаячная. Термины и определения.
- ГОСТ 26599-85* Системы передачи волоконно-оптические. Термины и определения.
- ГОСТ 26793-85* Компоненты волоконно-оптических систем передачи. Система условных обозначений.
- ГОСТ 26975-86 Микросборки. Термины и определения.
- ГОСТ 27299-87 Приборы полупроводниковые оптоэлектронные. Термины, определения и буквенные обозначения параметров.
- ГОСТ 27833-88 Средства отображения информации. Термины и определения.

Э 02 Нормы расчета и проектирования

- ГОСТ 9663-75* Резисторы. Ряд номинальных мощностей рассеяния.
- ГОСТ 9664-74* Резисторы. Допустимые отклонения от номинального значения сопротивления.
- ГОСТ 10318-80* Резисторы переменные. Основные параметры.
- ГОСТ 11277-75 Вставки плавкие на номинальные токи до 10 А. Ряд номинальных токов.
- ГОСТ 12661-67 Конденсаторы и резисторы электрические. Длины монтажные и диаметры проволочных выводов.
- ГОСТ 16541-76* Сердечники кольцевые из магнито-мягких ферритов. Основные размеры.
- ГОСТ 17467-88 Микросхемы интегральные. Основные размеры.
- ГОСТ 18472-88 Приборы полупроводниковые. Основные размеры.
- ГОСТ 23622-79 Элементы логических интегральных микросхем. Основные параметры.
- ГОСТ 24013-80 Резисторы постоянные. Основные параметры.
- ГОСТ 24173-80 Тиристоры. Основные параметры.
- ГОСТ 24352-80* Излучатели полупроводниковые. Основные параметры.
- ГОСТ 24354-80 *Приборы полупроводниковые визуального представления информации. Основные размеры.
- ГОСТ 24458-80 Оптопары полупроводниковые. Основные параметры.
- ГОСТ 24459-80 Микросхемы интегральные запоминающих устройств и элементов запоминающих устройств. Основные параметры.
- ГОСТ 24460-80 Микросхемы интегральные цифровых устройств. Основные параметры.
- ГОСТ 24736-81 Преобразователи интегральные ЦА и АЦ. Основные параметры.
- ГОСТ 26575-85*1 Отверстия сквозные цилиндрические для установки электрорадиоэлементов. Размеры.
- ГОСТ 26765.52-87 Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования.
- ГОСТ 26886-86* Стыки цифровых каналов передачи и групповых трактов первичной сети ЕАСС. Основные параметры.

Э 20 Элементы РЭА. Классификация, номенклатура и общие нормы

ГОСТ 15172-70* Транзисторы. Перечень основных и справочных электрических параметров.

ГОСТ 22623-77 Элементы крепления изделий электронной техники, управляемые с помощью вала. Основные размеры.

Э 21 Резисторы и конденсаторы

ГОСТ 17230-71* Микросхемы интегральные. Ряд питающих напряжений.

ГОСТ 28884-90 Ряды предпочтительных значений для резисторов и конденсаторов.

Э 24 Радиокomпоненты

ГОСТ 17049-71* Вставки плавкие на номинальные токи до 10 А. Габаритные размеры.

ГОСТ 21712-83 Резонаторы пьезоэлектрические. Основные параметры.

ГОСТ 23546-84*Е Резонаторы кварцевые. Общие технические условия.

Э 29 Методы испытаний. Упаковка. Маркировка

ГОСТ 25486-82*Е Изделия электронной техники. Маркировка.

ГОСТ 26192-84 Конденсаторы постоянной емкости. Коды цветовой маркировки.

ГОСТ 28883-90 Коды для маркировки резисторов и конденсаторов.

Э 30 Оборудование для радиовещания

ГОСТ 10317-79* Платы печатные. Основные размеры.

ГОСТ 22318-77 Арматура переходов печатных плат. Типы, конструкция и размеры, технические требования.

ГОСТ 23751-86* Платы печатные. Основные параметры конструкции.

ГОСТ 23752-79* Платы печатные. Общие технические условия.

ГОСТ 23752.1-92 Платы печатные. Методы испытаний.

ГОСТ 26164-84Э Платы печатные для изделий, поставляемых на экспорт. Шаги сетки.

ГОСТ 27200-87 Платы печатные. Правила ремонта.

Микола Дмитрович Кошовий

**Конструювання вузлів і приладів
вимірювально-обчислювальних комплексів**

**Редактори: С.П. Гевло, Л.О. Кузьменко
Коректори: Т.О. Іващенко, Т.В. Савченко**

Зв.план, 2000

Підписано до друку 08.12.2000

Формат 60*84 1/16. Папір офс.№2. Офс.друк.

Умовн.-друк.арк. 10.Облік.-вид.арк. II,22. Т.100прим.

Замовлення 223.Ціна вільна

**Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського
“Харківський авіаційний інститут”**

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17

Ротапринт друкарні “ХАІ”

61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17