



Міністерство освіти і науки України
**ДЕРЖАВНИЙ БІОТЕХНОЛОГІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**
Факультет енергетики, робототехніки та
комп'ютерних технологій
Кафедра електромеханіки, робототехніки,
біомедичної інженерії та
електротехніки

Н. Г. Косуліна, М. О. Чорна, В. В. Сухін

**ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ БМА ТА
ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БМА
ДЛЯ БІООБ'ЄКТІВ**

Конспект лекцій

Харків
2024

Міністерство освіти і науки України
Державний біотехнологічний університет

Н. Г. Косуліна, М. О. Чорна, В. В. Сухін

**ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ БМА ТА
ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БМА
ДЛЯ БІООБ'ЄКТІВ**

Конспект лекцій

ЗАТВЕРДЖЕНО
рішенням Науково-методичної
ради ФЕРКТ ДБТУ
Протокол №1 від 31 жовтня 2023 р.

Харків
2024

УДК 615.47+57.08

Схвалено на засіданні кафедри ЕРБМІЕ
Протокол №2 від 31 вересня 2023 р.

Основи конструювання біомедичної апаратури (БМА) та основи технології виробництва БМА для біооб'єктів: конспект лекцій / Н. Г. Косуліна, М. О. Чорна, В. В. Сухін. – Харків: [б. в.], 2024. – 76 с.

Конспект лекцій з дисципліни «Основи конструювання БМА та основи технології виробництва БМА для біооб'єктів» розроблено відповідно до навчальної програми. Видання включає інженерні методи конструювання БМА, основні вимоги до компонування БМА та забезпечення технологічності конструкції, основи ергономіки, методи конструювання вузлів і блоків БМА, розгляд механічних, теплових, електромагнітних явищ в БМА.

Видання призначене студентам першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та (заочної) форми навчання, спеціальності 163 Біомедична інженерія.

Для студентів вищих навчальних закладів спеціальності 163 «Біомедична інженерія», які навчаються за освітньою програмою «Біомедична інженерія» денної та заочної форм навчання.

Рецензенти:

Мороз О. М. – доктор технічних наук, професор кафедри енергетики та енергетичного менеджменту Державного біотехнологічного університету.

Аврунін О. Г. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри біомедичної інженерії Харківського національного університету радіоелектроніки.

©ДБТУ, 2024

© Косуліна Н. Г., Чорна М. О., Сухін В. В., 2024

3
Зміст

Вступ	5
Лекція №1. Зміст і завдання дисципліни «Основи конструювання БМА та основи технології виробництва БМА для біооб'єктів», поняття та визначення. Інженерні методи підходу до конструювання БМА і організації процесу конструювання.....	6
Лекція №2. Характеристика основних стадій конструювання БМА. Організація процесу конструювання, стадії виконання робіт. Порядок побудови поетапної схеми конструювання вузлів і блоків БМА, аналіз вихідних даних, обґрунтування технічних вимог до конструкції БМА	13
Лекція №3. Порядок попереднього конструювання основних вузлів приладу. Вивчення та аналіз технічного завдання і вихідних даних на конструювання, вивчення взаємозв'язків конструкції БМА із зовнішніми пристроями та техніко-економічних можливостей	19
Лекція №4. Основні вимоги до компонування БМА. Розробка попередніх варіантів ескізного компонування приладу, особливості графічного відображення компонування, аналіз технічних вимог.	27
Лекція №5. Методи забезпечення технологічності конструкції БМА. Техніко-економічний аналіз конструкції БМА. Поняття технологічності конструкції БМА. Показники технологічності	36
Лекція №6. Що таке ергономіка і її вплив на конструкцію БМА. Основи композиції зовнішнього вигляду приладу	41
Лекція №7. Захист конструкції БМА від динамічних механічних навантажень. Механічні впливи у конструкціях РЕА та БМА. Математичні моделі механічних впливів. Математичні моделі систем амортизації.....	45
Лекція №8. Забезпечення теплових режимів в БМА. Джерела тепла в БМА. Термостійкість радіодеталей. Моделі теплообміну в БМА. Види теплопередачі в БМА. Розрахунки теплових режимів БМА з герметичним та перфорованим корпусом.....	50

- Лекція №9.** Паразитні процеси в радіоелектронній апаратурі та способи захисту від них. Основні види паразитних зв'язків..... 55
- Лекція №10.** Методи проектування екранів, фільтрів, пошук джерел завад і усунення їх при конструюванні приладу 60
- Лекція №11.** Пасивні елементи схеми. Характеристика пасивних елементів, електромонтажу, їх частотні характеристики. перехідні процеси та вплив на завадостійкість конструкції, паразитні зв'язки, причини їх виникнення..... 63
- Лекція №12.** Активні елементи схеми. Характеристика активних компонентів, електромонтажу, їх частотні характеристики. перехідні процеси та вплив на завадостійкість конструкції, паразитні зв'язки 68
- Лекція №13.** Аналогові та цифрові схеми. Характеристика аналогових і цифрових схем з точки зору завадостійкості. Методи подавлення завад. Методи проектування схем спряження, вибір компонентів 73
- Лекція №14.** Компонування вузлів БМА. Розбивка і конструювання вузлів БМА. Методи проектування блоків живлення, методики виконання заземлення в БМА 92
- Лекція №15.** Методи проектування монтажних плат. Характеристика контактних з'єднань. Вибір матеріалу для контактних з'єднань. Вимоги до друкованих плат. Провідний монтаж і друковані плати - методи проектування. 94
- Лекція №16.** Методи конструювання друкованих плат об'ємного і поверхневого монтажу. Критерії вибору конструкції друкованої плати. Вимоги до проектування посадочних місць під компоненти поверхневого монтажу, залежно від виду пайки, вимоги до друкованих плат на яких встановлюються компоненти поверхневого монтажу. Методи проектування друкованих плат з елементами поверхневого монтажу. 95
- Лекція №17.** Методики виконання заземлення в БМА. Вплив електричних з'єднань на параметри БМА..... 96
- Лекція №18.** Фактори оточуючого середовища та їх врахування при конструюванні БМА..... 97

5
Вступ

Конспект лекцій за змістом відповідає навчальному планові за освітньо-професійною програмою «Біомедична інженерія». У ньому розглянуто інженерні методи конструювання БМА, основні вимоги до компоновання БМА та забезпечення технологічності конструкції, основи ергономіки, методи конструювання вузлів і блоків БМА, а також механічні, теплові, електромагнітні явища в БМА.

У результаті вивчення лекційного матеріалу студент повинен знати:

- Основні стадії конструювання БМА;
 - Методику аналізу вихідних даних для конструювання БМА залежно від призначення, умов експлуатації, умов виробництва;
 - Загальні правила компоновання БМА;
 - Принципи конструювання БМА різного призначення (аналогових, цифрових, цифро-аналогових);
- вміти:
- Розробити технічне завдання (ТЗ) на конструювання БМА;
 - Визначити напрям конструювання приладу (вузла) шляхом аналізу: ТЗ, умов експлуатації існуючих виробів-прототипів, умов виробництва;
 - Використати засоби автоматичного проектування, пакетів програмного забезпечення для виконання загальної компоновки приладу, його функціональних вузлів, деталей і складових частин БМА;
 - Використати засоби обчислювальної техніки для розробки текстової документації на прилад, вміння працювати з базою даних;
 - Виконати необхідні розрахунки з використанням прикладних програм на ПЕОМ, які обґрунтовують правильність вибору напрямку конструювання приладу: розрахунок теплових режимів, надійності, механічних характеристик і електромагнітної сумісності, техніко-економічного обґрунтування;
 - Вносити необхідні зміни в комплект конструкторської документації при зміні конструкції приладу.

Лекція №1

Зміст і завдання дисципліни «Основи конструювання БМА та основи технології виробництва БМА для біоб'єктів», поняття та визначення. Інженерні методи підходу до конструювання БМА і організації процесу конструювання

Під конструкцією (від лат. construction – складання, побудова) розуміють сукупність деталей і матеріалів (тіл) з різними фізичними властивостями, що знаходяться у визначеному фізичному зв'язку (електромагнітному, тепловому, механічному), що забезпечує виконання заданих функцій з необхідною точністю і надійністю під впливом зовнішніх і внутрішніх впливів та відтворена в умовах виробництва. Конструкція визначає взаємне розташування частин у просторі, способи їх з'єднання, характер взаємодії, а також матеріал, з якого вони виготовлені.

Конструкція БМА відрізняється рядом особливостей, що виділяють її в окремий клас серед інших конструкцій:

- ієрархічною структурою (від грець. hierarchia, hieros – священний, arche – влада), під якою розуміють послідовне об'єднання більш простих електронних вузлів у більш складні,
- домінуючою роллю електричних і електромагнітних зв'язків; наявністю неоднорідностей в електричних з'єднаннях, що призводять до спотворення і загасання сигналів, а також паразитних зв'язків, що породжують завади (наведення),
- наявністю теплових зв'язків, що вимагає вживання заходів захисту теплочутливих елементів,
- слабким зв'язком внутрішньої структури конструкції з її зовнішнім оформленням.

1.1 Конструктивні складові біомедичної радіоелектронної апаратури.

Основні поняття та визначення

Сучасна радіотехнічна, радіоелектронна та БМА відзначається значною складністю, але складається з окремих частин, кожна з яких у конструктивному та функціональному сенсі простіша, ніж увесь пристрій в цілому. Розглянемо окремі частини конструкції складної апаратури. Почнемо з найпростіших елементів – радіодеталей, і завершимо складною системою, яка є комплексом різних приладів та пристроїв.

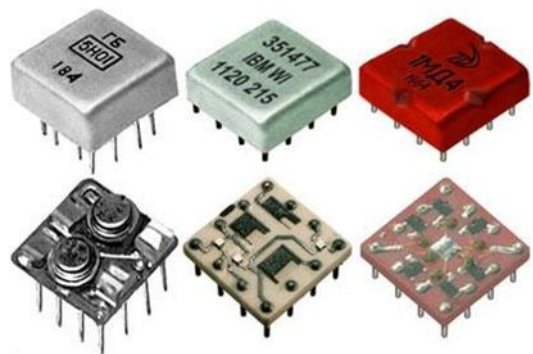
Радіодеталь або елемент – неподільна частина конструкції апаратури. Елементами, наприклад, є конденсатори, резистори, електронні лампи, запобіжники, тверді схеми, напівпровідникові пристрої і т.п.

Модуль – це найпростіша завершена конструкція, яка складається з елементів – радіодеталей. Модулі виконують різні функції, наприклад, підсилення, тригера, логічної схеми і т.п. Модуль, складений з комплексу мікроелементів, називають мікробіркою.

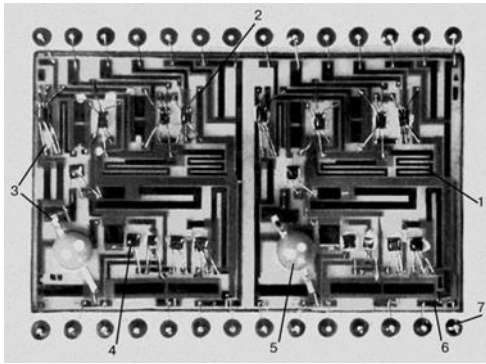
Мікросхеми (плівкові, гібридні, твердотільні) – це модулі малих розмірів виготовлені методами плівкової і напівпровідникової технології. Зовнішнє оформлення деяких модулів, мікромодулів і плівкових мікросхем показано на рис. 1.1.



а)



б)



в)



г)

Рис. 1.1 – Конструктивне оформлення деяких радіоелементів:
а) модуль Bluetooth, б) мікромодулі, в) плівкова мікросхема, г) вузол

Вузол – це завершена конструкція, складена з модулів, елементів, монтажної плати та електричного монтажу див. рис.1.1, г.

Блок – це завершена конструкція, складена з вузлів, модулів, елементів і електричного монтажу, змонтована на спільному шасі, каркасі, рамі, платі і т.п. рис. 1.2.



Рис. 1.2 – Блок

Пульт керування – це пристрій оснащений органами керування пристроєм. Пульт керування має форму, зручну для роботи оператора рис. 1.3.



Рис. 1.3 – Пульт керування

Система (станція) – це комплекс приладів, з'єднаних між собою для розв'язування однієї чи кількох самостійних задач.

При вивченні основ конструювання біомедичних радіоелектронних апаратів будемо користуватися терміном «біомедична апаратура» (БМА), маючи на увазі елемент, вузол, блок, прилад чи апарат, медичного призначення.

Медичний прилад – це технічний прилад, призначений для спостереження, вимірювання, обробки і представлення даних про живий організм з можливістю передачі цих даних. Медичний апарат – це технічний прилад, який дозволяє генерувати різні енергетичні фактори впливу на живий організм з лікувальною або терапевтичною метою та підтримувати його нормальне функціонування.

Взагалі, поняття «апарат» походить від грецького слова apparatus (устаткування, прилад, технічний пристрій). Розділення в медицині цих понять на два (апарат і прилад) пов'язане з енергетичною взаємодією приладу та живого організму (вплив та відбір). Спільний термін для медичних приладів і апаратів є медична апаратура.

1.2 Інженерні методи конструювання

Конструкція БМА реалізується відповідно до конструкторської документації в процесі виробництва, основною частиною якого є технологічний процес (ТП),

в результаті чого, згідно схеми, виготовляються модулі та блоки, які в подальшому утворюють завершений апарат. Конструкція і технологія виготовлення БМА тісно пов'язані і взаємообумовлені.

Якість конструкції БМА, а також оптимальність самого процесу конструювання (терміни, трудовитрати) залежать не тільки від організації процесу конструювання, але й від методології його проведення. На сьогоднішній день більшість операцій по виготовленню елементів та вузлів автоматизовані, що дозволяє суттєво підвищити якість та скоротити терміни виготовлення.

Конструкція БМА як велика система має наступні ознаки:

- 1) високу складність (складається з великої кількості пристроїв, вузлів і компонентів),
- 2) зв'язок із зовнішнім середовищем (у тому числі з лікарем та пацієнтом),
- 3) ієрархічну структуру.

Складність конструкції БМА обумовлюється тим, що ці засоби широко використовуються при вирішенні складних завдань, що в свою чергу призводить до збільшення функціональних вузлів (модулі зчитування, запису, передачі, архівування даних).

До змінних в процесі конструювання факторів належать, наприклад, марки застосовуваних елементів, форма і розміри елементів конструкції, взаємне розташування компонентів і вузлів, характер елементів підсилення (ребер) і полегшення (вибірок), способи тепловідведення, герметизації, зовнішнє оформлення і т. д.

Обмеженнями є фактори, які конструктор не змінює: ресурсні, системотехнічні, схемотехнічні, конструкторські, технологічні, експлуатаційні.

До ресурсних відносять матеріальні, часові, кадрові та енергетичні обмеження.

Системотехнічними обмеженнями є, наприклад, тип БМА: аналогова або цифрова, наземна або бортова, з інформаційним або структурним резервуванням чи без нього, такі, що працюють в режимі разового, багаторазового, безперервного, періодичного використання та ін.

Схемотехнічними обмеженнями, які задаються електричною схемою, є елементна база (швидкодія, струми, завадостійкість, термочутливість, стабільність параметрів і т. д.), число і типи функціональних вузлів, вимоги до їх взаємного розташування і т. д.

Конструкторські обмеження: маса і габарити; рекомендовані типи базових несучих конструкцій, методи реалізації електричних зв'язків; обмежувальні переліки на матеріали, комплектуючі вироби; вимоги до зовнішнього вигляду; патентоспроможність і т. д.

Технологічні обмеження: тип виробництва, вид технологічних процесів, час запуску у виробництво, повторюваність випуску, номенклатура освоєних технологічних процесів та їх стабільність, вимоги по автоматизації і т. д.

Експлуатаційні обмеження: рівень дестабілізуючих факторів – механічних, кліматичних, теплових, радіаційних, електромагнітних впливів; кваліфікація обслуговуючого персоналу, вимоги щодо ремонтпридатності конструкції, час зберігання, час експлуатації (ресурс) і т. д.

1.3 Системний підхід при конструюванні БМА

Методологія пошуку оптимального варіанту конструкції БМА заснована на використанні системного підходу. Суть системного підходу при конструюванні сучасних БМА полягає в тому, що шукають оптимальне (найкраще) рішення при одночасному виконання таких умов як:

- простота виготовлення,
- функціональність,
- ремонтпридатність,
- затрати на виготовлення,
- ціна готового апарату.

Застосування сучасної елементної бази – мікросхем, імпульсних блоків живлення, систем бездротового зв'язку дозволяє:

- розширити можливості системи,

- збільшити ефективність, за рахунок переходу від аналогової дротової передачі даних на цифрову,

- знизити вартість і масо-габаритні характеристики при одночасному підвищенні надійності шляхом заміни механічних і електромеханічних компонентів електронними, наприклад заміною реле на потужні малогабаритні транзистори рис. 1.4, а, заміною громіздких і важких трансформаторів на імпульсні перетворювачі рис. 1.4, б.

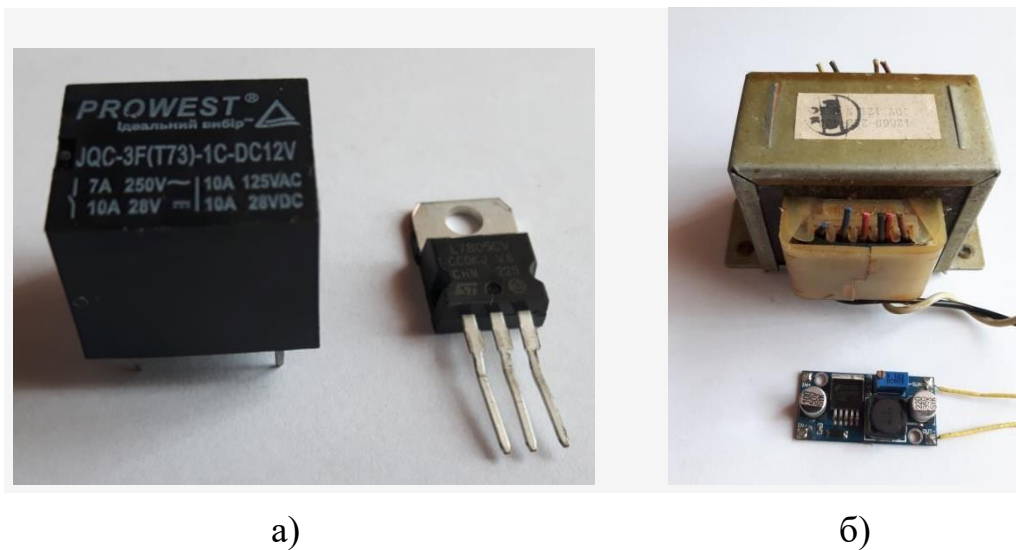


Рис. 1.4 – а) Твердотільне реле та польовий транзистор;
б) Трансформатор та імпульсний перетворювач

Все це дає можливість покращити показники якості БМА, але одночасно вимагає докорінної зміни конструкції. У кінцевому рахунку структура БМА та її конструкція залежать від технологічних можливостей виробництва. Тому системний підхід передбачає врахування при конструюванні не тільки схемотехнічних, але й технологічних факторів. Ефективність використання системного підходу залежить від виду БМА. Найбільш ефективним є системний підхід при конструюванні цифрових пристроїв. Для аналогових пристроїв, у зв'язку із більшою різноманітністю виконуваних функцій, а також ширших діапазонів потужностей та частот сигналів важче використовувати системний підхід. У цілому, використання системного підходу при конструюванні БМА

підвищило роль конструктора і технолога, які стали брати участь у створенні БМА з самих ранніх етапів.

1.4 Класифікація БМА

Все різноманіття конструкцій БМА можна класифікувати на лабораторну, діагностичну та терапевтичну.

Ускладнення завдань з обробки сигналів з метою підвищення завадостійкості та рівня насичення інформацією, яку переносять біосигнали, викликало необхідність виділяти в БМА окремі групи пристроїв обробки сигналів: рентгенівські системи, системи радіонуклідної діагностики, магніторезонансні системи, ультразвукові системи, візуалізації теплових полів, системи для дослідження електричного імпедансу біологічних тканин, системи для оптичної інтроскопії.

Класифікація БМА за радіотехнічними функціями – правильна і необхідна, а в інших випадках, з конструкторської точки зору, не є чіткою. Робоча частота істотно впливає на конструкцію. Класифікація конструкцій за частотним діапазоном відображає особливості конструювання тільки високочастотних каскадів приймальної і передавальної БМА. Можлива класифікація конструкцій за видом активного елемента, Вид охолодження силових елементів (водяне або повітряне) підпорядковує собі компоновку каскаду. За впливом навколишнього середовища БМА класифікують як призначену для роботи в приміщенні або в польових умовах.

Всю БМА прийнято ділити на два види: професійну і побутову. Професійною називають апаратуру, яка використовується в наукових лабораторіях, на виробництві, в медичних та інших установах. До побутової відносять апаратуру, придбану населенням для власних потреб (тонометри, електричні термометри, глюкометри).

Найбільш загальною з конструкторської точки зору є класифікація конструкцій БМА за призначенням, тактикою використання та об'єктом установки. Відповідно до цієї класифікації БМА поділяють на 10 груп за трьома категоріями: бортовий, морський, наземний.

Отже, спеціалізація БМА обумовлена тим, що об'єкт установки задає спеціальне функціональне призначення, необхідне тільки для об'єктів даного виду. Альтернативою до спеціалізації в конструюванні є універсалізація. Універсалізація передбачає розробку конструкцій, придатних для роботи на будь-яких об'єктах і в будь-яких умовах. Універсальна конструкція повинна володіти функціональною надмірністю і відповідати найбільш жорстким умовам з усіх можливих застосувань.

Незалежно від спеціалізації або універсалізації конструкція БМА повинна володіти строго регламентованими властивостями. Економічні показники виробництва (собівартість, рентабельність і інші) враховані в тому обсязі, в якому вони залежать від конструкції, тобто через властивість загальної технологічності збірної конструкції БМА

По суті, конструювання БМА в цілому зводиться до досягнення стійких компромісів між альтернативними вимогами всіх названих вище властивостей.

Лекція №2

Характеристика основних стадій конструювання БМА. Організація процесу конструювання, стадії виконання робіт. Порядок побудови поетапної схеми конструювання вузлів і блоків БМА, аналіз вихідних даних, обґрунтування технічних вимог до конструкції БМА

Під біомедичною радіоелектронною апаратурою (БМА) розуміють виріб біомедичного призначення і його складові частини, в основу функціонування яких покладено засоби радіотехніки та електроніки. БМА, яку необхідно розробляти, повинна відповідати світовому рівню на передбачуваний період її

виробництва та експлуатації. Найповніше задовольняти вимоги населення, народного господарства та експорту.

У створенні БМА беруть участь різні організації, підрозділи, виконавці. Організації діляться на замовника, виконавця, субпідрядника. Конструювання є однією з основних частин процесу проектування БМА, а його мета – фізичне втілення компромісного рішення, виробленого в результаті роботи всіх учасників. Замовник формулює технічні вимоги до БМА та здійснює прийняття розробленого виробу.

Стадією розробки називають період, протягом якого здійснюють розробку проектної або робочої конструкторської документації з певним рівнем виконання прийнятих технічних рішень. Етапом називають завершену частину стадії розробки протягом якої виконуються окремі роботи з числа встановлених для даної стадії. У багатостадійності такого складного процесу як конструювання закладено глибокий зміст, напрацьований багаторічною інженерною практикою: перехід до детальнішої проробки конструкції можливий лише після виконання попередньої розробки, виконаної в загальних рисах. Це економить трудові затрати і дисциплінує процес обдумування. Кожна стадія завершується підведенням проміжних підсумків, узгодженням та затвердженням результатів з підрозділами, які відповідають у конструкторському колективі за виконання закріплених за ними вимог.

Конструкторське проектування (конструювання) є частиною повного життєвого циклу БМА: побудова, конструювання технологія виготовлення, експлуатація і ремонт, утилізація. Конструкторське проектування в циклі розробка-виробництво розділяється на дві групи стадій: проектну (розробка технічної пропозиції та ескізного проекту; розробка технічного проекту) і робочу (розробка конструкторської документації дослідного зразка – без присвоєння літери, виготовлення та попереднє випробування дослідного зразка, уточнення технічної документації – з присвоєнням літери О, доопрацювання конструкторської документації з літерою О та приймальні випробування дослідного зразка, уточнення технічної документації – з присвоєнням літери О1).

Проектна група стадій являє собою багатокрокове поступове формування рішення, виходячи із заявки на розробку та технічного завдання. Робочі стадії присвячені розробці робочої конструкторської документації для виготовлення виробу.

Проектну групу стадій, як правило, виконують під час дослідницько-конструкторської роботи (ДКР). Робота здійснюється під єдиним технічним і науковим керівництвом у двох взаємопов'язаних напрямках: по електричній схемі та по конструкції. Розробку схем і принципу дії, включаючи макетування і експериментальну перевірку електричних схем здійснюють радіотехнічні підрозділи.

У загальному випадку передбачено три проектні стадії: технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект.

Етапи ДКР: технічне завдання, технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект, розробка робочої документації.

Технічне завдання (ТЗ) складається виконавцем на підставі технічних вимог замовника. На основі загального ТЗ можуть бути складені часткові ТЗ для субпідрядників. Обсяг економічних і виробничих вимог у цих ТЗ менший, а технічні вимоги більш докладні, ніж в основному ТЗ.

Технічна пропозиція – етап розробки, на якому виконавець обґрунтовує принципову можливість створення БМА з заданими в ТЗ характеристиками і намічає основні технічні та організаційні рішення щодо виконання ТЗ. На цьому етапі розробляються часткові ТЗ для різних підрозділів підприємства, оформляється технічний звіт, іноді виконуються конструкторські документи.

Ескізний проект – сукупність конструкторських документів, які містять опрацьовані конструкторсько-технологічні рішення, що дають загальне уявлення про виріб, а також дані, що визначають можливість використання за призначенням і основні параметри розроблюваного виробу. На підставі ескізного проекту розробляється технічний проект.

Технічний проект – це сукупність конструкторських документів, які містять остаточні технічні рішення, що дають повне уявлення про розроблювальний

виріб, і технічні дані для розробки робочої документації. На цьому етапі проводяться різні розрахунки і обґрунтування.

Робоча документація – це сукупність конструкторської документації, призначеної для виготовлення та випробування дослідного зразка, настановної серії, серійного зразка. Після заводських випробувань дослідного зразка конструкторської документації присвоюється літера «О»; після державних, наступних стадіях (після повторних випробувань виготовлених виробів) – серії має літеру «У»; після випробувань установчої серії – літеру «А». Після корегування документації випробувальної серії конструкторської документації присвоюється літера «Б», що дає право налагодити серійне чи масове виробництво виробу. Документації на виріб для разового виготовлення або декількох виробів присвоюють літеру «І». Залежно від термінів розробки, кваліфікації виконавців, наявності прототипів і базових несучих конструкцій за погодженням із замовником окремі етапи можуть бути об'єднані. Це відображають в технічному завданні. Конструкторські документи (текстові та графічні) розробляють починаючи з етапу ескізного проекту. Н різних етапах є обов'язкові конструкторські документи та документи, які виконують на розсуд розробника. Номенклатура документації, яку виконують на тому чи іншому етапі, називають комплектом. Необхідно відрізнити комплект конструкторської документації від комплекту – вигляду виробу. Найбільшу номенклатуру конструкторських документів має робоча документація на складальну одиницю, але за обсягом найбільше число документів може мати комплекс виробів.

На основі результатів попередніх проектних стадій, згідно з точними правилами оформлення (єдина система конструкторської документації – ЄСКД) виконують комплект креслень та текстових документів, призначених для виготовлення дослідного зразка. Комплект конструкторської документації (КД) підлягає кільком етапам доопрацювання по мірі виготовлення та випробування дослідного зразка.

В ході виконання робіт на стадіях і етапах відбувається поступове уточнення прийнятих рішень і знаходження оптимального. При цьому усуваються помилки,

які можуть бути допущені як керівниками (помилки планування тощо), так і виконавцями (неправильний вибір технічних рішень, помилки при виконанні конструкторської документації і т. д.). Причиною помилок є, як правило, недостатня кваліфікація, брак інформації, а також підвищена стомлюваність працівників при стислих термінах розробки. Специфікою розробки БМА є те, що на всіх стадіях і етапах різні фахівці взаємодіють один з одним з самого початку розробки.

Основні етапи проведення НДР: 1) патентний пошук; 2) розробка і узгодження з замовником технічного завдання, державна реєстрація НДР; 3) підготовчий етап – вибір напрямів дослідження, розробка, узгодження та затвердження часткових технічних завдань на основні частини НДР; 4) основний етап – теоретичні та експериментальні дослідження (виконання теоретичних досліджень, розрахунків, математичного моделювання), обробка результатів досліджень, складання та оформлення технічної документації; 5) заключний етап – узагальнення результатів та оцінка виконаної НДР (складання карти технічного рівня, оцінки повноти і якості проведеної НДР, підготовка до пред'явлення роботи до приймання); 6) приймання НДР, обговорення і узгодження завдання на проведення ДКР, державний облік НДР.

Конструктори і технологи, конструкторські та технологічні підрозділи взаємодіють починаючи з самих ранніх етапів до впровадження виробу у виробництво та експлуатацію. На перших етапах вирішуються питання конструктивної та технологічної наступності виробів, виявляються оригінальні деталі та вузли, необхідність у розробці нових техпроцесів. На подальших етапах вирішуються питання компоновання з урахуванням вимог зручності складання, ремонту, контролю. Одночасно узгоджуються параметри, які підлягають контролю, і допустимі відхилення на ці параметри. У ряді випадків відповідно до технологічних вимог конструкція може корегуватися: компоновка, значення параметрів, допуски, матеріали. У деяких випадках може знадобитися доопрацювання технологічних процесів – підвищення їх стабільності або роздільної здатності; в ряді випадків може знадобитися розробка або освоєння

нових для даного підприємства технологічних процесів (наприклад, при заміні монтажної підстави джерела живлення у вигляді двосторонньої друкованої плати на підставу з металевою основою, поліамідною плівкою або керамікою, що різко покращує тепловідвід і дозволяє скоротити габарити виробу). Взаємодія конструкторів і технологів особливо тісна при узгодженні конструкторської документації з технологіями і при оцінці технологічності конструкції на всіх етапах конструкторського проектування.

Критеріями раціональності конструкції називатимемо ті ознаки (оцінки), за якими можна судити про раціональність створюваного пристрою в ході конструювання. Критерії, що мають схоже формулювання, застосовують для оцінювання раціональності різних конструктивних рішень на окремих етапах роботи конструктора. При цьому вони можуть мати різний конкретний зміст. Так, наприклад, критерій «технологічність конструкцій» на етапі ескізної компоновки всього пристрою в цілому матиме інший конкретний зміст, ніж той же критерій на етапі відробітку конструкції якого-небудь одного вузла. Так само матиме різний конкретний зміст відробіток на технологічність різних деталей, що входять в один пристрій.

Поетапну схему конструювання можна подати у вигляді синтез-аналіз-синтез. Процес пошуку конструкторських ідей та рішень є евристичною працею конструктора, яка важко піддається формалізації.

Творчий характер процесу конструювання перешкоджає конкретизації методики. Чим конкретніша методика, тим обмеженіша сфера її застосування. З іншого боку, загальні методичні ідеї в світлі тих або інших реальних, що стоять перед конструктором, втрачають цінність, оскільки можуть трактуватися по-різному.

Вказане протиріччя стосується і поетапної схеми конструювання. Остання, побудована як типова (для певної області застосування) і не призначена давати конкретні рекомендації для конкретних конструкторських задач.

Початок процесу конструювання – стадії технічної пропозиції, коли формується початковий варіант конструкторського рішення. Часто найперший

варіант формується ще раніше при розробці технічних вимог ТЗ, тому що записати вимоги так, щоб їх виконання було реальним можна лише спираючись на мислений образ заданого для розробки об'єкта. На практиці основою такого образу є деякий конкретний прототип, в якому чогось не вистачає або є щось зайве. Конструктор мислить образами і описує їх словами (вербально), математично (числом або співвідношенням величин) або графічно (рисунок або кресленням).

Конструювання БМА порівняно з конструювання інших промислових виробів відрізняється особливою складністю функціональних внутрішніх зв'язків між частинами конструкції: крім просторових і механічних, необхідно встановлювати складні електричні зв'язки та обмежувати електромагнітні поля, температуру і температурний градієнт на заданих ділянках всередині пристрою.

Оцінка значимості зв'язків, які розглядаються в певному контексті (необхідні, зайві, шкідливі), повністю залежить від конкретної задачі.

Сфера застосування поетапної схеми визначається рядом обмежень, прийнятих при її побудові. Тут у вигляді підсумку беруть до уваги як вже введені раніше обмеження, так і наново запроваджені. Всі обмеження можна розділити на дві групи: обмеження, що стосуються пристрою, який конструюється і обмеження, що стосуються процесу конструювання.

Обмеження першої групи. Пристрій, критичний до габаритів і ваги. Він є відособленою конструкцією, призначеною для виконання цілком визначених функцій. Проте, він не є комплексною системою, яка складається з окремих просторово розділених частин, не зв'язаних кінематично. Пристрій розробляється як дослідний зразок.

Обмеження другої групи. Поетапна схема орієнтована виключно на розкриття особливостей процесу власне конструювання, включаючи і підготовку до нього.

Вказані обмеження можуть бути конкретизовані таким чином.

Не розглядається процес розробки принципової схеми пристрою. Передбачається, що конструктор отримує схему готову в технічному завданні,

але в ході роботи може якоюсь мірою видозмінювати і уточнювати її. Кінематика пристрою розробляється конструктором, але в рамках принципової схеми.

Етапи деталювання, перевірки, оформлення робочих креслень не розглядають. Процес конструювання в рамках прийнятої схеми закінчується кресленням детального складального вигляду, придатного для деталювання.

Питання розробки креслень для серійного виробництва не розглядають. Така розробка у більшості випадків проводиться після випробувань дослідних зразків на основі результатів цих випробувань. Методика розробки креслень для серійного виробництва є предметом окремого дослідження.

Ніде не згадується про те коректування, яке безперервно ведеться при конструюванні навіть перших дослідних зразків на основі інформації про аналогічні пристрої, створені раніше, інформації про різного роду випробування цих пристроїв і т. п. та про роль і методи отримання інформації, яка необхідна конструктору на всіх охоплених схемою етапах роботи.

Узагальнюючи попередній матеріал, поетапну схему процесу конструювання деякого пристрою можна розділити на три частини.

Верхня частина схеми ілюструє процес оцінки раціональності створюваної конструкції з метою досягнення до якнайповнішої відповідності між створюваною конструкцією і заданими вимогами.

Середня частина схеми відображає переробку вихідного матеріалу в форму технічних вимог і далі у процес послідовної реалізації вимог в конструкції в ході власне конструювання. При реалізації вимоги і параметри завдання по черзі «матеріалізуються» в конструкцію. Цей процес продовжується і при деталюванні.

Реалізація вихідного матеріалу в конструкції є поняттям, що відображає зовні приховану розумову роботу по створенню пристрою.

Середню частину схеми можна розділити на дві області. Утворені області символізують роботу конструктора над технічними вимогами (над їх початковим складанням і подальшими змінами) та роботи, супутні конструюванню: розрахунки, експерименти, макетування та ін.

Нижня частина схеми ілюструє процес оцінки раціональності створюваної конструкції по наступних критеріях:

- надійність конструкції,
- мінімізація ваги,
- мінімізація габаритів,
- технологічність конструкції,
- економічність конструкції.

Не лише порівняльна важливість, але також число і найменування критеріїв даної групи можуть варіюватися залежно від специфіки кожного конкретного пристрою. Ці критерії нижньої частини схеми характеризуються значною універсальністю, причому кожен з вказаних п'яти критеріїв даної групи є комплексним.

Кожен з попередніх етапів не може вважатися повністю завершеним у момент переходу до подальшого етапу. Сказане слід розуміти в тому сенсі, що результати кожного етапу вимагають коректування і уточнення на наступних етапах. Творчий процес конструювання зводиться значною мірою до визначення послідовності етапів і вибору критеріїв раціональності конструкції на кожному етапі. Обидва ці процесу також носять творчий, евристичний характер і навіть у рамках конкретних задач нелегко піддаються аналізу. Зокрема, вибір критеріїв раціональності конструкції залежить від безлічі взаємозв'язаних змінних і передусім від даних технічного завдання.

Лекція №3

Порядок попереднього конструювання основних вузлів приладу.

Вивчення та аналіз технічного завдання і вихідних даних на конструювання, вивчення взаємозв'язків конструкції БМА із зовнішніми пристроями та техніко-економічних можливостей

Вимоги, які висувають до конструкції БМА визначаються її призначенням, областю застосування, умовами експлуатації, типом виробництва. Вимоги

зводять в технічне завдання (ТЗ) на розробку, яке складають на основі вимог нормативно-технічної документації (НТД – держаних, республіканських, галузевих стандартів, стандартів підприємств, технічних вимог, керуючі технічні документи), вимоги замовника, вивчення потреб зовнішнього і внутрішнього ринку, аналізу кращих вітчизняних та закордонних аналогів, наукового прогнозування. ТЗ є вихідним документом для розробки БМА та технічної документації на неї. Відповідно до стандарту, ТЗ включає в себе такі розділи:

- «Найменування та область застосування»;
- «Підстава для розробки та її джерела»;
- «Мета та призначення розробки»;
- «Технічні вимоги»;
- «Економічні показники»;
- «Етапи розробки»;
- «Порядок контролю і прийомки, додатки».

У розділі «Найменування та область застосування» вказують найменування виробу, і дають коротку характеристику області його застосування. У розділі «Підстава для розробки та її джерела» вказують найменування документу, на підставі якого проводять розробку та організації, яка затвердила цей документ (у випадку курсового або дипломного проектування – завдання на проектування, видане кафедрою)/ Слід відмітити, що ТЗ на конструкторську розробку, повинно містити схему електричну принципову виробу. Тут же наводять НТД та інші джерела (каталоги продукції, яку випускає промисловість, технічні умови, інструкції по експлуатації аналогів, технічну літературу), які використовуються при складанні ТЗ. Розділ «Технічні вимоги» містить вимоги до виробу.

Розробка технічних вимог передуює розробці ТЗ. Технічні вимоги (ТВ) на розробку БМА визначають показники призначення (потужність, чутливість, роздільну здатність і т. д.), а також містять вимоги до конструкції: найменування, кількість і призначення основних частин; габаритні, установочні і приєднувальні розміри; вимоги щодо взаємозамінності частин, уніфікації, типізації, стандартизації та наступності. Крім того, у ТВ входять вимоги з охорони

навколишнього середовища, завадо-захищеності, складу запасного майна, безпеки праці, ергономіки та естетики, умов експлуатації (виду об'єкта установки, рівням кліматичних, механічних, радіаційних та біологічних впливів, порядку обслуговування, кваліфікації обслуговуючого персоналу і т. д.).

Виконавець на підставі ТВ розробляє технічне завдання ТЗ, в якому містяться економічні, виробничі та інші вимоги, визначається порядок розробки і приймання виробу. Субпідрядник вирішує для виконавця приватні питання: розробку і поставку нових матеріалів, елементів, вузлів, технологічних процесів, методів вимірювань або проводить випробування, відпрацювання на відповідність вимогам ергономіки і т. д.

Початковий етап конструкторської розробки – конструкторський аналіз вихідних даних, під час якого необхідно конкретизувати і сформулювати на основі виробленого аналізу додаткові вимоги до конструкції, потім виділити з електричної схеми радіоелектронні функціональні вузли, які повинні бути реалізовані у вигляді модулів нижчих рівнів – радіоелектронних комірок.

Конструкторський аналіз вихідних даних складається з наступних етапів:

- 1) аналіз вимог ТЗ,
- 2) з'ясування принципу роботи блоку, виконання аналізу схеми електричної принципової,
- 3) аналіз елементної бази,
- 4) аналіз конструкцій аналогічного призначення.

Аналіз вимог ТЗ необхідний для з'ясування конструктивних особливостей майбутнього виробу, які впливають з умов його експлуатації, обсягу виробництва та інших факторів.

При аналізі ТЗ необхідно встановити:

- 1) призначення блоку,
- 2) місце установки та умови експлуатації,
- 3) способи зчленування розроблювального блоку з об'єктом установки,
- 4) вимоги, що пред'являються до габаритів, форми, маси блоку,
- 5) вимоги, що пред'являються до захисту від кліматичних впливів,

- б) методи захисту від механічних впливів,
- 7) вимоги, пропонувані до забезпечення технологічності конструкції розроблюваного пристрою,
- 8) вимоги до надійності,
- 9) вимоги до забезпечення ремонтпридатності,
- 10) вимоги ергономіки і технічної естетики,
- 11) вимоги техніки безпеки,
- 12) економічні вимоги,
- 13) інші вимоги, що враховують особливості і специфіку розроблювального БМА.

Аналіз схеми електричної принципової доцільно проводити на рівні функціональної схеми. Для початку необхідно провести аналіз елементної бази. Завдання аналізу елементної бази полягає в тому, щоб встановити, чи відповідає вона заданим умовам експлуатації чи ні і, в разі невідповідності, застосувати конструктивні методи забезпечення її працездатності для заданих умов. З цією метою необхідно зіставити її експлуатаційні характеристики з тими даними, які характеризують умови роботи розроблюваного виробу по ТЗ.

Елементна база зазвичай задана конструктору і міститься в переліку елементів схеми електричних з'єднань (ЕЗ) БМА. Елементна база включає: дискретні елементи, моточні вироби (трансформатори, лінії затримки, дроселі, котушки індуктивності), напівпровідникові прилади, інтегральні схеми, вироби електроприводу і автоматики, комутаційні вироби, мікропроцесорні комплекти, контрольно-вимірювальні прилади, волоконно-оптичні кабелі зі з'єднувачами і т. д.

При аналізі доцільно встановити також схемну надійність елементної бази з урахуванням потоку раптових відмов. Експлуатаційні характеристики елементів наведені в паспортах на них.

За інтенсивністю відмов вираховується середнє напрацювання на відмову у відповідності з виразом

$$T_c = \frac{26}{\sum \lambda_i n_i K_{Hi}} \quad (2.1)$$

де T_c – напрацювання, год;

λ_i – інтенсивність відмов, 1/год;

n_i – кількість елементів даного типу;

K_{Hi} – коефіцієнт навантажень для заданих умов експлуатації.

Якщо елементна база обрана вірно, то величина повинна бути приблизно на порядок вища, ніж середній час напрацювання на відмову, заданий по ТЗ, оскільки оцінка носить наближений характер через неврахування реального режиму роботи конструйованого блоку.

Проведення аналізу конструкцій аналогічного призначення передбачає огляд конструкторських аналогів, під якими слід розуміти вироби, що мають те ж функціональне призначення, що і конструйований блок. За аналоги можуть бути взяті конструкції окремих вузлів – модулів.

За своїми характеристиками вироби, обрані за аналоги, повинні відповідати кращим вітчизняним або закордонним зразкам продукції випуску не раніше трирічної давності. Якість розроблювальної конструкції виробу на наступних етапах конструювання оцінюватиметься шляхом зіставлення його параметрів з відповідними показниками аналогів, зокрема, з даними одного з аналогів, прийнятого за базову конструкцію.

Відповідно до цього, вивчаючи аналоги, треба визначити їх показники призначення, у тому числі компоувальні характеристики, показники надійності, а також показники технологічності.

Вивчення конструкторських аналогів необхідно також для забезпечення конструктивної наступності, під якою розуміють виявлення прогресивних технічних рішень і використання їх у розроблюваній конструкції. Крім цього, ознайомлення з конструкціями аналогів сприяє створенню зримого образу майбутньої конструкції БМА.

Слід врахувати, що, виконуючи аналіз конструктивних аналогів, необхідно вивчати і описувати конструктивні рішення, а не схеми ЕЗ аналогічних пристроїв. У тексті повинні бути приведені ескізи (фото, малюнки) досліджуваних аналогів. За результатами виконаного аналізу повинні бути сформульовані конкретні рекомендації щодо застосування типових конструктивних і технологічних рішень у розроблюваному виробі.

При отриманні технічного завдання на конструювання нового пристрою конструктор перш за все шукає у завданні якомога повне і строге формулювання тієї кінцевої мети, яка перед ним ставиться.

Якщо конструктор підключається до роботи колективу над складним проектом для вирішення приватного завдання, притому підключається не з початкового, а з проміжного етапу, то це обмежує його обізнаність у відношенні проекту в цілому. Отже, йому нелегко встановити правильність постановки мети в завданні.

Якщо створюваний пристрій є частиною більш загальної технічної системи, то кінцева мета, яка ставиться перед конструктором в завданні, повинна бути сформульована на основі знання місця і ролі пристрою в системі. В цьому випадку цільове призначення пристрою визначається цільовим призначенням системи, що може зменшити завжди існуючу небезпеку підміни кінцевої мети.

Першочергове завдання конструктора – переконатися в тому, що кінцева мета сформульована правильно, що не відбулося її підміни яким-небудь приватним конкретизованим рішенням. Розробник технічного завдання може або помилково ототожнювати таке рішення кінцевою метою, або необґрунтовано рахувати його найкращим. У обох випадках воно може декларуватися в завданні, як обов'язкове. Нерідко з факту такої підміни витікає і помилковий вибір проміжних цілей. Необхідність критичного підходу до формулювання мети є однією з особливостей інженерних, в частковості конструкторських завдань, на відміну від строго поставлених учбових завдань математичного характеру з однозначно заданими умовами. Початківець конструктор повинен розуміти цю особливість, бути готовим до неї.

Спочатку необхідно усвідомити загальний принцип роботи блоку. З цією метою аналіз доцільно проводити на рівні функціональної схеми.

Слід пам'ятати про одне з основних завдань аналізу схеми, яке полягає в тому, щоб вже на даній стадії з'ясувати, які з функціональних вузлів схеми будуть у подальшому об'єднані в модулі, що реалізуються на друкованих платах (модулі першого рівня).

При аналізі електричної схеми необхідно:

1) встановити характер зв'язків між елементами схеми з метою подальшої їх реалізації,

2) з'ясувати робочі частоти радіоелектронних функціональних вузлів,

3) визначити величини споживаної і розсіюваної потужності в блоці,

4) визначити каскади, елементи і ланцюги, чутливі до завад, а також власні джерела завад, зробити висновки про необхідність застосування екранів та екранування проводів,

5) усвідомити, які є органи управління, індикації та контролю роботи блоку і де вони повинні бути розташовані,

6) визначити найбільш теплонавантажені елементи,

7) визначити найбільш важкі елементи і елементи, що вимагають спеціального кріплення,

8) виділити ланцюга, що знаходяться під високою напругою відносно корпусу блоку, зробити висновок про необхідність вжиття заходів для захисту лікаря та пацієнта,

9) визначити, якими елементами зовнішнього зв'язку блок з'єднується з іншими пристроями: через гніздо, з'єднувач, коаксіальний з'єднувач і т. д.,

10) усвідомити можливість застосування мікрозборок,

11) встановити можливість використання уніфікованих і стандартних вузлів.

За аналоги можуть бути взяті конструкції окремих вузлів – модулів.

При аналізі конструкцій аналогічного призначення доцільно висвітлити такі питання:

1) сумісність з об'єктом установки; тут необхідно з'ясувати, якими методами здійснюються встановлення та кріплення БМА на об'єкті, встановити, як здійснюється зв'язок ланцюгами живлення і сигнальними ланцюгами з іншими пристроями,

2) які органи управління індикації і регулювання виведені на лицьову панель; які з них винесені на інші панелі; які особливості установки і кріплення перерахованих органів,

3) чи забезпечує зовнішнє компонування зручність роботи оператора,

4) які методи і засоби композиційного рішення обрані для досягнення художнього сприйняття БМА,

5) які особливості несучої конструкції з точки зору зручності і швидкості доступу до внутрішніх вузлів БМА, тобто методи забезпечення ремонтпридатності,

6) які конструкційні матеріали використані в несучій конструкції корпусу, які способи виготовлення (наприклад, алюмінієвий сплав АЛ9, лиття під тиском з наступною механічною обробкою і т.д.),

7) чи застосовується герметизація або ущільнення в корпусі; якими конструктивними методами забезпечується герметичність корпусу; якщо корпус не герметичний, встановити, чи є вентиляційні отвори; яка їхня форма, спосіб виготовлення,

8) якими методами забезпечується захист матеріалу корпусу від корозії,

9) які особливості компоновки РЕЗ (касетна, книжкова або розміщення окремих осередків з об'ємним і друкованим монтажем на загальному шасі і т.д.),

10) як виконана несуча конструкція, з яких матеріалів виготовлені її елементи і як вони з'єднуються,

11) яким способом з'єднані шасі з передньою і задньою панелями,

12) яким способом кріпляться функціональні вузли на несучих,

13) які клітинки виконані на друкованих платах; які виконані за допомогою навісного монтажу,

14) чи є в РЕЗ важкі елементи, де вони розміщені, як кріпляться,

15) чи є високовольтні вузли і ланцюги; як кріпляться елементи, що знаходяться під високим потенціалом, на несучих,

16) яким способом кріпляться високовольтні дроти на контактних елементах,

17) які заходи захисту оператора та елементів апаратури від високої напруги,

18) чи застосовується екранування функціональних вузлів; яких саме; з якого матеріалу виконаний екран.

При розробці додаткових вимог до конструкції блоку слід враховувати нові методи конструювання, сучасні досягнення в технології виробництва БМА, діючі стандарти.

Вимоги до конструкції доцільно систематизувати за групами:

1) експлуатаційні: габарити, форма, маса, якість виконання БМА основних функцій; умови обслуговування і ремонтпридатності, конструктивне оформлення, надійність,

2) конструктивно-технологічні: захист від зовнішніх механічних навантажень; захист від вологи, пилу і мікроорганізмів, захист від агресивного середовища, захист від електромагнітних полів і іонізуючої радіації, забезпечення наступності та технологічності конструкції, уніфікації і стандартизації,

3) технічної естетики та ергономіки: принцип розміщення органів управління, контролю та індикації на лицьовій і інших панелях блоку; засоби і методи композиції для забезпечення художньої виразності виробу, в тому числі колірної гами,

4) економічні: витрати на розробку і виробництво, витрати матеріалів, витрати часу,

5) інші вимоги, що враховують особливості конструйованого виробу.

Важливою роботою конструктора є виділення структурних одиниць (модулів) нижчих рівнів і визначення їх габаритів. Під структурними одиницями нижчих рівнів розуміють радіоелектронні вузли або модулі (перший рівень). Комірка – це складальна одиниця, яка містить друковану плату з встановленими на ній радіоелементами (РЕ), які з'єднані електрично і механічно закріплені. Слід

звернути увагу на те, що згідно з нормативними документами до модулів нульового рівня відносяться неподільні елементи, призначені для реалізації функцій перетворення сигналів або інформації. Зазвичай це елементи (ЕРЕ, інтегральні схеми (ІС), елементи функціональної мікроелектроніки), які не мають самостійного експлуатаційного застосування.

При установці модуля першого рівня в несучу конструкцію, габаритні розміри якої стандартизовані, утворюється базова несуча конструкція (БНК) першого рівня. Зазвичай – це вставний каркас або касета, що містить багато вивідних з'єднувачів зовнішнього стикування і ключ.

Другий структурний рівень – рама або блок, – містить модулі першого рівня. Модуль другого рівня може комплектуватися осередками. Базова несуча конструкція другого рівня – стандартна рама або корпус блоку. Третій структурний рівень конструкції являє собою приладову стійку, шафа, пульт, тумбу, стелаж, стіл, приладовий блок. Базова несуча конструкція третього рівня – каркаси, корпуси стійок, шаф, пультів, кожухи.

При виділенні структурних одиниць нижчих рівнів – осередків і комплектуванні їх ЕРЕ використовують наступні принципи (критерії) [1, с. 15]: функціональної закінченості; електромагнітної сумісності; теплової сумісності; механічної сумісності; технологічності.

Критерій функціональної закінченості означає, що до складу РЕЗ першого рівня повинні входити один або кілька функціональних вузлів або пристроїв, яким надається конструктивна відособленість у вигляді осередку, модуля, касети. Застосування критерію електромагнітної сумісності означає, що до складу даного РЕЗ першого рівня повинні входити такі ЕРЕ і повинно бути забезпечене таке їх розміщення, щоб при роботі в режимі, передбаченому схемою, не відбувалася б зміна їх вихідних параметрів понад встановлені межі, внаслідок взаємних паразитних зв'язків і наводок і, як наслідок, зміна вихідних параметрів всього РЕЗ першого рівня за допустимі межі.

Якщо в складі передбачуваного модуля є елементи, які можуть бути джерелами завад для інших елементів даного модуля, необхідно передбачити їх

екранування. Застосування критерію теплової сумісності означає, що до складу даного РЕЗ першого рівня повинні включатися такі ЕРЕ і повинно бути забезпечене таке їх розміщення, щоб при функціонуванні в передбаченому режимі не відбувалися б зміни вихідних параметрів кожного з них за встановлені допуски внаслідок перегрівів і, як наслідок, зміна вихідних параметрів всього РЕЗ першого рівня за допустимі межі. Дотримання принципу механічної сумісності означає, що до складу даного РЕЗ першого рівня недоцільно включати одночасно дуже важкі й дуже легкі, чутливі до механічних впливів елементи. Кінематичні вузли і пов'язані з ними ЕРЕ доцільно виділяти в самостійні осередки.

Дотримання критерію технологічності необхідно для забезпечення зручності розміщення елементів і виконання зв'язків між ними, зручність наладки і можливості контролю в процесі виробництва та експлуатації, легкості доступу до елементів, що вимагає заміни, а при необхідності і заміни всього РЕЗ першого рівня, можливості застосування автоматизованих засобів установки елементів і складання вузла. До самостійних вузлів нижчих рівнів слід відвести лицьову панель, на якій розміщуються органи управління, настройки та індикації, а також задню панель з встановленими на ній елементами і вузлами зовнішньої стиковки.

Основні вимоги до компоновання БМА. Розробка попередніх варіантів ескізного компоновання приладу, особливості графічного відображення компоновання, аналіз технічних вимог

4.1 Основні вимоги до компоновання БМА

Етап конструювання – компоновання складного пристрою в найменшій мірі піддається логічному аналізу. Усі можливі комбінації розташування вузлів та деталей проєктуються в САПР, де можна оцінити всі переваги компоновки, перевірити електромагнітні впливи. Можна, однак, сформулювати декілька істотних для починаючого конструктора рекомендацій. Перш за все, що комбінації, які народжуються в голові конструктора, несуть на собі область його знань, спостережень, повсякденного і професійного досвіду. Тому в першу чергу виникають варіанти, пов'язані із найприйнятнішими, частіше конструктивними існуючими на даний момент рішеннями. Хід думок і дій конструктора при порівнянні і виборі варіантів може бути приблизно таким:

«Цей вузол достатньо поширений, випробуваний і надійний. Вельми і вельми спокусливо застосувати його цілком, нічого не міняючи. Виготовлення пристрою відразу різко подешевшав. Подивимося, проте, як виник цей вузол, які функції він виконує в існуючих пристроях і які виконуватиме в тому, який створюється. Які вимоги пред'являлися до нього раніше. Які пред'являються тепер. Випишемо колишні і майбутні вимоги у вигляді двох списків. Порівняємо ці списки. Чи все тут виявлено. Чи немає чого-небудь завуальованого. Чи є в другому списку вимоги, яких немає в першому. Чи істотні ці нові вимоги. Як їх задовольнити. Чи є в першому списку вимоги, яких немає в другому. Як вплинула на конструкцію вузла наявність саме цих вимог. Чи став він важчим. Чи став він більшим по габаритах. Чи багато ми програємо по вазі, пристосувавши цей вузол для наших цілей. Чи не ускладниться схема компоновки через включення в неї вузла із заданою конфігурацією. Чи не

вигідніше деякі функції вузла покласти на інші частини пристрою, а сам вузол, сильно спростивши його, все-таки зробити заново».

4.2 Попереднє ескізне компоування БМА

Ескізний проект – це вид конструкторської документації на виріб, який містить принципові конструктивні рішення і дає загальне уявлення про будову та принцип дії пристрою та дані, що визначають відповідність його призначенню.

Вибраний варіант підлягає детальній проробці для виявлення можливості найповнішого задоволення всіх поставлених вимог. На цій стадії розробляють всі електричні схеми з розбивкою на блоки та вузли, виготовляють окремі макети для відпрацювання електричних схем, в тому числі для визначення температурних режимів. Після узгодження та затвердження на технічній раді, ескізний проект є основою для наступної завершальної проектною стадії – технічного проекту, або, якщо це передбачене в ТЗ і не змінене в ході ескізного проектування, стає основою для робочого проектування.

Поєднання вибраних варіантів яких-небудь двох частин, узяті за основу, витримує перше випробування, якщо вдається на цій основі вдало підігнати один до одного решту всіх частин пристрою. Надалі остаточний варіант компоновки перевіряється більш повно, зокрема, на задоволення ряду вимог, що залишилися.

Необхідність розміщення ряду елементів саме в цій області диктується геометричним і фізичним сенсом. Труднощі розміщення всіх цих вузлів в межах критичної області стають першочерговими і концентрують на собі увагу конструктора. На схемі рис. 4.1, як передумови успішного виконання даної стадії компоування фігурують такі чинники, як «відсутність критичних зон», «простота з'єднань основних частин» і «поєднання функцій».

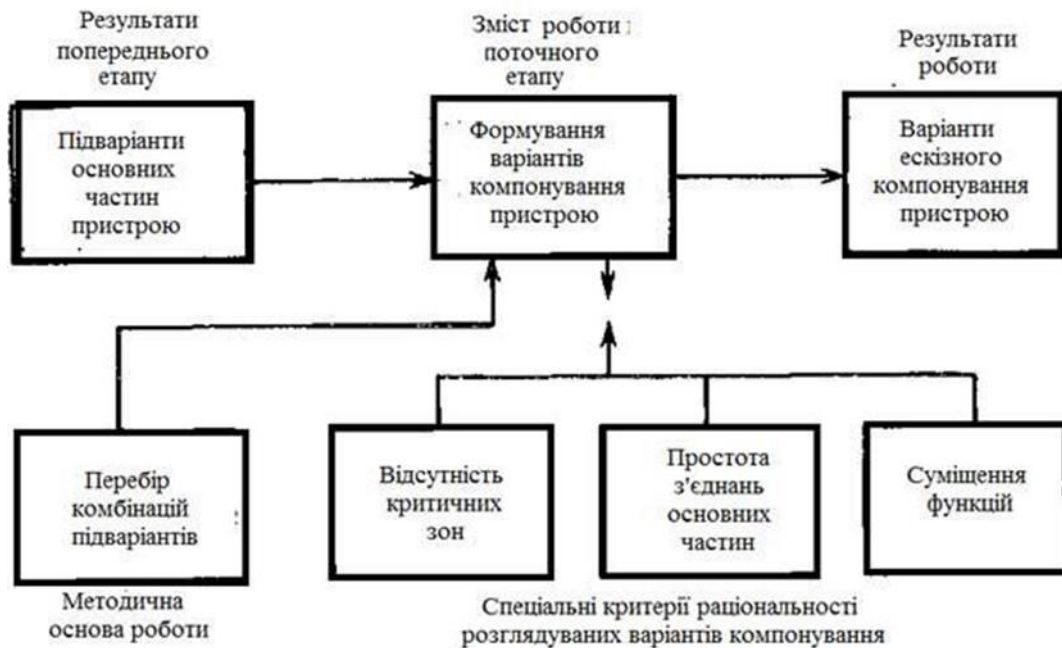


Рис. 4.1 – Етап компонування

Під простотою з'єднань можна розуміти нечисленність сполучних деталей, їх технологічну простоту і малу вагу, а також забезпечення простоти збірки і розбирання основних частин, а також і інші чинники. У кожній конкретній конструкції той або інший чинник отримує більшу або меншу значущість.

Стосовно поєднання функцій, то при опрацюванні варіантів компонування і переході від одних варіантів до інших, не слід забувати про прийнятий спочатку розподіл функцій між основними частинами.

Логічна послідовність компонування, при якій конструктор спочатку розчленовує принципову схему на частини, а потім все-таки знаходить можливості до їх інтеграції, може вважатися характерною для випадків глибокого конструкторського опрацювання складних пристроїв. Для простих пристроїв з невеликим числом деталей попереднє розчленовування на відособлені частини в ході компонування не завжди доцільне.

4.3 Визначення габаритних розмірів і маси конструктивних вузлів методами 3D моделювання

Сьогодні робота конструктора суттєво полегшилась, оскільки не потрібно проводити складних розрахунків і створювати моделі вручну для цього на озброєні сучасного конструктора є такі програми як Компас, Solid Work , та інші. Які дозволяють не лише оцінити загальну компоновку майбутнього приладу, а й оцінити фізичні навантаження на вузли, електромагнітну сумісність, сумісність по теплових режимах, охолодження зібраного пристрою. Зображення роботи даних комп'ютерних програм представлено на рис. 4.2, 4.3, 4.4.

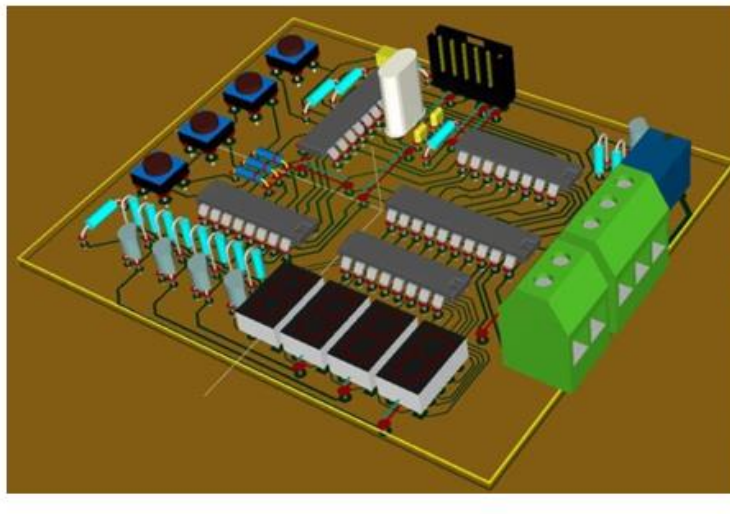


Рис. 4.2 – Проектування монтажної плати

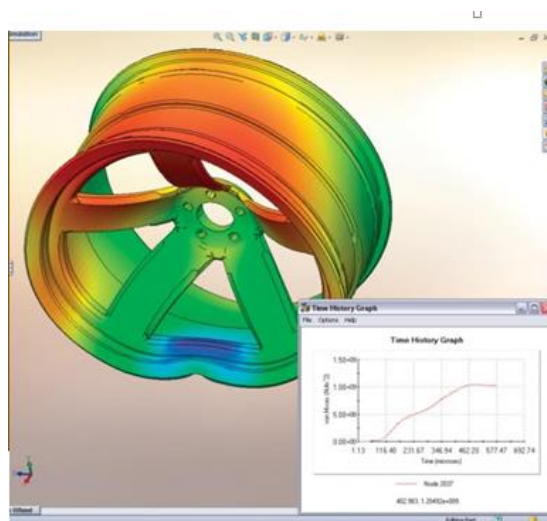


Рис. 4.3 – Перевірка фізичних навантажень на конструкцію

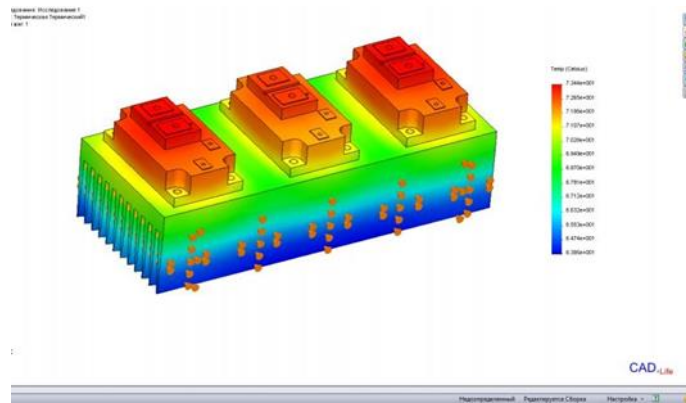


Рис. 4.4 – Ілюстрація термопроцесів

4.4 Вибір форми блоку

Найбільш істотними факторами, що впливають на вибір форми блоку, є:

- 1) місце установки та зручність з'єднання з об'єктом установки,
- 2) вимоги лаконічності форми для максимального застосування уніфікованих і стандартизованих виробів, що характеризуються, у свою чергу, простими і чіткими обрисами поверхонь і ліній сполучення. З цієї причини більшість вимірювальних блоків, а також блоки, що вбудовуються в стійки, виконують у формі паралелепіпеда,
- 3) характер та інтенсивність механічних навантажень, що діють на БМА в процесі експлуатації,
- 4) склад і форма конструктивних вузлів, з яких компонується БМА,
- 5) вимоги ергономіки,
- 6) традиційність форми БМА аналогічного призначення.

4.5 Внутрішнє компонування блоку

Внутрішнє компонування блоку можна виконувати методами графічної компонування, застосовувати САПР, використовувати окремі програмні модулі, розраховані на виконання компонування із застосуванням ЕОМ.

При використанні методу графічного компоунання рекомендується дотримуватися наступних правил, що впливають із необхідності забезпечення електромагнітної, теплової, механічної сумісності, ремонтпридатності і технологічності:

1) намітити «вхід» і «вихід» блоку, відповідні вхідним і вихідним сигналам; при цьому «вхід» і "вихід" необхідно рознести на максимально можливу відстань,

2) розміщення конструктивних комірок у блоці повинно бути таким, щоб шлях основного сигналу при проходженні від комірки до комірки якнайближче мав форму, що з'єднує «вхід» і «вихід» блоку. Розміщати комірки в блоці слід згідно з принципом максимальної зв'язності, що означає компактне розміщення найбільш зв'язаних електричних вузлів. Так, наприклад, поряд з "входом" розташувати модуль, найбільш пов'язаний з ним; потім розмістити вузол, максимально пов'язаний з попереднім, і т.д. до «виходу» блоку. Ідеальний випадок розташування конструктивних осередків – розташування їх «в лінійку», коли комірки розміщуються строго по прямій лінії від «входу» до «виходу»,

3) теплонавантажені комірки доцільно розміщувати якомога ближче до країв плати, на якій виконується компоунання,

4) важкі конструктивні вузли, а також вузли, що вимагають спеціального кріплення, слід розташовувати ближче до зовнішнього периметру плати-основи,

5) конструктивні вузли, органи управління яких повинні знаходитися на лицьовій панелі, потрібно розміщувати якнайближче до місця їх встановлення,

6) виходячи з необхідності забезпечення електромагнітної і теплової сумісності, відстані між ймовірними «джерелами завад» і «приймачами завад», так само, як і відстані між теплонавантаженими і термочутливими вузлами, необхідно вибирати якомога більшими,

7) орієнтація комплектуючих вузлів повинна забезпечувати найкращі умови теплообміну,

8) центр ваги блоку потрібно, по можливості, розташовувати ближче до геометричного центру блоку (або до осі, що проходить через центр),

9) орієнтацію конструктивних вузлів необхідно вибрати з урахуванням можливих напрямів дії динамічних навантажень таким чином, щоб забезпечити мінімальні деформації і напруження в елементах конструкції та електро-радіоелементах при дії зазначених навантажень,

10) при виконанні компоновання слід передбачити місце на платі для розміщення елементів для забезпечення теплового режиму, віброізоляції, герметизації, електромонтажу, кріплення,

11) при компонованні конструктивних вузлів необхідно забезпечити доступ до тих вузлів, які вимагають частої заміни або огляду. Це стосується, в першу чергу, кінематичних вузлів. Приклад комп'ютерного моделювання корпусу представлено на рис. 4.5,

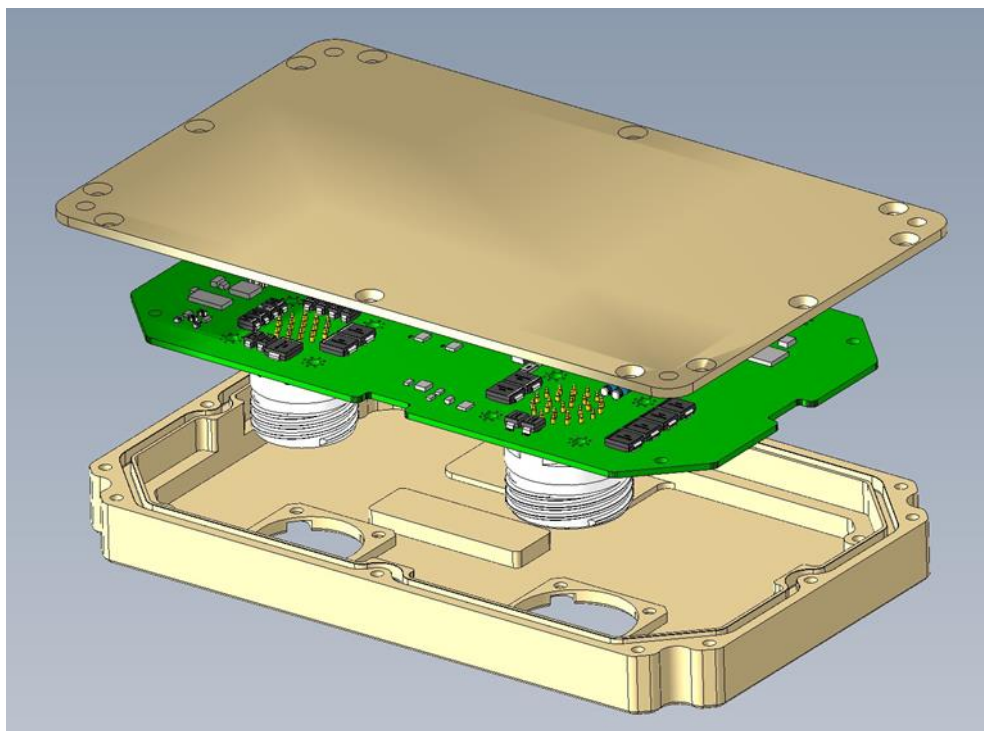


Рис. 4.5 – Моделювання корпусу

12) мінімальні відстані між вузлами, які необхідно компоувати, слід вибрати з урахуванням можливості застосування автоматів для встановлення, кріплення та електромонтажу.

Варіанти компоновання представлені масштабно-компоновальним ескізом рис. 4.6.

4.6 Забезпечення надійності на етапі компоновання

Розташування основних частин пристрою, яке було встановлене при компонованні, в подальшому вже не може піддаватися істотним змінам. Відповідно до цього і причини ненадійності пристрою, пов'язані з розташуванням частин, які важко усунути.

Істотним недоліком компоновання є його «рихлість», нещільне заповнення деталями всього об'єму. Якщо навіть «рихлість» і не є безпосередньою причиною зниження надійності даного пристрою, то побічно вона може сприяти зниженню надійності тієї складної системи, в яку даний пристрій входить як складовий, оскільки надійність систем сильно залежить від об'ємів, наведених у технічному завданні. Невиправдане збільшення габаритів одного з пристроїв даної системи може викликати необхідність появи надмірно жорстких габаритних обмежень для іншого пристрою, рис. 4.6.

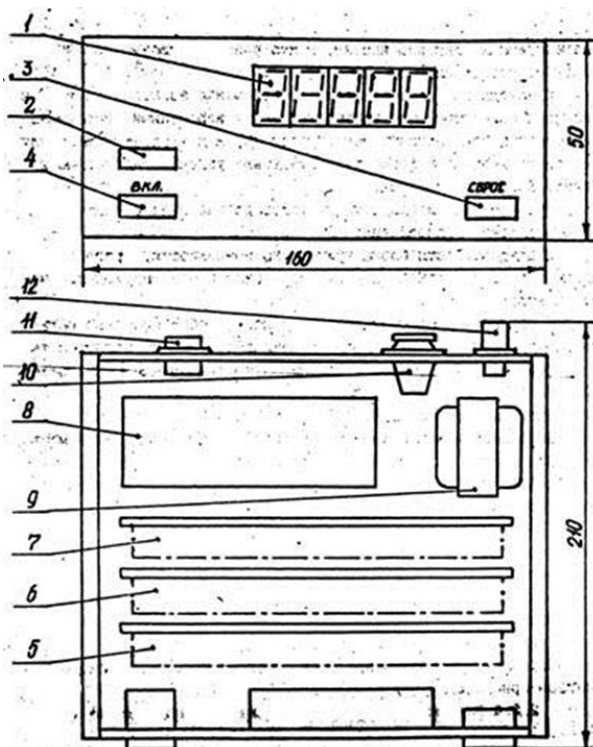


Рис. 4.6 – Масштабно-компонувальний ескіз блоку:

1 – цифрові індикатори; 2 – індикатор; 3 – кнопка «Скидання»; 4 – кнопка «Живлення»; 5 – модуль індикації; 6 – модуль підсилювача; 7 – модуль перетворювача; 8 – модуль живлення; 9 – трансформатор; 10 – запобіжник з тримачем; 11 – з'єднувач ХІ; 12 – з'єднувач живлення

«Рихлість» – дефект компоновання, який найпростіше виявляється, і так чи інакше пов'язаний з надійністю. Але існують чинники, що викликають ненадійність, джерела яких хоча і пов'язані з розташуванням частин, проте криються глибоко і нелегко виявляються. Це впливає з того, що компоновання пристрою створювалося на основі технічних вимог, які давали можливість абстрагуватися від повторного розгляду конкретних обставин, що породили ці вимоги. Наявність технічних вимог дозволяє конструктору створити систему опорних точок для компоновання. Проте, перевірка компоновання по технічних вимогах не може служити перевіркою на надійність. Щоб здійснити таку перевірку, потрібно знов звернутися до аналізу взаємозв'язків пристрою з оточенням, але вже на іншій, уточненій основі.

Так само слід розглянути умови роботи передбачених компонованням елементів, особливо чутливих до температурних дій, тобто елементів, що потребують обігріву, охолодження або стабілізації температурного режиму. Необхідно далі з'ясувати, до яких наслідків може призвести тимчасова відсутність обігріву, охолодження, стабілізації температури цих елементів за різних умов експлуатації і на різних режимах.

Питання герметизації і зв'язок їх з надійністю також належать до тих питань, які повинні розглядатися на етапі компоновання. Розміщуючи апаратуру в герметичні кожухи, можна, здавалося б, якнайкращим способом захиститися від шкідливих зовнішніх дій, але при цьому не можна забувати про цілий ряд негативних чинників, спричинених герметизацією.

При тих або інших поєднаннях умов можуть мати місце наступні негативні чинники герметизації:

- 1) погіршення умов охолодження,
- 2) ускладнення захисту від шкідливих речовин, що виділяються усередині самої апаратури,
- 3) ускладнення і дорожчання конструкції,
- 4) збільшення ваги і габаритів,
- 5) труднощі герметизації виводів (наприклад, штепсельних роз'ємів).

Таким чином, рішення, що стосується герметизації, ухвалюється на етапі компонування з урахуванням багатьох чинників. Яку б групу взаємозв'язків ми не розглянули, скрізь існують залежні від компонування тонкощі, що впливають на надійність пристрою.

4.7 Місце встановлення пристрою

Повнота інформації про «місце» є надзвичайно важливою умовою успішного рішення задачі компонування. Не біда, якщо з ряду причин конструктору не ставлять ніяких обмежень, пов'язаних з «місцем». Навпаки, він відчуває себе вільніше, а отже, може шукати оптимальніші рішення. Справа йде значно складніше, якщо дані про місце встановлення є важливими, але конструктор не має їх в своєму розпорядженні. Подібна ситуація може виникнути при створенні апаратури для ще не спроектованих об'єктів.

Недостатня інформація про місце встановлення вимагає вміння представити його собі узагальнено, а конструкції додати якості, що забезпечують можливість встановлення пристрою на будь-якому об'єкті. Іноді вдається забезпечити подібну пристосовність пристрою до різних об'єктів за рахунок невеликої кількості перехідних кріпильних деталей, що виконуються кожного разу по-новому. Як правило, чим більші габарити і вага пристрою порівняно з габаритами об'єкту, тим складніша «прив'язка» першого до другого, особливо якщо її розуміти не тільки чисто геометрично, але і ширше. У представленні компонування останнє повинно бути частиною об'єкту, що виконує деяку частку покладених на об'єкт функцій. При такому підході можна говорити,

зокрема, і про «жорстку» прив'язку пристрою до об'єкту. Поширена помилка конструктора-початківця – надмірне збільшення жорсткості пристрою без урахування малої жорсткості об'єкту. Така неузгодженість веде іноді до погіршення характеристик комплексної жорсткісної моделі через зайве перевантаження пристрою.

Методи забезпечення технологічності конструкції БМА.**Техніко-економічний аналіз конструкції БМА. Поняття технологічності конструкції БМА. Показники технологічності**

Технологічність конструкції — це сукупність властивостей конструкції (виробу), які проявляються у можливості використання оптимальних (найвигідніших техніко-економічних) витрат праці, коштів, матеріалів і часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті виробу. Технологічність конструкції виробу характеризує можливість його виготовлення, експлуатації та зберігання за умов використання наявних у виробника та споживача виробу трудових, матеріальних, енергетичних та інших ресурсів. Будь-який виріб повинен бути технологічно раціональним для заданих конкретних умов підготовки його виробництва, виготовлення, експлуатації та ремонту. Ці вимоги слід знати конструктору до початку розробки конструкції виробу.

Вид технологічності визначається ознаками, які характеризують область прояву технологічності конструкції виробу. За цими ознаками розрізняють такі види технологічності:

- технологічність у проектуванні, яка може бути оцінена кількістю уніфікованих вузлів, уніфікацією поверхонь деталей (наприклад, різі, рівців для виходу інструмента тощо), уніфікацією матеріалів, які використовуються,
- виробнича технологічність конструкції виробу виражається в скороченні витрат коштів і часу на: конструкторську підготовку виробництва; технологічну підготовку виробництва; процеси виготовлення, в тому числі контролю та випробувань, а також монтажі за межами підприємства виробника,
- експлуатаційна технологічність конструкції виробу виражається в скороченні витрат часу та коштів на його підготовку до використання, технічне обслуговування, поточний ремонт та утилізацію виробу,

- ремонтна технологічність — технологічність конструкції виробу при всіх видах ремонту, крім поточного.

Технологічність складальних одиниць забезпечується дотриманням наступних вимог:

- конструкція виробу повинна дозволяти незалежне, паралельне складання вузлів різного призначення, що скорочує цикл загального складання,
- конструкція вузла повинна дозволяти складання без необхідності повного або часткового демонтажу уже встановлених елементів,
- за необхідності забезпечення однозначності розміщення елементів, які складають, треба використовувати контрольні штифти, несиметричне розміщення болтів тощо,
- в умовах автоматизованого складання конструкція деталі повинна забезпечувати просте орієнтування у просторі та можливість використання механізованих інструментів (викруток тощо),
- при автоматизованому складанні конструкція виробу повинна дозволяти складання за допомогою нескладних прямолінійних рухів без додаткових обертальних рухів.

При цьому, доцільно нерозбірні з'єднання виконувати методами клепання, розвальцювання, склеювання тощо.

5.1 Шляхи та методи забезпечення технологічності конструкції БМА

Для всіх видів виробів за ГОСТ 14.201-83 при відпрацюванні конструкції на технологічність ставляться завдання зниження трудомісткості виготовлення виробу. Вона залежить від багатьох факторів, головними з яких слід вважати:

- стандартизацію — діяльність, що полягає в установленні положень для загального та неодноразового використання щодо наявних чи потенційних завдань і спрямована на досягнення оптимального ступеня впорядкованості в певній сфері,

- уніфікацію (від лат. unus — один, facio — роблю; об'єднання) — приведення до одноманітності, до єдиної форми або системи; раціональне скорочення числа об'єктів однакового функціонального призначення,

- типізацію технологічних процесів виготовлення, технічного обслуговування та ремонту виробу.

До основних конструкторських методів забезпечення технологічності відносяться: 1) використання найбільш простої і відпрацьованої у виробництві конструкторської ієрархії (базової конструкції); 2) вибір розмірів і форми компонентів, деталей і вузлів конструкції з урахуванням економічно доцільних для заданих умов виробництва способів формоутворення, при цьому враховується, що прогресивні способи формоутворення, використовувані в масовому і серійному виробництві, дозволяють зменшити матеріаломісткість виробів за рахунок зменшення товщини елементів конструкції і скорочення відходів; 3) зменшення числа рівнів укрупнення конструкцій БМА і вибір їх форми і розмірів з урахуванням уніфікованого оснащення і стандартного устаткування; 4) зменшення номенклатури використовуваних матеріалів і напівфабрикатів; 5) зменшення застосування дефіцитних або токсичних матеріалів, дорогоцінних металів; 6) обґрунтований вибір квалітету точності, шорсткості поверхні, настановних і технологічних баз; 7) конструктивна і функціональна взаємозамінність вузлів, мінімізація числа підстроюваних і регульованих елементів (особливо з механічним підстроюванням); 8) контролепридатність та інструментальна доступність елементів, деталей і вузлів (зокрема підстроюваних), особливо при автоматизованому і механізованому виготовленні.

Ієрархічність є одним з найважливіших способів підвищення технологічності конструкції і обумовлена наступними технологічними міркуваннями.

1. При збільшенні ступеня інтеграції ІС крім економічної доцільності різко зростає відсоток браку і відповідно вартість виробництва; часто приймають, що допустимий відсоток виходу придатних інтегральних схем, які повторно

запускаються у виробництво, має бути не нижче 10%. При нижчому відсотку виходу придатних ІС слід понизити ступінь інтеграції;

2. При поділі всієї конструкції на окремі конструктивно закінчені частини з'являється можливість організувати одночасне виготовлення окремих частин і тим самим скоротити тривалість спільного циклу виготовлення на рівні окремих вузлів;

3. Полегшують доступ до окремих частин конструкції при виготовленні та ремонт придатність при експлуатації.

Характер конструкторської ієрархії визначається: економічно доцільною функціональною складністю БМА і числом рівнів її укрупнення, загальним числом об'єднаних вузлів (елементарних вузлів (комірок), блоків, шаф); характером конструкторсько-технологічних рішень, прийнятих для даного виду ієрархії. Конструкторська ієрархія дозволяє поліпшити технологічність конструкції шляхом скорочення числа рівнів укрупнення, їх типізації і уніфікації, організації добре оснащених спеціалізованих виробництв, типових технологічних процесів (ТП) для кожного рівня, автоматизації конструювання і виготовлення з використанням ЕОМ і роботів. Проте, конструкторська ієрархія призводить до втрати щільності компонування, збільшення маси, габаритів і вартості БМА (необхідні додаткові роботи по збірці та електромонтажу конструкції), зниження надійності через введення додаткових несучих і монтажних елементів.

При розробці конструкції повинні враховуватися особливості ТП, особливо високопродуктивних. Форма, розміри, точність виготовлення, шорсткість поверхні деталей і вузлів вибираються з урахуванням особливостей використовуваних ТП.

Конструктор, орієнтуючись на той або інший ТП, винен враховувати його надійність. Найбільшу надійність мають автоматизовані операції виготовлення і контролю виробів, що забезпечують високу точність підтримки режимів ТП виготовлення і контролю. На неавтоматизованих етапах виготовлення виробів,

де визначальними є дії операторів, виникають більшість дефектів готової продукції.

Особливо важливо автоматизувати і забезпечити точність дотримання режимів таких операцій, результати яких не можуть бути виявлені безпосередньо після їх здійснення; недотримання режимів операцій у свою чергу, може призвести до появи прихованого браку виробів. Прикладом операції, результат якої важко проконтролювати безпосередньо, є створення нероз'ємних контактних з'єднань на всіх рівнях конструкції БМА (паяння електрорадіоелементів на платах, паяння або закрутка монтажних проводів на монтажних панелях і т. д.). При виконанні просочувальних робіт можливі відхилення вакууму, тиску, температури, часу. Якщо через недостатню температуру в процесі сушки в обмотці залишиться волога, то може відбутися обрив проводу внаслідок електрохімічної корозії. Якщо при опресовуванні полімером мала температура або час витримки, то полімеризація буде неповною і вологозахисні властивості полімерної оболонки погіршуються.

Ухвалені конструктивні рішення багато в чому визначають надійність виробів. При цьому прагнуть до максимально можливої типізації і уніфікації конструкцій, використання нормованих геометричних розмірів, що дозволяє створити універсальне оснащення для різних за призначенням вузлів. Це скорочує час підготовки виробництва при запуску нового вигляду виробів. Під типізацією розуміють зведення всього можливого різноманіття конструктивних рішень до невеликого числа. Уніфікація означає використання одних і тих же конструкцій для створення апаратури різного призначення, тобто розширення області використання типових рішень.

Типізація вузлів здійснюється або лише за конструкторсько-технологічними обмеженнями (габарити і форма частин, число контактів роз'ємів, тип електромонтажу, число шарів комутації і т. д.), або за конструктивно-технологічними, і за функціональними ознаками (регістр, дешифратор, мікропроцесор, запам'ятовуючий пристрій, модулятор, компаратор, генератор і т. д.).

У першому випадку конструктивна типізація дозволяє зменшити до мінімуму число рівнів укрупнення і, відповідно, число ТП і кількість технологічного оснащення, краще оснастити ТП і ретельніше його налагоджувати (створити типовий ТП). У другому випадку використання функціонального принципу спрощує і обслуговування апаратури при експлуатації, зменшує номенклатуру блоків, контрольного обладнання, запасного комплекту. Негативною стороною будь-якої типізації є можливість появи надмірності. При конструктивно-технологічній типізації можливе неповне заповнення вузлів елементами через обмежене число контактів в з'єднувачах. Функціональна типізація може привести до неповного використання всіх елементів через те, що частина їх (наприклад, вихід дешифратора або каскадів підсилювача) у деяких вузлах може не використовуватися. Окрім втрат об'єму це призводить до збільшення споживаної потужності і зменшення надійності.

Одним із завдань типізації є раціональний вибір обмеженого параметричного ряду базових конструкцій з початкового ряду, визначеного державним або галузевим стандартом. Початковими даними для вибору є:

1) функція попиту (потреби) базової конструкції того або іншого типорозміру: $W = F_1(x)$,

2) функція вартості (витрат) на базову конструкцію того або іншого типорозміру x : $C = F_2(x)$,

3) функція втрат на адаптацію при використанні базових конструкцій більшого або меншого розміру: $A = F_3(x)$.

При виборі оптимального параметричного ряду базових конструкцій критерієм оптимальності є найменші сумарні витрати $\min (\sum WC + \sum A)$.

Більш загальним критерієм оптимальності є максимум середнього економічного виграшу від впорядкування виробництва БМА при проектуванні і впровадженні параметричного ряду.

Особлива увага при розробці конструкції повинна звертатися на обмеження номенклатури матеріалів, зменшення дефіцитних і токсичних матеріалів,

дорогоцінних металів, матеріаломісткості виробів. Так, доцільно комутацію елементів ІС виконувати не золотом, а алюмінієм або міддю. Це, однак, не виключає застосування при необхідності підкладки із сапфіра або інших рідкісних матеріалів. Небажано використовувати в конструкції такі токсичні матеріали, як оксид берилію і деякі компаунди (наприклад, КТ-102), оскільки заходи по забезпеченню техніки безпеки ускладнюють підготовку виробництва, але в технічних обґрунтованих випадках вони можуть бути використані.

Технологічність конструкції БМА забезпечується на всіх етапах розробки. При узгодженні ТЗ визначають вимоги по технологічності БМА в цілому (уніфікація, типізація, спадкоємність), встановлюється зв'язок показників БМА і техніко-економічних вимог з використанням нових матеріалів і ТП. На етапі технічної пропозиції розробляються варіанти розчленовування конструкції БМА, визначають запозичені і оригінальні деталі, очікуваний рівень технологічності конструкції. На етапі ескізного проекту детальніше уточнюються розчленовування конструкції, використовувані типові конструкції, параметри матеріалів, способи базування деталей і регулювання вузлів, можливості використання типових технологічних процесів, заходи щодо зручності обслуговування, номенклатура змінних і ремонтних деталей. На етапі технічного проекту виявляється можливість застосування покупних виробів, стандартних, освоєних виробництвом деталей і вузлів і забезпечення технологічності складних деталей; визначаються методи обробки деталей, можливість паралельної і незалежної збірки вузлів і деталей; оцінюється можливість застосування типових і групових ТП; відпрацьовується конструкція деталей, призначених для обслуговування і ремонту; забезпечується мінімізація пригоночних і налагоджувальних робіт. На етапі робочої документації уточнюється номенклатура уніфікованого кріплення і типових елементів; аналізується можливість забезпечення технологічності збірки (виключення проміжного розбирання, вибір способів базування і фіксації, методів регулювання); встановлюються економічно доцільні способи отримання

заготовок; проводиться поелементний відробіток конструкції деталей і вузлів на технологічність.

На всіх етапах розробки конструкції починаючи з технічної пропозиції проводиться контроль конструкторської документації на технологічність. На етапі технічної пропозиції перевіряється правильність вибору розчленовування конструкції на вузли і деталі відповідно до вимог технологічності; на етапі ескізного проекту уточнюється компоновка (простота, спадкоємність конструкції, зручність виготовлення, монтажу, регулювання, відповідність марок використовуваних матеріалів встановленому переліку); на етапі технічного проекту оцінюється можливість паралельної збірки і контролю вузлів виробу і всього виробу в цілому, технологічність збірки виробу і його вузлів, забезпечення взаємозамінюваності складальних вузлів і деталей; мінімізується об'єм дороблювальних робіт. На етапі робочої документації слід звертати увагу на наявність складальних баз деталей і вузлів, вимоги точності виконання розмірів і забезпечення необхідної шорсткості поверхні деталей, технологічність використовуваних видів виробництв.

5.2 Техніко-економічний аналіз конструкції БМА

Для оцінки заходів по підвищенню технологічності конструкції БМА проводиться техніко-економічний аналіз, в результаті якого встановлюється техніко-економічний ефект, обумовлений впровадженням нової техніки і технології з урахуванням додаткових витрат на проектування і підготовку виробництва. Техніко-економічний ефект виявляється у вигляді економії витрат і задоволення потреб людей у наданні медичних послуг. Основною передумовою підвищення економічного ефекту як при виготовленні, так і при експлуатації є підвищення технологічності конструкції.

Розрізняють виробничу, експлуатаційну і ремонтну технологічність конструкції. Виробнича технологічність визначає об'єм робіт з технологічної підготовки виробництва, складність виготовлення, зручність монтажу поза

підприємством-виготівником; експлуатаційна технологічність визначає об'єм робіт при підготовці виробу до використання за призначенням, технічному ремонту і утилізації (поверненню у виробництво відходів); ремонтна технологічність характеризує властивості виробу при всіх видах ремонту, окрім поточного.

Технологічність конструкції визначається на основі показників технологічності, які розрізняються: по області прояву (виробничі, експлуатаційні); цілях аналізу (технічні, техніко-економічні); системі оцінки (базові, розроблюваної конструкції); способу вираження (абсолютні, відносні); ступеню значущості (основні, додаткові); кількісному характеру (часткові, комплексні). Деякі показники можуть мати різновиди. Так, виробнича технологічність конструкції характеризується конструкторськими і технологічними показниками технологічності.

Конструкторські показники визначають конструктивну спадкоємність – сукупність властивостей виробу, що характеризується повторюваністю в ньому складових частин, що відносяться до виробів даної класифікаційної групи, і наявністю нових складових частин, обумовлених його функціональним призначенням, а також деякі вимоги до складності ТП збірки.

5.3 Показники технологічності

ГОСТ 14.202-83 виділяє основні і додаткові показники технологічності. До основних показників відносять:

- трудомісткість виготовлення виробу (сумарні витрати праці на здійснення технологічних процесів виготовлення виробу),
- технологічну собівартість виробу (частина собівартості виробу, яка визначається сумою витрат на здійснення технологічних процесів виготовлення виробу).

Додаткові показники технологічності поділяють на такі:

- техніко-економічні — відносна трудомісткість видів робіт: заготівельних, механічних, складання тощо,

- технічні (конструкторські), що оцінюють конструкцію як виробу в цілому, наприклад: коефіцієнт уніфікації вузлів/деталей, коефіцієнт стандартизації деталей, коефіцієнт точності та ін.

Технологічність конструкції може бути оцінена і на підставі рекомендацій щодо конструкції заготовок (товщина стінки для виливків, перепад діаметрів при куванні тощо).

Деякі конструкторські показники технологічності конструкції:

Коефіцієнт застосовності деталей:

$$K_{nd} = 1 - D_{тр.ор} / D_{тр.обц} \quad (5.1)$$

де $D_{тр.ор}$ — число типорозмірів оригінальних деталей;

$D_{тр.обц}$ — загальне число типорозмірів деталей без урахування кріплення.

Коефіцієнт застосовності електрорадіоелементів (ЕРЕ):

$$K_{н.эрэ} = 1 - H_{тр.ор.эрэ} / H_{тр.эрэ} \quad (5.2)$$

де $T_{тр.ор.эрэ}$ — загальне число типорозмірів оригінальних ЕРЕ;

$T_{тр.эрэ}$ — загальне число типорозмірів ЕРЕ.

Коефіцієнт застосовності вузлів:

$$K_{ne} = 1 - E_{тр.ор} / E_{тр} \quad (5.3)$$

де $E_{тр.ор}$ — число типорозмірів оригінальних вузлів;

$E_{тр}$ — загальне число типорозмірів вузлів у виробі.

Коефіцієнт повторюваності деталей і вузлів:

$$K_{нов.де} = 1 - (D_T + E_T) / (D + E) \quad (5.4)$$

де D_T і E_T – загальне число типових деталей і вузлів у виробі.

Коефіцієнт повторюваності ЕРЕ:

$$K_{нов.эре} = 1 - H_{тр.эре} / H_{эре} \quad (5.5)$$

де $H_{тр.эре}$ – число типових ЕРЕ у виробі;

$H_{эре}$ – загальне число ЕРЕ у виробі.

Коефіцієнт повторюваності ІС і мікрозборок:

$$K_{нов.ис} = 1 - H_{тр.ис} / H_{ис} \quad (5.6)$$

де $H_{тр.ис}$ – число типорозмірів корпусів ІС і мікрозборок;

$H_{ис}$ – число ІС і мікрозборок.

Коефіцієнт повторюваності друкованих плат:

$$K_{нов.пн} = 1 - H_{тр.пн} / H_{пн} \quad (5.7)$$

де $H_{тр.пн}$ – число типорозмірів друкованих плат;

$H_{пн}$ – число друкованих плат.

Коефіцієнт повторюваності матеріалів:

$$K_{нов.м} = 1 - H_{мм} / D_{тр.ор} \quad (5.8)$$

де $H_{мм}$ – число маркосортаментів.

Коефіцієнт використання ІС і мікрозборок:

$$K_{\text{учн.ИС}} = H_{\text{ИС}} / (H_{\text{ИС}} + H_{\text{эпр}}) \quad (5.9)$$

Коефіцієнт установчих розмірів:

$$K_{\text{ур}} = 1 - H_{\text{ур}} / H_{\text{эпр}} \quad (5.10)$$

де $H_{\text{ур}}$ – число видів установочних розмірів ЕРЕ.

Коефіцієнт складності друкованих плат:

$$K_{\text{с.пл}} = 1 - H_{\text{мпл}} / H_{\text{пл}} \quad (5.11)$$

де $H_{\text{мпл}}$ – загальне число багатшарових друкованих плат.

Коефіцієнт освоєння деталей:

$$K_{\text{осв}} = 1 - D_{\text{ор}} / D \quad (5.12)$$

де $D_{\text{ор}}$ – число оригінальних деталей.

Коефіцієнт складності збірки:

$$K_{\text{с.сб}} = 1 - E_{\text{мп.сн}} / E_{\text{мп}} \quad (5.13)$$

де $E_{\text{мп.сн}}$ – число типорозмірів вузлів, що вимагають регулювання або підгонки у складі виробу з використанням спеціальних пристроїв або сумісної обробки з розбиранням і повторною збіркою;

$E_{\text{мп}}$ – загальне число типорозмірів вузлів.

Що таке ергономіка і її вплив на конструкцію БМА. Основи композиції зовнішнього вигляду приладу**6.1 Що таке ергономіка і її вплив на конструкцію БМА**

Ергономіка, ергономія (грец. *έργος* — праця і *νόμος* — закон; англ. *ergonomics, human engineering*; нім. *ergonomik f, ergonomie f*) — наука, яка комплексно вивчає особливості виробничої діяльності людини в системі «людина-техніка-довкілля» з метою забезпечення її ефективності, безпеки та комфорту. Це область науково-прикладних досліджень, що знаходяться на стику технічних наук, психології і фізіології праці, в якій розробляються проблеми проектування, оцінки та модернізації системи «людина – колектив – машина – середовище – соціум – культура – природа» [1]. Ергономіка займається комплексним вивченням і проектуванням трудової діяльності з метою оптимізації знарядь, умов і процесу праці, а також професійної майстерності.

Перші дослідження, з якими безпосередньо пов'язують зародження ергономіки, відносять до 20-их років. 20 ст., коли у Великобританії, США, Японії та деяких інших країнах фізіологами, психологами, лікарями та інженерами робилися спроби комплексного вивчення людини в процесі трудової діяльності з метою максимального використання її фізичних і психологічних можливостей та подальшої інтенсифікації праці. Термін «ергономіка», запропонований ще в 1857 польським натуралістом В. Ястшембовським, отримав широке поширення після 1949, коли група англійських учених на чолі з К. Марелла організувала ергономічне дослідницьке товариство, з яким зазвичай пов'язують формування ергономіки як самостійної наукової дисципліни. [4]. З середини 50-х років. вона інтенсивно розвивається в багатьох країнах світу: створена Міжнародна ергономічна асоціація (1961), в якій представлено понад 30 країн; раз на три роки проводяться міжнародні конгреси по ергономіці; в Міжнародній організації з стандартизації утворений технічний комітет «Ергономіка». У Великобританії з

1957 видається журнал «Ergonomics», що став офіційним органом Міжнародної ергономічної асоціації, а також журнали «Applied Ergonomics» (з 1969) і «Ergonomics Abstracts» (з 1969); журнали ергономічного профілю видаються також у Болгарії, Угорщині, США, Франції. У Великобританії, Канаді, Польщі, Румунії, США, Франції, ФРН і Японії розробляють навчальні програми і ведеться підготовка фахівців в області ергономіки в університетах та інших вищих навчальних закладах. На жаль, повною мірою ідея інтеграції зусиль різних фахівців у галузі вивчення праці так і не реалізувалася, що свідчить про складність цього питання, і про необхідність пошуку нових підходів у цьому напрямку.

Предметом ергономіки є трудова діяльність, а об'єктом дослідження – системи «людина – колектив – машина – середовище – соціум – культура – природа». Цю систему часто називають «ергономічною системою».

Ергономіка так чи інакше пов'язана з усіма науками, предметом досліджень яких є людина як суб'єкт праці, пізнання і спілкування. Ергономіка не може абстрагуватися від проблем взаємозв'язку особистості з умовами, процесом і знаряддями праці, які є предметом вивчення психології праці. Вона тісно пов'язана з фізіологією праці, яка є спеціальним розділом фізіології, присвяченим вивченню змін функціонального стану організму людини під впливом його робочої діяльності та фізіологічному обґрунтуванню наукової організації його трудового процесу, сприяє тривалому підтриманню працездатності людини на високому рівні. Ергономіка використовує дані гігієни праці, яка є розділом гігієни, що вивчає вплив виробничого середовища і трудової діяльності на організм людини і розробляє санітарно-гігієнічні заходи щодо створення здорових умов праці. Ергономіка за природою своєю займається профілактикою охорони праці, під якою розуміють комплекс правових, організаційних, технічних, економічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на забезпечення безпеки праці та збереження здоров'я працюючих.

Ергономіка вирішує також ряд проблем, поставлених у системотехніці: оцінювання надійності, точності і стабільності роботи оператора, дослідження

впливу психологічної напруженості, втоми, емоційних факторів і особливостей нервово-психічної організації оператора на ефективність його діяльності в системі «людина-машина», вивчення пристосувальних і творчих можливостей людини.

У практичному відношенні проблема взаємин ергономіки і системотехніки – це проблема організації всебічного та професійного обліку ергономічних факторів на різних етапах створення систем (проектування, виготовлення, випробувань, впровадження) та їх експлуатації. Ергономіка не може ефективно вирішувати поставлені перед нею завдання без тісних зв'язків з промисловою соціологією, соціальною психологією та іншими суспільними науками. Поза цими зв'язками ергономіка не може ні повноцінно розвиватися, ні правильно прогнозувати соціальний ефект від впровадження розроблених нею рекомендацій. Дана група наук у певному відношенні опосередковує взаємозв'язок ергономіки з економікою. Ергономічний підхід до вивчення трудової діяльності не дублює досліджень, проведених у сфері психології, фізіології та гігієни праці, але спирається на них та доповнює їх. [2]. Комплексний підхід, характерний для ергономіки, дозволяє одержати всебічне уявлення про трудовий процес і, тим самим, відкриває широкі можливості для його вдосконалення. Саме ця сторона ергономічних досліджень представляє особливу цінність для наукової організації праці, при якій практичному впровадженню конкретних заходів передують ретельний науковий аналіз трудових процесів і умов їх виконання, а самі практичні заходи базуються на досягненнях сучасної науки і передової практики.

У розвитку ергономіки можна виділити кілька етапів. Завданням першого етапу стало підвищення продуктивності праці. Людину розглядали як певного виду ресурс. Завдання полягало в найбільш повному використанні її можливостей для конкретного технологічного процесу і у відсіві непридатних для даної роботи. Основний зміст ергономічної роботи на першому етапі полягав у тому, щоб з'ясувати, володіє чи не володіє дана людина можливостями для виконання певної роботи і якщо має, то визначити, наскільки інтенсивно її можна

експлуатувати. Звідси і основні проблеми: стомлюваність, індивідуальні особливості, відбір, профорієнтація і т.п. Ідеологами цього етапу були Ф. Тейлор, Г. Мюнстерберг, В. Штерн, І.М. Шпількейн, А.К. Гаст, П.М. Керженцев, В.М. Бехтерев, С.Т. Геллерштейн та ін. Окремо стоять автори, які розглядали завдання не підвищення продуктивності праці, а попередження зривів. Зрив трактувався ними не як наслідок відсутності відповідної властивості, а як наслідок функціонування в граничних для людини умовах. Звідси виникає ідея зменшення граничності, розриву між можливостями людини та вимогами до неї, іншими словами, узгодження людини і техніки, забезпечення нормальності умов праці.

У результаті метою ергономічного аналізу стало з'ясування обмежень можливостей людини і закономірностей функціонування досліджуваних процесів, а не можливостей того, на що людина здатна. Завдання аналізу людських можливостей стала більш «безкорисливою», дослідницькою. Якщо раніше розглядалися властивості людини в процесі праці (реального або імітованого), то тепер предметом стала сама людина – її властивості та функції. Це дало можливість дійсно погоджувати властивості людини і машини. Людина перестала бути ресурсом, а стала компонентом системи.

Наступним етапом розвитку ергономіки є експансія її на інші, крім праці, яка в сучасному виробництві змінює свою якість, сфери діяльності: дозвілля, навчання і т.д. Вона починає враховувати навіть національні особливості працюючого контингенту та стає «необхідним і основним компонентом планування та розробки проектів, які пов'язані із взаємодією людей і машин».

Ергономіка належить до тих наук, які можна розрізнити за предметом і специфічним поєднанням методів, що застосовуються. Методологічну базу ергономіки становить системний підхід. Він дозволяє використовувати в ергономічному дослідженні в тому чи іншому поєднанні методи різних наук, на стику яких виникають і вирішуються якісно нові проблеми вивчення систем «людина і машина». Таким чином, ергономіка значною мірою використовує методи досліджень, що склалися в психології, фізіології та гігієні праці.

Проблема полягає в координації різних методичних прийомів при вирішенні тієї чи іншої ергономічної проблеми, в подальшому узагальненні та синтезі отриманих за їх допомогою результатів. У ряді випадків цей процес призводить до створення нових методів досліджень в ергономіці, відмінних від методів тих дисциплін, на які вона спиралася. Розмірковуючи про методи ергономічного аналізу, Є.Б. Моргунов виділяє наступні критерії для їх типології. З точки зору цілей методи можуть бути: аналітичними та проектувальними [4]. При цьому аналітичні методи застосовують раніше ніж проектувальні, тому що на початку проводиться виявлення структури діяльності, а вже потім розробляються заходи, які роблять діяльність користувача більш ефективною.

З точки зору «роздільної здатності» методів виділяють: виробничі методи (використовуються, коли діяльність «береться в повному обсязі», в процесі «її реального виконання»); лабораторні методи (якщо аналізуються окремі складові діяльності) [4]. Недолік лабораторного підходу в тому, що часто «за деревами» (частковими характеристиками діяльності) не видно самого «лісу». Тому краще використовувати два даних підходи у поєднанні і розумному чергуванні.

З точки зору способу отримання даних виділяють об'єктивні та суб'єктивні методи. [4]. Суб'єктивні методи, використовувані «безпосередньо від людей», суттєво доповнюють дані, отримані «за допомогою дослідницького обладнання» (об'єктивні). Виділяють також: емпіричні та експериментальні методи [4]. В емпіричних методах дослідник лише тим чи іншим способом спостерігає і реєструє реальну діяльність, тоді як експериментальні методи передбачають активний вплив на неї за допомогою комбінацій тих чи інших визначальних умов. Емпіричні та експериментальні методи також застосовують в деякій черговості.

Один з найважливіших напрямків в ергономіці, наприклад, пов'язаний з проектуванням предметного світу для людей з фізичними вадами. Найбільш інтенсивно ергономіка розвивалася в рамках військово-промислового комплексу.

6.2 Основи композиції зовнішнього вигляду приладу

При зовнішньому компоюванні блоку виконують розміщення пристроїв керування, індикації та налаштування на лицьовій і на інших панелях блоку із забезпеченням вимог ергономіки і технічної естетики.

Основна вимога при зовнішньому компоюванні БМА – максимальне забезпечення зручностей роботи людини-оператора з урахуванням його антропометричних, фізіологічних, психологічних даних. Важливо пам'ятати, що вимоги зручності стосуються не тільки періоду безпосереднього спілкування людини з БМА при функціонуванні апаратури, а й до періоду технічного обслуговування.

Поряд із зазначеними вимогами на даний час набувають все більшого значення естетичні фактори, під якими розуміють художню виразність виробу, його гармонійність, цілісність, відповідність середовищу, де буде експлуатуватися БМА, стилю, часу, моді, красу колірною рішення окремих частин і виробу в цілому. Слід мати на увазі, що для категорії побутових БМА естетичні фактори виступають на перший план. Якщо такі етапи конструкторської розробки, як виділення структурних рівнів конструкції і розробка просторової структури, виконуються інженером-конструктором, то зовнішнє компоювання виконується ним спільно з конструктором-дизайнером. При цьому широко використовують методи художнього конструювання, застосування яких забезпечує гармонію форми і змісту, загальну художню виразність і цілісність сприйняття виробу.

Важливо пам'ятати, що на лицьовій панелі слід розташовувати лише найнеобхідніші засоби керування, індикації і налаштування. Пристрої регулювання, призначені для періодичного налаштування, слід виводити «під

шліц». Рукоятки, тумблери, індикатори, гнізда повинні бути забезпечені написами, які розташовують таким чином, щоб їх можна було читати при користуванні виробом.

Рекомендується застосовувати залежно від конкретних особливостей блоку один з наступних принципів розміщення засобів керування на лицевій панелі:

1) за функціональними зв'язками засоби керування, коли останні групуються, виходячи із спільності розв'язуваних завдань;

2) за черговістю виконуваних операцій, коли засоби керування розміщують у суворій відповідності з послідовністю їх використання;

3) за частотою використання, коли найчастіше використовувані засоби керування розміщують в центрі панелі;

4) за значимістю, коли найбільш важливі засоби керування, навіть рідко використовувані, розташовують в центрі панелі.

При виборі того чи іншого принципу необхідно враховувати наступні вимоги:

1) максимальне скорочення кількості траєкторій робочих рухів;

2) розміщення послідовно використовуваних засобів керування на одній висоті по горизонталі або на одній лінії по вертикалі;

3) зведення робочих рухів до рухів пальців рук, кисті та передпліччя, але не тулуба;

4) ручка що обертається повинна розміщуватися під індикатором або праворуч від нього;

5) необхідно дотримуватися суміщення напрямків руху засобів керування й індикатора.

Методами художнього конструювання – пропорціональністю, масштабністю, контрастом, метричним повтором, кольоровою гамою – підкреслюють виразність конструктивного рішення.

Необхідно врахувати, що зовнішнє компоунання повинно бути органічно пов'язаним з внутрішнім компоунанням блоку. Відповідно до цього може бути рекомендована така послідовність компоунання блоку. Спочатку вибирають

варіант компоновання передньої панелі, намічають "вхід" і "вихід" блоку за основним сигналом. Потім виконують внутрішнє компоновання блоку. Якщо розглянуті варіанти не задовольняють вимогам ТЗ, то виконують новий варіант розміщення засобів керування і відповідний варіант внутрішнього компоновання. Таким чином, відшукування оптимального конструктивного рішення є ітеративним процесом. Варіанти компоновання лицьової панелі зображують у вигляді ескізу на міліметровому папері.

Варіант розташування засобів керування, індикації і підключення представлений на рис. 6.1. Виконання ескізного креслення блоку.

При графічному компонованні розроблений варіант компоновання блоку доцільно представити у вигляді масштабного компоновального ескізу, який рекомендується виконати на міліметровому папері в масштабі, зручному для показу взаємного розташування модулів (1:1 або 1:2). На фронтальній проекції рекомендується зобразити лицьову панель з показом розташування засобів керування, налаштування та індикації. На інших проекціях показують розташування модулів (вузлів); останні зображують спрощено тонкими контурними лініями без показу елементів кріплення. Всі модулі й елементи, зображені на компоновальному ескізі за допомогою виносних ліній, позначають цифрами, а на вільному полі ескізу наводять розшифрування прийнятих цифрових позначень. На ескізному кресленні необхідно проставити основні габаритні розміри блоку.

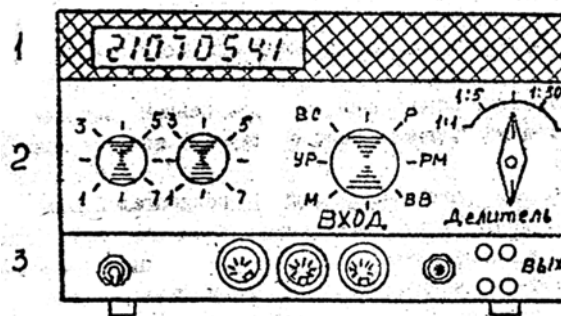


Рис. 6.1 – Варіант розміщення засобів керування, індикації та підключення:

1 – зона розміщення засобів індикації; 2 – зона розміщення засобів керування; 3 – зона підключення

Лекція №12

Активні елементи схеми. Характеристика активних компонентів, електромонтажу, їх частотні характеристики. Перехідні процеси та вплив на завадостійкість конструкції, паразитні зв'язки, причини їх виникнення

Активні елементи є такими, що здатні створювати завади (в тому числі і електромагнітні) та піддаватися їх впливу зокрема як ланки кіл паразитного зв'язку. У більшості випадків сигнали, що створюються активними елементами, мають різкі наростаючі і спадаючі фронти (чим в більшій мірі форма сигналу може бути апроксимованою імпульсами прямокутної форми, тим вища верхня частота завад, що генеруються, та ширший їх діапазон), в більшості схемотехнічних рішень діапазон завад локалізується у смузі частот 10 – 300 МГц. Деякі активні елементи на частотах 0,1 – 20 МГц можуть почати генерувати паразитні коливання, що пов'язані з наявністю паразитних ємностей між входом і виходом (паразитний додатній зворотний зв'язок). Ці паразитні ємності можуть також з'явитися причиною взаємодії робочих сигналів, які вважаються ізольованими один від одного. Нарешті, нелінійні прилади можуть випрямляти високочастотні сигнали, генеруючи вищі гармоніки та інші завади. Простими нелінійними приладами є діоди і випрямлячі дія яких заснована на використанні властивостей речовин, що займають за електропровідністю проміжне положення між провідниками і діелектриками. Характерною особливістю напівпровідників є підвищення їх електропровідності (електронної чи діркової) при введенні домішок, а також при зміні температури. В якості речовин, що використовуються для виготовлення напівпровідникових приладів, широко використовуються: Ge – германій, Si – кремній, GaAs – арсенід галію, GaP – фосфід галію, SiC – карбід кремнію і ряд інших. На рис. 12.1 представлені вольт-амперні характеристики кремнієвого та германієвого діодів.

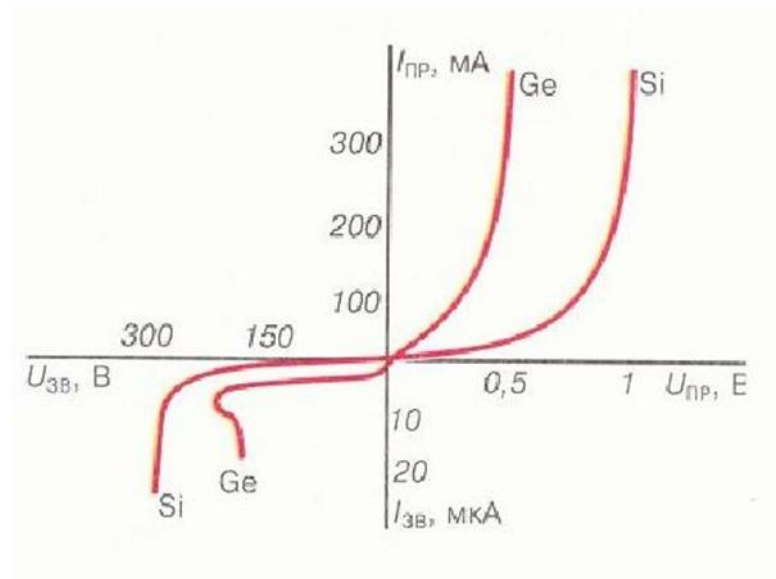


Рис. 12.1 – Вольт-амперні характеристики кремнієвого та германієвого діодів

Електронно-дірковий перехід при зворотній напрузі $U_{зв}$ аналогічний конденсатору із порівняно значним струмом витoku в діелектрику. Запираючий шар має великий опір і відіграє роль діелектрика, а по обидві сторони р-п-переходу розташовані два різнойменних об'ємних заряди, створені іонізованими атомами донорної і акцепторної домішок, що поглиблюються під впливом зворотної напруги. Тому р-п-перехід має ємність, подібно до конденсатора з двома обкладками. Цю ємність називають бар'єрною C_b . Особливість бар'єрної ємності полягає у тому, що вона нелінійна, тобто змінюється при зміні напруги на переході. Якщо зворотна напруга зростає, то товщина запираючого шару збільшується і ємність C_b зменшується. Характер цієї залежності показано на рис. 12.2.

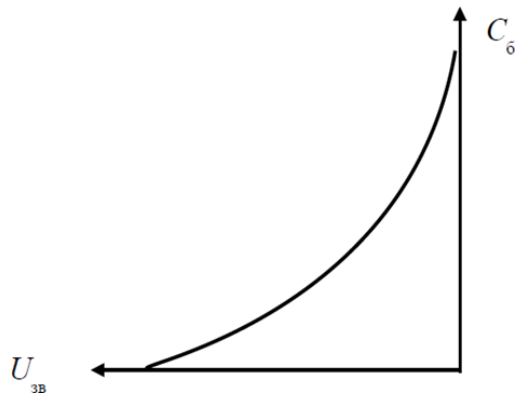


Рисунок 12.2. – Залежність бар'єрної ємності від зворотної напруги

Бар'єрна ємність шкідливо впливає на випрямлення змінного струму, так як шунтує діод і через неї на більш високих частотах проходить змінний струм. Однак, бар'єрна ємність буває і корисною. Спеціальні діоди (варикапи і варактори) використовують в якості конденсаторів змінної ємності для налаштування коливальних контурів, в параметричних підсилювачах, а також у схемах, робота яких базується на властивостях нелінійної ємності.

При прямій напрузі $U_{пр}$ діод, крім бар'єрної ємності, має також дифузійну ємність $C_{диф}$, яка також нелінійна і зростає при збільшенні прямої напруги $U_{пр}$. Дифузійна ємність характеризує накопичення рухомих носіїв заряду в р і n областях. Дифузійна ємність значно більша, ніж бар'єрна. З урахуванням ємностей можна скласти еквівалентну схему діода, яку наведено на рис. 12.3.

У моделі на рис. 12.3: R_0 являє собою сумарний, порівняно невеликий опір р і n областей і контактів цих областей з выводами; $R_{нл}$ – нелінійний опір, який при прямій напрузі дорівнює $R_{пр}$, (невеликий), а при зворотній напрузі дорівнює $R_{зв}$ (дуже великий); L_e – індуктивність выводів, C_e – паразитна ємність між выводами.

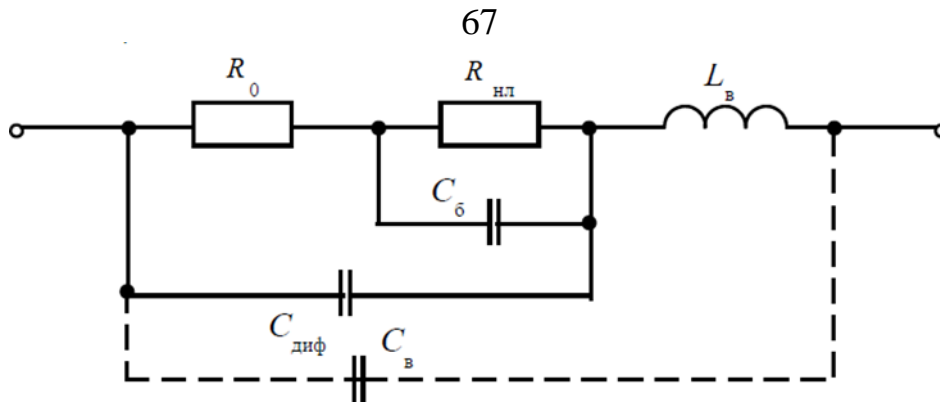


Рис. 12.3 – Модель напівпровідникового діода

Наведена модель для аналізу різних схем може бути спрощена. На НВЧ необхідно враховувати індуктивність L_e і ємність C_e .

Уведення домішок у напівпровідник суттєво змінює його провідність. Якщо увести у чотиривалентний напівпровідник п'ятивалентну домішку, отримаємо донорну провідність (n типу), так як донор віддає свої електрони. Якщо увести тривалентну домішку, отримаємо акцепторну провідність (р типу), так як акцептор захоплює електрони з решітки основного кристала, створюючи діркову провідність. Таким чином, у напівпровіднику n-типу основними носіями заряду є електрони, а дірки – є неосновними. Під дією електричного поля, тепла, світла, іонізуючого випромінювання та інших факторів відбувається генерація пар носіїв заряду, тобто виникають пари електрон – дірка. Внаслідок того, що електрони і дірки здійснюють хаотичний тепловий рух, відбувається зворотний процес, пара електрон – дірка зникає. Таке зникнення пар носіїв називається рекомбінацією носіїв заряду. У напівпровідникових приладах можуть протікати дрейфовий і дифузійний струми. Дрейфовим називається струм, зумовлений електричним полем. Якщо до напівпровідника прикласти зовнішнє електричне поле, то в ньому спостерігається спрямований рух дірок уздовж поля і спрямований рух електронів у протилежному напрямку. Дифузійний струм зумовлений переміщенням носіїв заряду з області з високою концентрацією в область з більш низькою концентрацією.

Електронно-дірковим (p-n) називається такий перехід, який утворений двома областями напівпровідника з різними типами провідності. Електронно-діркові

переходи використовуються у більшості напівпровідникових приладів. У діодах і польових транзисторах використовують один р-п-перехід, у біполярних транзисторах – два р-п-переходи, у тиристорах – три і більше р-п-переходів. Тому дуже важливим є розуміння фізичних явищ і електричних властивостей р-п-переходу.

При зворотному зсуві діода р-п перехід збіднений носіями заряду, проте паразитна ємність все ж таки може створити в приладі високочастотні завади.

Якщо тепер різко подати на діод прямий зсув, його імпеданс протягом декількох наносекунд залишатиметься високим і створить невеликий пік прямої напруги (V на рис.12.4). Потім, якщо на діод знов різко подати зворотний зсув, починається розсмоктування заряду в області переходу і відновлення зворотного струму приладу. При цьому протягом доль секунди діод працює в режимі короткого замикання, викликаючи сильний викид зворотного струму відновлення (I на рис.12.4).

Наприклад якщо через звичайний випрямляч тече струм $0,5\text{ А}$, то при його виключенні викид зворотного струму відновлення може досягати $1,75\text{ А}$ і тривати 40 мкс . Для зменшення таких викидів можна скористатися високовольтними діодами або використовувати імпульсні діоди з малим часом відновлення. Діоди Шоткі на гарячих носіях (струм тече через діод Шоткі внаслідок того, що під впливом прямої напруги зміщення р-п переходу електрони в металі долають потенціальний бар'єр. Тому діоди Шоткі називаються також діодами з «гарячими» носіями заряду) на відміну від звичайних діодів не накопичують заряд, проте їх висока паразитна ємність створює аналогічні ефекти.

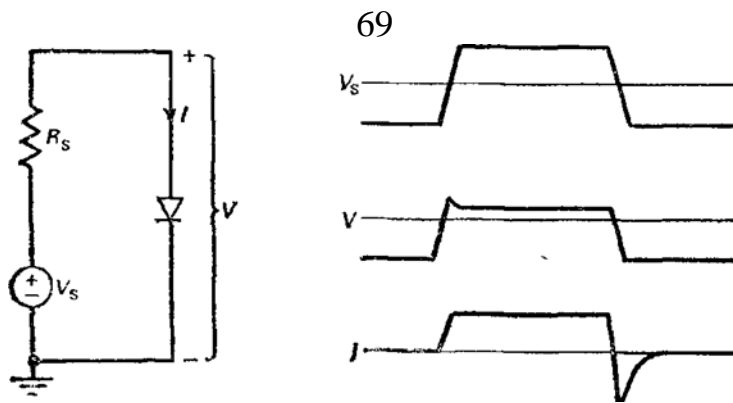


Рис. 12.4 – Вплив накопичених зарядів на характеристики діода у відкритому і закритому станах

Паразитна ємність стабілітронів зазвичай складає 10 – 7000 пФ, що оберігає від дуже коротких викидів. Поблизу зламу вольт-амперної характеристики в області пробою у більшості стабілітронів спостерігається ділянка негативного опору, в якому може генеруватися білий шум з амплітудою 1 – 1000 мкВ. Такий тип завад особливо помітний в сплавних стабілітронах. Для їх зменшення замість сплавних стабілітронів можна застосовувати дифузійні; ослабити вплив завад можна також, вибираючи режим роботи далеко від зламу вольт-амперної характеристики в області пробою або шунтуючи стабілітрон невеликим керамічним конденсатором.

Тиристри можуть генерувати сильні викиди напруги в колі змінного струму, оскільки вони швидко спрацьовують і зазвичай перемикають великі струми. Подібний викид потенціалу на аноді, частина якого через внутрішню паразитну ємність подається на керуючий електрод, може призвести до несанкціонованого увімкнення («замикання») тиристорів. Зменшити вірогідність такого помилкового спрацьовування можуть спеціальні схеми, які запускають тиристри при мінімальному струмі навантаження, і згладжуючі RC ланки, які сприяють плавному наростанню струму на аноді.

Усі проблеми, характерні для напівпровідникових діодів, властиві і для переходу база – емітер біполярних транзисторів. Додатково паразитні ємності між базою, емітером і колектором можуть викликати паразитну генерацію високочастотних транзисторів $f_i \geq 100$ МГц на частоті $\leq 0,2f_i$.

У загальному випадку при створенні схем доцільно застосовувати транзистори з мінімально можливою швидкодією. Нарешті, переходи база – емітер і база – колектор можуть випрямляти високочастотні завади, змінюючи зсув робочої точки транзистора. Останній факт може понизити коефіцієнт підсилення транзистора або, навпаки, відкрити транзистор, який вважається закритим.

Паразитна ємність може стати причиною паразитного зв'язку між витокком, затвором і стоком польових транзисторів, причому в схемах з високим імпедансом ці проникаючі завади можуть перевищувати робочі сигнали. Паразитна ємність може також призвести до паразитних коливань в польовому транзисторі. Запобігти таким коливанням може невеликий (100 Ом – 2 кОм) резистор, у колі ланцюги затвора або феритове кільце на його виводі. Численні чинники сприяють виникненню завад і в електровакуумних приладах. Вони можуть генерувати паразитні коливання, сприймати розсіяні електромагнітні поля і фон від нагрівачів, що працюють на змінному струмі, в них можливе виникнення мікрофонних ефектів в результаті ударів або вібрацій і струмів витокку між катодом, сіткою, анодом і іншими елементами.

Паразитна ємність знижує швидкодію операційних підсилювачів (ОП) і обмежує максимальну швидкість наростання вихідної напруги, а також може призвести до паразитної генерації або насичення. Більшість ОП генерують коливання на частотах 0,5 – 4 МГц, якщо на виході включене реактивне навантаження.

Цифрові інтегральні схеми (ІС) формують трапецеїдальні імпульси з різко наростаючим і спадаючим фронтом, рис.12.5. Завади, які створюються є пропорційними добутку амплітуди сигналу і частоти, тому f_2 є наближеною верхньою частотною межею завад, які створюють трапецеїдальні імпульси.

Кожен раз при змінах стану на виході цифрових ІС в шинах живлення і заземленні, виникають різкі викиди струму. При високих навантаженнях їх амплітуда зростає до $\approx I_{os}$, А – величини струму зворотного зв'язку а тривалість

складає $CL \cdot (|V_f - V_i|) / I_{os}$, а при малих навантаженнях ці викиди досягають $\approx I_{os} / 2$, А і тривають tr , c – тривалість наростаючого фронту.

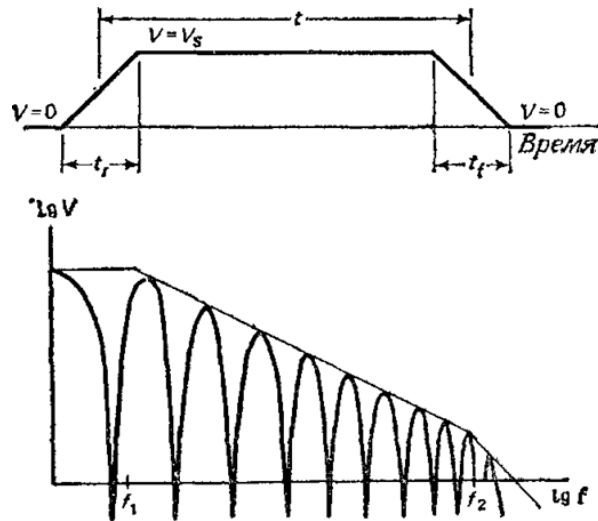


Рисунок 12.5 – Частотний спектр трапецеїдального імпульсу

У цифрових ІС також можуть виникнути паразитні коливання на частотах 5 – 50 МГц, якщо кола живлення погано шунтовані або вхідні сигнали змінюються дуже повільно, рис. 12.6.

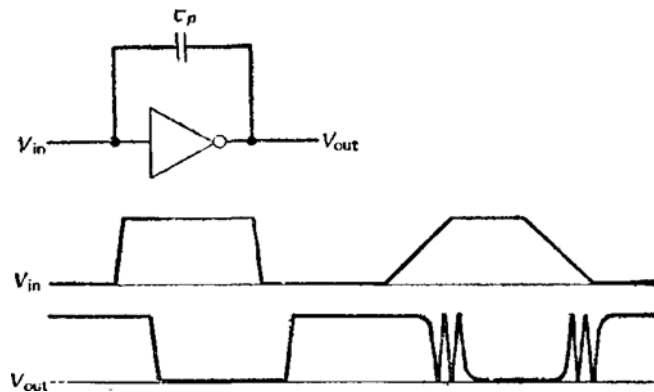


Рис. 12.6 – Паразитні коливання в ІС які виникають через наявність паразитної ємності і пологих фронтів вхідних імпульсів

Лекція №13

Аналогові та цифрові схеми. Характеристика аналогових і цифрових схем з точки зору завадостійкості. Методи подавлення завад. Методи проектування схем спряження, вибір компонентів

13.1 Аналогові схеми

Більшість аналогових схем оперують слабкими сигналами, тому вони дуже чутливі до завад. При розробці аналогових схем, призначених для роботи в лінійному режимі, необхідно забезпечувати мінімальний коефіцієнт підсилення і мінімальну робочу смугу частот. Чутливість до завад можна знизити, підтримуючи імпеданс схеми на виході нижче 1 кОм, а імпеданс навантаження – вище 300 Ом. Підсилювачі з високим коефіцієнтом підсилення, як правило, генерують паразитні коливання на частотах 10 кГц – 5 МГц, тому при проектуванні кіл зворотного зв'язку необхідно передбачати подавлення цих коливань, беручи до уваги найгірший випадок.

Якщо в аналоговій схемі виникає завада високого рівня, то вона може змінити зміщення робочої точки і тим самим або знизити чутливість підсилювача, або призвести до його перевантаження.

В аналогових схемах необхідно здійснювати ефективне шунтування і монтаж для обмеження їх чутливості до завад, які можуть до них потрапити через шини живлення.

На рис. 13.1 показано рекомендовану схему шунтування кіл живлення ОП. Кожна шина живлення $+V$ і $-V$ повинна мати один шунтуючий танталовий оксидний конденсатор ємністю 1-10 мкФ для кожних п'яти ОП, що входять у схему. У свою чергу кожен ОП повинен бути оснащений керамічними шунтуючими конденсаторами, які з'єднують його виводи з лінією зворотного струму вихідного сигналу. Ці конденсатори повинні мати ємність 0,1 мкФ або принаймні у 100 разів перевищувати ємність навантаження. Недостатньо ефективне шунтування часто призводить до паразитних коливань.

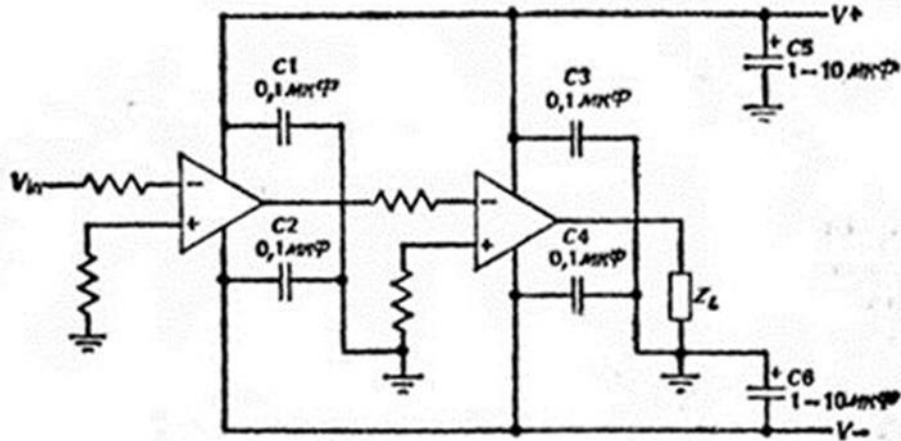


Рисунок 13.1 – Рекомендована схема шунтування ОП

Якщо в схемі конденсатори великої та малої ємності з'єднані паралельно, то може виникнути необхідність під'єднання до конденсатора великої ємності додаткового резистора з опором $R \approx 1$ Ом для подавлення височастотних перехідних процесів.

На рис. 13.2 показано рекомендований монтаж для багатокаскадних підсилювачів. Резистори R_1 та R_2 підвищують завадостійкість кола живлення першого каскаду. Входи джерела живлення повинні знаходитися у безпосередній близькості від вихідного каскаду для зменшення рівня завад у колах живлення першого каскаду і, тим самим, знизити ризик виникнення паразитних коливань.

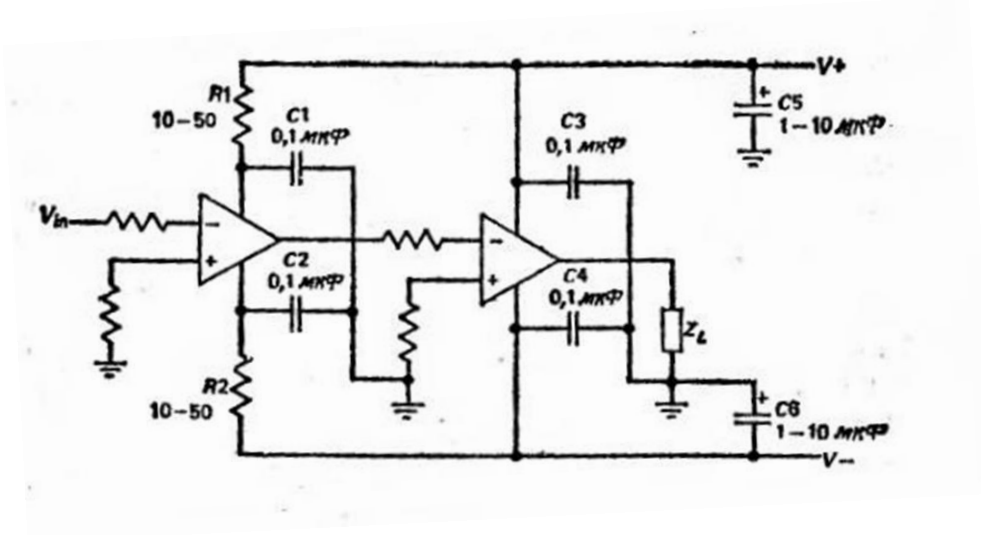


Рисунок 13.2 – Рекомендована схема розв'язки для багатокаскадних підсилювачів

В ідеальній схемі розміщення багатокаскадного підсилювача вхідний та вихідний каскади необхідно розміщувати якомога далі один від одного.

Якщо на виході ОП знаходиться реактивне навантаження (наприклад, L_L , C_L на рис.13.3), то в ньому виникнуть паразитні коливання. Подолати їх можна послідовним підключенням невеликого гасячого резистора (рис. 13.3, а) опором $R_L \geq 2(L_L / C_L)^{1/2}$ Ом, або встановленням на вихідний вивід феритового кільця (рис. 13.3, б).

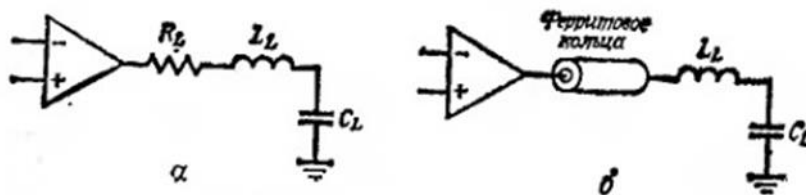


Рисунок 13.3 – Підключення до операційного підсилювача реактивного навантаження

Паразитні коливання операційного підсилювача можуть виникнути і в тому випадку, коли на виході у них є ємнісне навантаження. На рис. 13.4 показано два способи усунення таких коливань у інвертуючих підсилювачах.

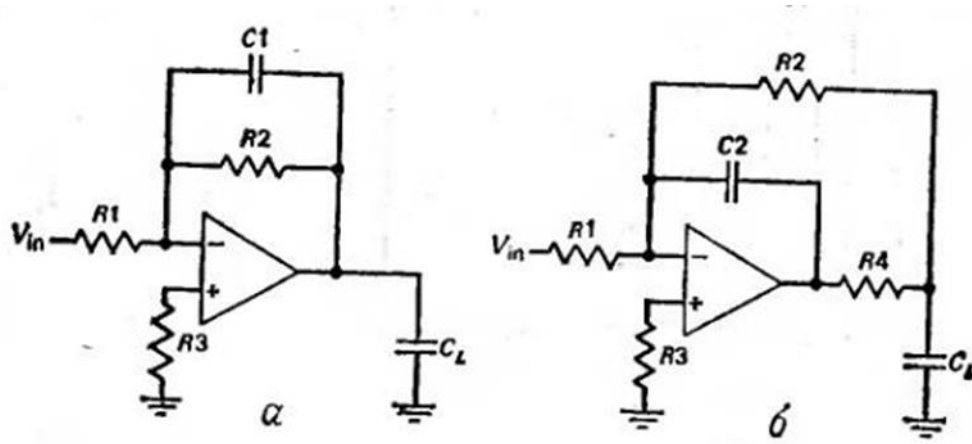


Рисунок 13.4. – Підключення до інвертуючого ОП ємнісного навантаження

Резистори R_1 , R_2 задають коефіцієнт підсилення підсилювача, а резистор R_3 не є обов'язковим, хоча, якщо $R_3 \approx R_1$, то він сприяє компенсації термоелектричної напруги, яка виникає у вхідному колі.

Додавання конденсатора C_1 (рис. 13.4, а) з ємністю $C_1 \geq 15(R_1/R_2)$ пФ, дає змогу зберегти стійкий режим роботи майже при будь-яких навантаженнях.

На рис. 13.4, б у схему додані резистор і конденсатор. Резистор R_4 , опір якого набагато перевищує вихідний опір ОП та конденсатор $C_2 \geq C_L(R_4/R_2)$, пФ, стабілізують режим роботи ОП при всіх навантаженнях.

На рис. 13.5 показано чотири способи запобігання паразитним коливанням у неінвертуючих ОП.

На рис 13.5, а компоненти R_5 і C_3 сповільнюють надходження вхідного сигналу для того, щоб заряд конденсатора C_L насичення не входив у стан насичення.

На рис 13.5, б компоненти R_6 і C_4 зменшують коефіцієнт підсилення ОП на високих частотах, не змінюючи цей параметр при постійному струмі.

На рис. 13.5, в резистор R_7 і конденсатор $C_5 \geq C_p$ (де C_p – паразитна ємність вузла) перетворюють ОП у стійку інтегруючу схему.

На рис. 13.5, г конденсатор C_6 створює ємнісний подільник, паралельний резистивному подільнику R_1 і R_2 у колі зворотного зв'язку.

Хороший метод, для того, щоб перевірити ОП на стійкість полягає в тому, щоб під'єднати на його вхід генератор імпульсів і налагодити його таким чином, щоб створити на виході підсилювача сходинки напруги величиною 200 мВ. Якщо викид на виході не перевищує 40%, то схему можна вважати стійкою.

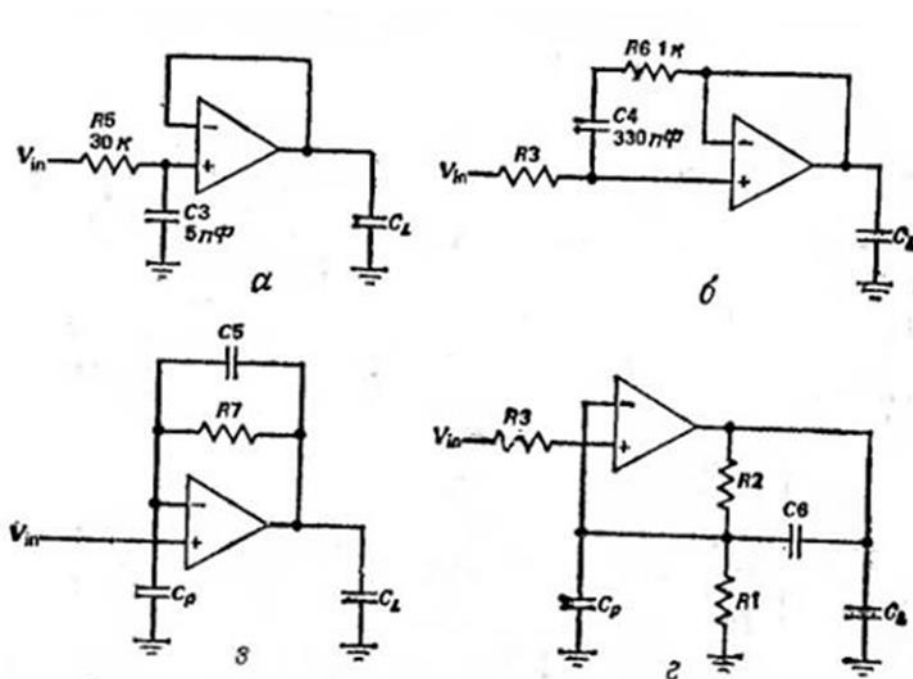


Рисунок 13.5 – Підключення до неінвертуючого ОП ємнісного навантаження

На вхід аналогових ІС можна подавати сигнали від різних джерел, на входах по змінному струму необхідно встановлювати резистори R_1 і R_2 рис. 13.6, а, які запобігають заряджанню конденсатора на вході і, тим самим, сприяють уникненню різних шумів.

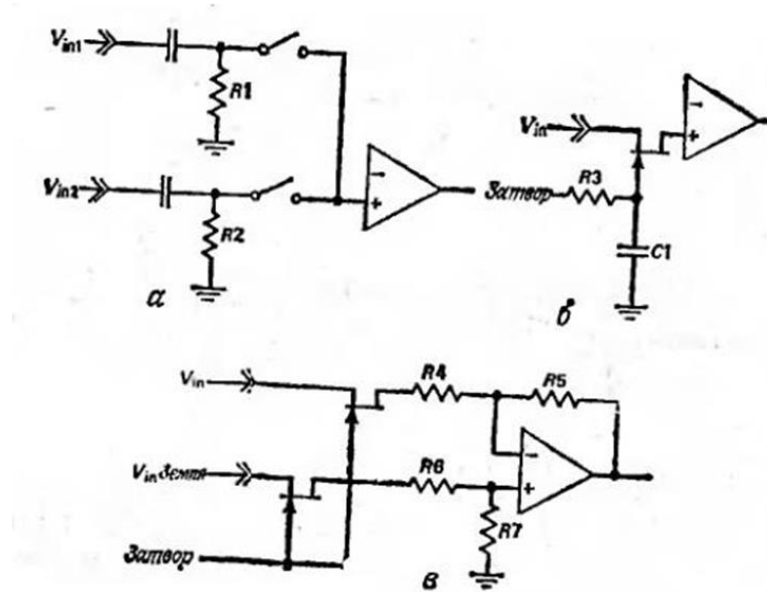


Рисунок 13.6 – Перемикання аналогових сигналів

Перемикачі на польових транзисторах можуть створювати паразитний зв'язок між керуючим сигналом і входом аналогової схеми через паразитну ємність затвор – сток. Вплив цих завад можна знизити, зменшивши розмах напруги на затворі або під'єднавши до затвору RC - фільтр рис. 13.6, б для згладжування на ньому напруги. Якщо перемикання на вході відбувається дуже швидко, то переносу зарядів можна запобігти, використовуючи диференціальний підсилювач з узгодженими перемикачами на польових транзисторах і узгодженими входами $R_4 = R_6$ і $R_5 = R_7$ рис. 13.6, в.

13.2 Цифрові схеми

Цифрові інтегральні схеми можуть бути як джерелами завад, так і їх приймачами. Зміна рівня цифрового сигналу завжди супроводжується появою завад. При переключенні рівня сигналів вихідна напруга змінюється з швидкістю $\frac{dU}{dt}$, В/нс, що призводить до перехресних завад та імпульсів заряду, який проходить від джерела живлення через перемикаючий елемент на землю (величина цього імпульсу заряду вимірюється в пікокулонах і визначається

амплітудою цифрового сигналу, ємністю навантаження та лінії зв'язку). Завади на вході повинні перебувати в межах завадостійкості схеми, щоб не викликати збоїв у її роботі.

Для зменшення завад у цифрових логічних схемах, необхідно, щоб робочі сигнали мали великий час наростання та спадання і малу амплітуду. Крім того, слід обмежити кількість сигналів, які одночасно перемикаються, застосовувати ефективні методи шунтування та заземлення. Для підвищення стійкості схем до зовнішніх завад необхідно застосовувати повільні схеми синхронізації з тригерами Шмітта на вході. Якщо система має довгі кабелі, бажано використовувати диференціальні передавачі та приймальні пристрої, з'єднані симетричними лініями зв'язку, щоб знизити рівень створених і сприйнятих завад.

Шунтуючі конденсатори є джерелами імпульсного струму, який споживають цифрові схеми при перемиканні, зменшують спад напруги в колах живлення та заземлення, сприяють фільтрації завад, які створюють заземлення та джерела живлення.

Традиційний простий спосіб шунтування, який застосовують у цифрових схемах полягає в тому, що оксидний шунтуючий конденсатор великої ємності (10 – 100 мкФ, ≥ 1 мкФ на кожену схему) розміщують поблизу джерела живлення. Поряд з кожною тригерною ІС ставлять шунтуючий керамічний конденсатор ємністю 0,1 мкФ, а до швидкодіючих схем під'єднують також керамічні шунтуючі конденсатори малої ємності (100 – 1000 пФ). Кожна схема, яка передає сигнал за межі друкованої плати на якій вона розміщена, або приймає сигнали, джерела яких містяться за межами даної плати, має керамічний шунтуючий конденсатор ємністю 0,1 мкФ між джерелом живлення та колом зворотного струму сигналу рис. 13.7. На всі інші ІС припадають керамічні шунтуючі конденсатори ємністю 0,01 – 0,1 мкФ, причому на 5 ІС припадає принаймні 1 конденсатор. Такий спосіб шунтування має два недоліки: шунтуючі конденсатори дорогі і, крім того, вони слабо фільтрують завади з частотою вище 10 МГц через низькі власні резонансні частоти.

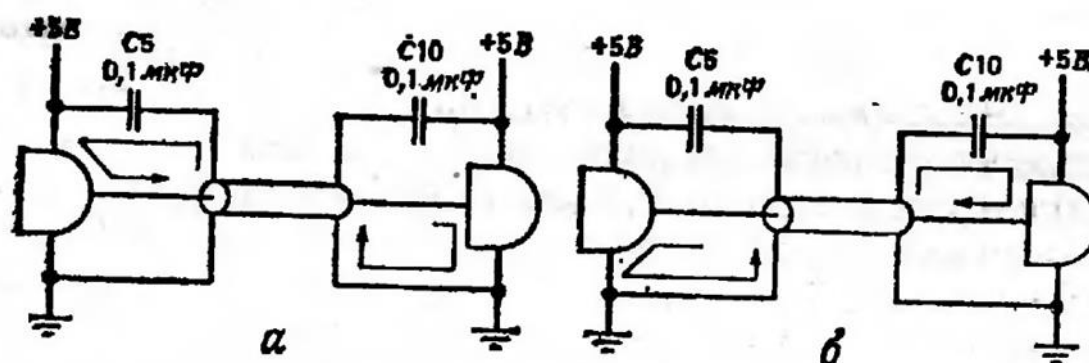


Рисунок 13.7 – Шунтування передавальних і приймаючих елементів, які перебувають поза платою: а – при переході від нижнього логічного рівня до верхнього; б – при переході від верхнього логічного рівня до нижнього

При іншому способі шунтування два конденсатори і розміщене між ними феритове кільце утворюють П-подібний фільтр, який послаблює високочастотні завади в друкованій платі. Усі інші ІС супроводжують керамічними шунтуючими конденсаторами ємністю $C \geq 4,5n_{out} C_L, \Phi$, де n_{out} – кількість виходів ІС. Поблизу джерела живлення розміщують танталовий оксидний (або полікарбонатний з металізованими обкладками) конденсатор для фільтрації низькочастотних завад. Ємність останнього повинна принаймні в 10 разів перевищувати ємність усіх інших конденсаторів у колі разом узятих.

Таке розміщення дешевих компонентів забезпечує задовільне шунтування до частот 100 МГц і більше. Керамічні конденсатори повинні мати еквівалентну послідовну індуктивність менше 0,5 Ом. З урахуванням індуктивності виводів танталові (або полікарбонатні конденсатори) повинні мати еквівалентну послідовну індуктивність і опір відповідно менше 30 нГн і менше 1 Ом. Імпеданс феритового кільця при тактовій частоті схеми не повинен перевищувати 10 Ом, а при частотах, які перевищують тактову частоту ІС у 5 разів, імпеданс повинен перевищувати 50 Ом на робочому струмі. Найкращі результати отримують при подвійному пропусканні проводу крізь феритове кільце. Якщо імпеданс одного феритового кільця замалий, то можна використовувати послідовно кілька кілець

або одне більшої довжини і товщини. Якщо схема допускає додатковий спад напруги, то замість феритового кільця можна використати композиційний або металоплівковий резистор опором $\approx 51 \text{ Ом}$.

У діапазоні частот 30 МГц – 1 ГГц тактуючі синхросигнали та їх гармоніки є основною причиною виникнення завад. Парні гармоніки можна різко зменшити, якщо використовувати синхросигнали з 50 % коефіцієнтом заповнення (коли тривалість синхросигналів приблизно дорівнює відстані між ними). Бажано намагатися зменшити кількість інтегральних схем, керованих кожним тактовим синхросигналом. Якщо тактуючі синхросигнали повинні надходити на декілька плат, то в ролі буферів бажано використовувати вхідні логічні елементи на тригерах Шмітта, а також обмежити розмах напруги та швидкість наростання амплітуди основних синхросигналів. Якщо синхросигналами керують перемикачі поза платою, тоді треба уникати прямого керування синхросигналами від цих перемикачів. Замість цього бажано під'єднати до перемикачів кола, які керують логічними елементами на платі, що в свою чергу будуть керувати тактуючими синхросигналами. Зменшенню завад від тактуючих синхросигналів буде сприяти їх рознесення за фазою та децентралізація.

Проблему завад можна вирішити шляхом якісної синхронізації системи. Для зменшення перехідних струмів, які виникають у джерелах живлення і пристроях заземлення, слід обмежити керування невеликою групою мікросхем шляхом рознесення тактуючих сигналів. Скороченню проміжку часу, протягом якого система найбільш чутлива до впливу завад, сприяє застосування схем синхронізації та стробування вхідних даних. Зокрема, найбільша захищеність цифрової системи забезпечується при використанні двофазної синхронізації із застосуванням вузьких синхросигналів для стробування даних безпосередньо на входах D-тригерів.

Кожен вхідний сигнал, який надходить на плату, необхідно подавати лише на одну ІС (бажано з тригерами Шмітта на входах), що допомагає вирішити проблеми синхронізації. Вхідні кола на тригерах Шмітта підвищують завадостійкість і полегшують обробку сигналів з повільним наростанням

амплітуди. Якщо вхідний сигнал подається на стандартний логічний елемент, часи наростання та спадання слід підтримувати малими, щоб запобігти виникненню паразитних коливань.

На особливу увагу заслуговують сигнали, які виходять з плати. Виходи тригерів, лічильників і регістрів зсуву необхідно буферизувати логічними елементами або підсилювачами – передавачами для вирішення проблеми відбиття та викидів від неузгоджених ліній зв'язку. Пропускання проводів, які виходять з плати, через феритове кільце дає змогу підключати до виходу неузгоджені лінії зв'язку більшої довжини.

Сигнали, які виходять з плати, не повинні надходити на вхід схем, розміщених на цій же платі.

Якщо цього не дотримуватися, то можна зіткнутися з дуже серйозними проблемами завад, що виникають на вихідному передавачі рис. 13.8.

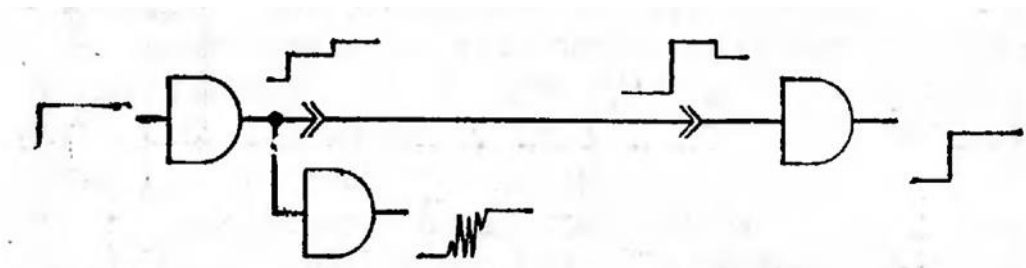


Рисунок 13.8 – Викиди, викликані відбиванням сигналу в довгих провідниках

Для уникнення відбивання та викидів, довгі лінії зв'язку повинні узгоджуватися відповідно до їх характеристичного імпедансу. У цьому випадку корисним може виявитися послідовне підключення резистора, за умови, що всі приймаючі пристрої розміщені на дальньому кінці лінії зв'язку рис. 13.9, а. Резистор необхідно підбирати таким чином, щоб при перемиканні сигналу в лінії зв'язку виникали лише незначні викиди. Резистивний подільник на віддаленому кінці лінії зв'язку дає змогу розмістити приймачі в будь-якому її місці рис.13.9,б.

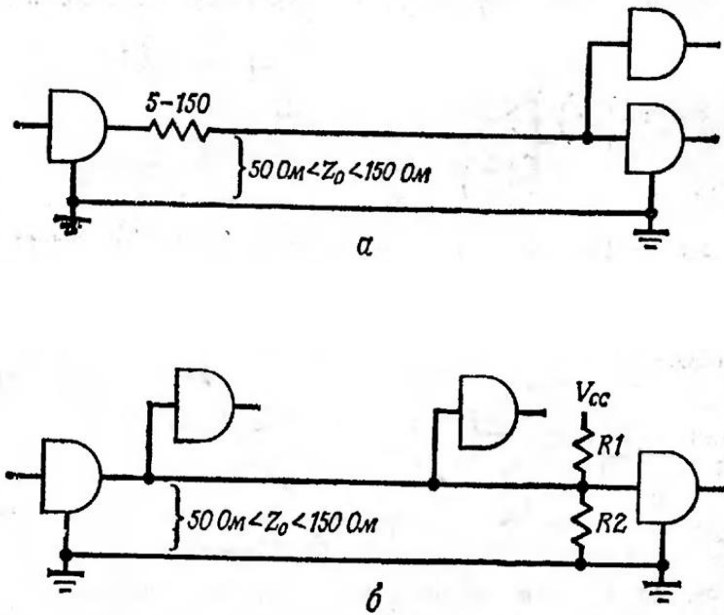


Рисунок 13.9 – Схеми узгодження довгих ліній зв'язку
для зменшення відбивання

Щоб подолати завади у довгій лінії, необхідно застосовувати диференціальні передавальні та приймальні пристрої з симетричними лініями зв'язку.

В однонаправлених лініях зв'язку навантаження необхідно підключати до віддалених кінців, а у двонаправлених лініях – до обох. У симетричних лініях зв'язку з належним чином узгодженим навантаженням подавлення завад може досягати 70 дБ у діапазоні 0 – 100 кГц.

Під'єднання узгодженого навантаження до кабелів, контактних площадок друкованих плат і провідних зв'язків, повинно здійснюватися завжди коли час поширення сигналу перевищує половину часу наростання чи спадання його амплітуди. Узгоджуючий імпеданс плоских і коаксіальних кабелів, а також скручених пар складає ≈ 100 Ом.

Узгоджуючий імпеданс контактних площадок друкованих плат повинен дорівнювати їх характеристичному імпедансу (від 20 Ом до 200 Ом).

Лекція № 14

Компонування вузлів БМА. Розбивка і компонування вузлів БМА. Методи проектування блоків живлення, методики виконання заземлення в БМА

14.1 Компонування вузлів БМА. Розбивка і компонування вузлів БМА

Розбивка і компонування в БМА вирішують задачу, що і де повинно бути розміщене в електронній системі. Проблеми виникнення завад у процесі компонування можна звести до мінімуму, ізолювавши чутливі схеми від джерел завад, усунувши паразитні індуктивні і ємнісні зв'язки, антенні ефекти та зв'язки через загальний імпеданс. Найкращий спосіб вирішити проблему завадостійкості – виключити з самого початку конструювання причини, які породжують завади. Для цього необхідно:

- зрозуміти, які види завад найімовірніші в даній схемі;
- при створенні схеми, обирати підхід, який виключає можливість виникнення в схемі якомога більшої кількості завад або зменшує ймовірність їх появи;
- вибирати та розміщувати друковані плати, кабелі та інші структурні компоненти таким чином, щоб виключити якомога більше причин виникнення завад і забезпечувати, за необхідності, під'єднання компонентів, які подавляють завади;
- відлагоджувати систему послідовно, переходячи від вузла до вузла і переконуючись, що кожен наступний вузол змонтовано належним чином, штатно функціонує і в ньому відсутні завади.

З цією метою слід враховувати наступне:

- 1) розташовувати малопотужні (чутливі) схеми поблизу джерел сигналів;
- 2) розташовувати потужні схеми (у яких велика вірогідність виникнення завад) поблизу навантажень;
- 3) розташовувати малопотужні і потужні схеми якнайдалі одна від одної;
- 4) добиватися, щоб проводи були якомога коротші;
- 5) використовувати максимально короткі контури проходження струму.

Усі схеми можна розділити на п'ять груп:

1) чутливі схеми з високим імпедансом 376,7 Ом, в яких велика ймовірність виникнення паразитного ємнісного зв'язку;

2) чутливі схеми з низьким імпедансом ($|Z| < 376,7$ Ом, з великою ймовірністю виникнення паразитного індуктивного зв'язку);

3) схеми помірної чутливості або схеми, розраховані на помірний рівень споживаної потужності;

4) високовольтні схеми;

5) схеми, розраховані на високий струм.

Аналогові схеми зазвичай потрапляють в перші дві групи, цифрові схеми відносяться до третьої групи, а схеми з'єднань і джерела живлення – до двох останніх. Можна сміливо комбінувати схеми, що належать до однієї і тієї ж групи і компонувати з них підсистеми, проте схеми з високим імпедансом слід розташовувати подалі від високовольтних схем, а схеми з низьким імпедансом не слід поміщати поряд з схемами, розрахованими на високий струм. У загальному випадку при об'єднанні схем, що належать до різних груп, сигнали, що надходять на них, повинні мати достатню стійкість до завад і помірний рівень потужності.

Схеми, які складають дану підсистему, повинні мати однакові властивості по входу/виходу і порівняний рівень завад. Такі умови призводять до того, що більшість систем доводиться підрозділяти на аналогові і цифрові підсистеми, джерела живлення і підсистеми, що містять електромагнітні прилади або перемикачі. Бажано також, щоб високочастотні і низькочастотні схеми входили в різні підсистеми. Кожна підсистема повинна бути якомога компактнішою і повинна бути забезпечена власними засобами подачі живлення і заземлення. Провідники в підсистемах повинні мати низький імпеданс, а контури проходження струму повинні бути мінімальними.

При монтажі трансформаторів, соленоїдів та інших електромагнітних пристроїв необхідно звертати увагу на те, щоб їх магнітні поля були направлені перпендикулярно одне до одного, а самі пристрої знаходилися на значній віддалі від кабелів. При проектуванні кабельної розводки слід забезпечувати мінімум

довжини, мінімальний імпеданс і найменшу площу контуру. Кабелі для швидкодіючих логічних схем повинні мати не менше одного загального дроту землі на кожні п'ять кабелів, а якщо кабелі призначені для логічних схем помірної швидкодії, то не менш одного на кожні десять кабелів. Чутливі схеми з їх кабелями слід розташовувати якнайдалі від інших ділянок, використовуючи як природні екрани елементи корпусу системи. Кола заземлення підсистем повинні перетинатися тільки в одній точці, а навколо високовольтних схем і схем з високим імпедансом слід встановити заземлені екрани.

14.2 Методи проектування блоків живлення

Імпульсні джерела живлення (ключові, тобто джерела живлення з імпульсним регулюванням вихідної напруги) є основним джерелом завад частотою до 30 МГц. Лінійні джерела живлення можуть при малих вихідних струмах генерувати низькочастотні паразитні сигнали з пилоподібною зміною амплітуди, а при підключенні до них через довгі кабелі погано шунтованих навантажень можуть збуджуватися. Іншою причиною низької завадостійкості є погана ізоляція між входом і виходом, коли завади з шини живлення потрапляють в схему через джерела живлення, а створювані схемою завади теж потрапляють в джерело живлення. Ці труднощі можна подолати ретельним вибором компонентів і топології схеми, правильним шунтуванням, а також фільтрацією і екрануванням.

На рис. 14.1 показано типову схему лінійного джерела живлення. Трансформатор $T1$ понижує або підвищує первинну напругу і забезпечує ізоляцію схеми від джерела змінного струму (первинного джерела напруги). Діоди $CR1 - CR4$ випрямляють вторинну напругу і заряджають конденсатор великої ємкості згладжуючого фільтру $C1$. Напруга V_{ref} подається на базу транзистора $Q1$ для керування вихідною напругою $V_{out} = V_{ref} - V_{be}$ [1].

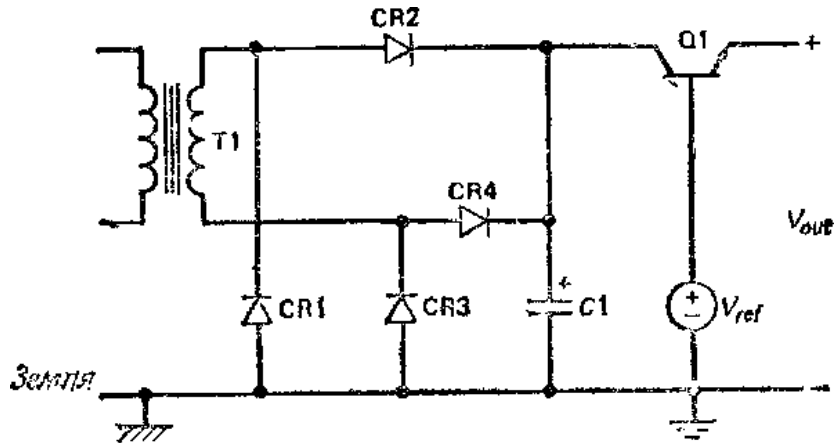


Рисунок 14.1 – Схема лінійного джерела живлення

На рис. 14.2 показана високочастотна еквівалентна схема цього джерела живлення: від джерела первинної напруги до V_{out} є послідовна ємність джерела ≈ 13 пФ і шунтуюча ємність ≈ 50 пФ, так що в схему потрапляє біля 20 % завад, що виникають в шинах живлення, і навпаки.

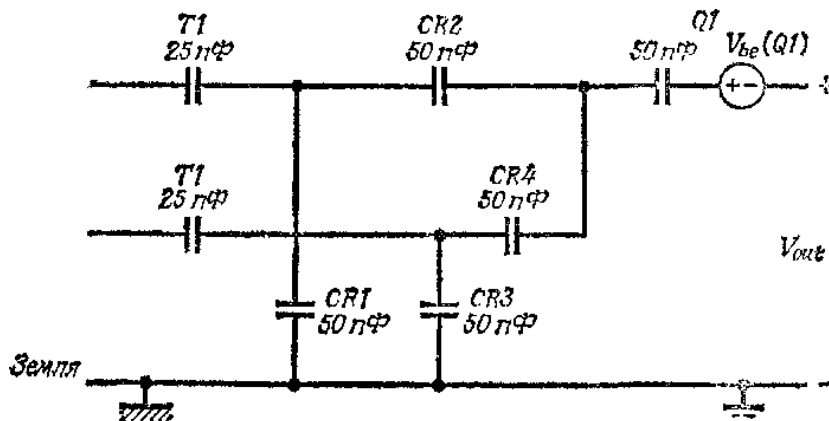


Рисунок 14.2 – Високочастотна еквівалентна схема лінійного джерела живлення

Високочастотні завади надзвичайно часто виникають у шинах змінного живлення (наприклад, у побутових стереосистемах кожні декілька хвилин відбувається перепад напруги до 200 В, приблизно раз на добу – до 400 В і приблизно раз на рік – до 1000 В). Якщо приміщення знаходиться в зоні високої грозової активності, можуть спостерігатися перепади напруги до 1000 В раз на добу і до 5000 В раз на рік.

В адміністративних і виробничих приміщеннях рівень завад дуже високий: так електродвигуни створюють перепади 1500 – 2000 В. При грозових розрядах в шинах живлення поза приміщенням можуть виникати перепади напруги від 10 до 20 кВ, а у внутрішній проводці – від 2 до 6 кВ (значення 6 кВ зв'язане з можливостями електричних розеток, у яких напруга дугового розряду складає \approx 6 кВ). У загальному випадку джерела живлення повинні витримувати перепади 3 кВ, не виходячи при цьому з ладу, а високонадійні джерела живлення повинні бути розраховані на перепади до 6 кВ.

Не набагато краще із електронними пристроями для автомобілів (наприклад, швидкої допомоги). Різкі падіння навантаження, наприклад, на генераторі змінного струму, можуть призводити до перепадів напруги до +120 В. Включення або виключення індуктивного навантаження можуть створювати перепади -300 В до +80 В. Паразитний зв'язок між дротами електропроводки може бути причиною перепадів +200 В, а при простому включенні запалення вони нерідко досягають -100 В. У звичайних умовах різні споживачі енергії в мережі електроживлення автомобіля створюють завади амплітудою $\pm 1,5$ В, а система запалення ± 3 В; при відключенні акумулятора вони можуть зрости до ± 75 В.

Один із способів захисту електронного обладнання від перепадів напруги в шинах живлення полягає у використанні пристроїв захисту.

При вмиканні випрямлячів у джерелах живлення виникають перепади напруги, а при їх вимиканні – перепади струму. Ці перепади можна ослабити, застосувавши діоди з плавним відновленням або діоди, розраховані на високі номінальні струм і напругу. Можна також обмежувати струм, який протікає через випрямляючий діод, рис. 14.3, а), зменшувати швидкість зміни струму, рис. 14.3, б) і в) або «гасити» перепади високоякісними шунтуючими конденсаторами, рис. 14.3, г) і д). У схемах з діодами Шотткі потрібно RC-поглиначі, рис. 14.3, е), що запобігають виникненню дзвону при вимиканні. Пригнічувачі перепадів на рис. 14.3, а); 14.3, в) і 14.3, д) також перешкоджають потраплянню в схему зовнішніх завад або відводять їх на землю, покращуючи

ізоляцію між входом і виходом джерела живлення і зменшуючи завадочутливість схеми.

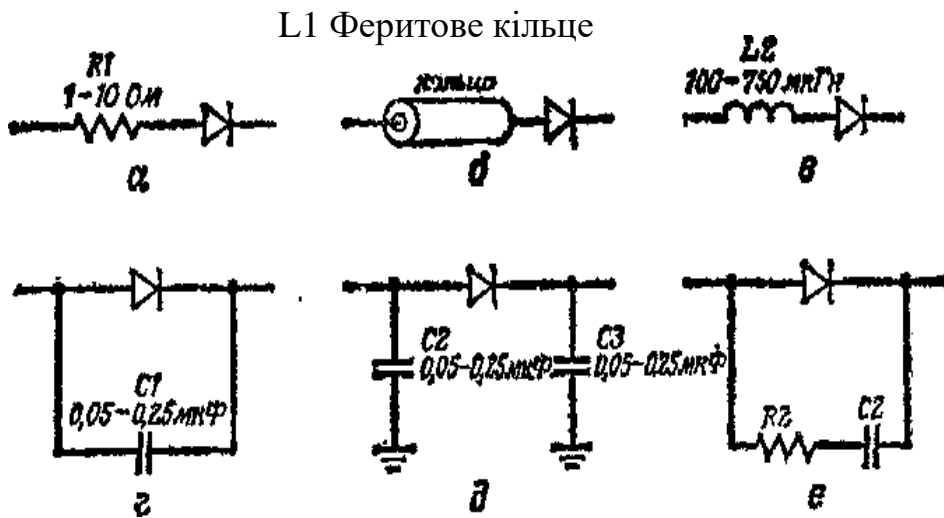


Рисунок 14.3 – Засоби для ослаблення перехідних процесів при вмиканні та вимиканні випрямних діодів

Існує кілька шляхів підвищення завадостійкості джерела живлення на рис. 14.1. Найважливіше забезпечити схему від завад, що виникають в мережі первинного живлення, оскільки вони можуть вивести схему з ладу. На рис. 14.4, а) показано типовий комерційний фільтр, який використовується для захисту від мережеских завад.

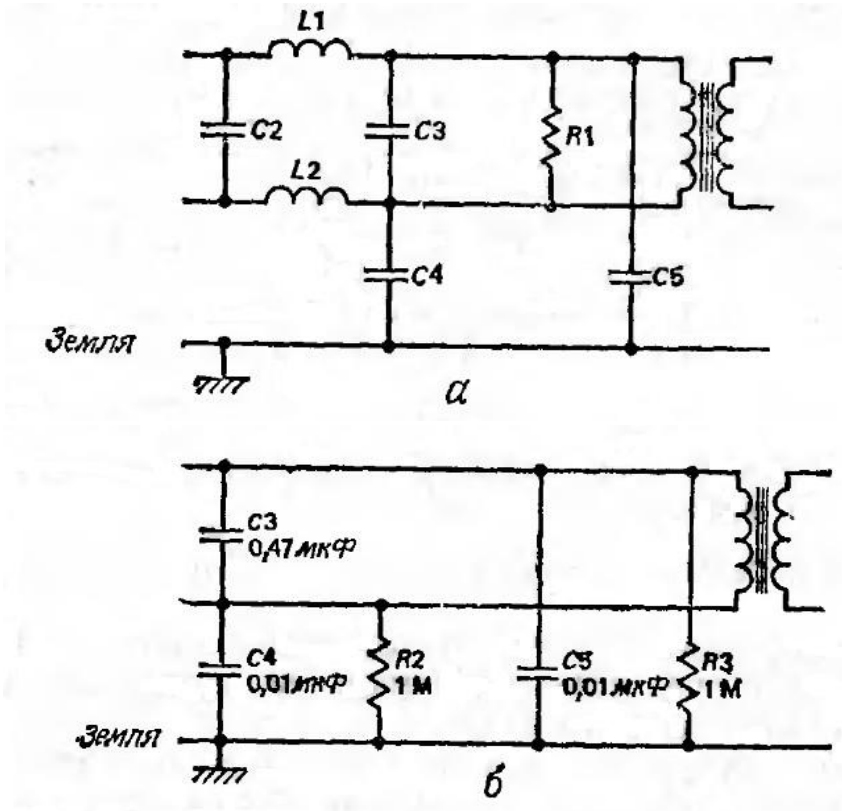


Рисунок. 14 4 – Способи ослаблення завад первинної мережі

Компоненти $L1$ і $L2$ блокують високочастотні завади, $C2$ і $C3$ захищають від високочастотних диференціальних завад, а $C4$ і $C5$ - від високочастотних синфазних завад. Типові номінали цих компонентів: $L1$ і $L2$ від 1,8 до 47 мГн, $C2$ і $C3$ від 0,1 до 2 мкФ і $C4$ і $C5$ від 0,0022 до 0,033 мкФ. Вищі значення ємностей $C4$ і $C5$ підсилили б придушення завад, проте, згідно інструкцій з техніки безпеки, блукаючі струми не повинні перевищувати 3,5 мА для заземлених систем і 0,5 мА для незаземлених систем.

Може знадобитися і стабілізуючий резистор ($R1 \ll 0,4 \text{ Ом} \cdot \Phi / (C2 + C3)$) навантаження для розряджання $C2$ і $C3$. При виборі мережевого фільтру для подавлення завад джерела живлення з імпульсним регулюванням необхідно, щоб резонансна частота фільтру була меншою, ніж частота перемикання.

Іноді потрібна незначна фільтрація, наприклад за допомогою схеми на рисунку 14.4,б. Тут $C3$ - паперовий або плівковий конденсатор, а $C4$ і $C5$ - стандартні дискові керамічні конденсатори на 1,4 кВ, $R2$ і $R3$ - композиційні резистори. Цю схему можна зібрати на друкованій платі, слідкуючи, щоб виводи

конденсатора були якомога коротші. Всі компоненти, які використовують в таких фільтрах, встановлених в шинах живлення, повинні витримувати змінні напругу і струм, що удвічі перевищують номінальні значення для цього фільтру. Якщо джерело живлення лінійне, то частота відсікання фільтру повинна в 1,5 рази перевищувати максимальну частоту змінної напруги на вході.

Силкові трансформатори доцільно екранувати. У звичайних трансформаторів ємність, що створюється обмотками, складає 10-50 пФ. У трансформаторів з електростатичним екрануванням, коли екран приєднується до схемної землі (рис. 14.5,а), ця ємність падає до $\approx 0,01$ пФ.

При подвійному екрануванні трансформаторів екран первинної обмотки повинен кріпитися до силової землі, а вторинної - до схемної землі. Щоб переконатися в тому, що проблеми завод у трансформаторі з електростатичним екрануванням вирішені, можна скористатися секціонованим розв'язуючим трансформатором, який показаний на рисунку 14.5,б.

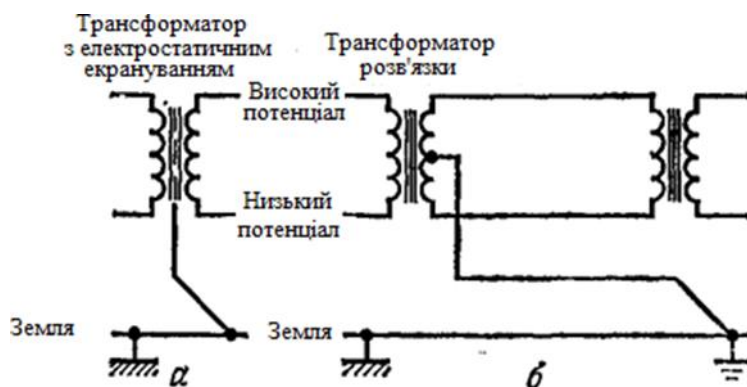


Рисунок 14.5 – Ослаблення паразитного зв'язку через трансформатор

Що стосується вторинної обмотки (рис. 14.6), то на виводи трансформатора для придушення імпульсних завод можна надіти феритові кільця (L3 і L4); вони також сприятимуть повільнішому зростанню амплітуди імпульсів зарядного струму і зменшенню перепадів при вимкненні випрямляча. Можна додати варистор R 1 для придушення високовольтних перепадів і конденсатори C6 і C7 невеликої ємності для відведення на землю високочастотних завод.

Для запобігання дії завад схеми на джерело живлення рекомендується скористатися прохідним конденсатором C8 і феритовим кільцем L5. (Зауваження. Дія феритових кілець L3 і L4 найефективніша при навантаженнях з низьким імпедансом.)

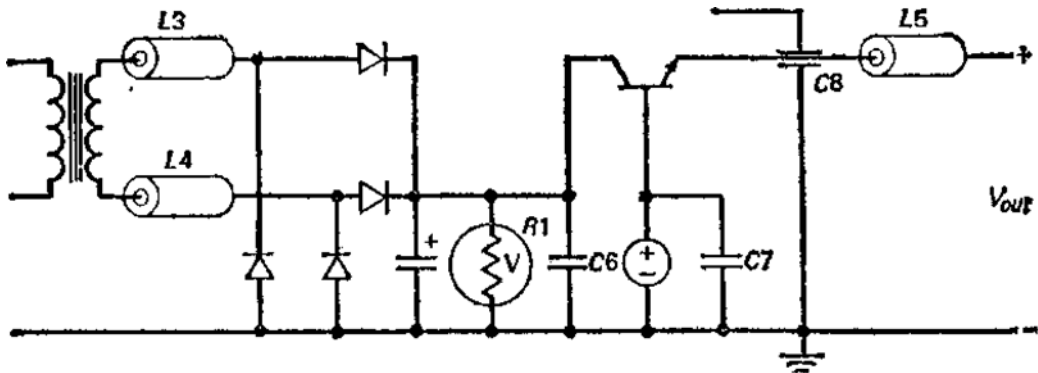


Рисунок 14.6. Ослаблення завад у колах вторинного живлення

На рисунку 14.7 представлена високочастотна еквівалентна схема джерела живлення, в якому повністю відсутні завади.

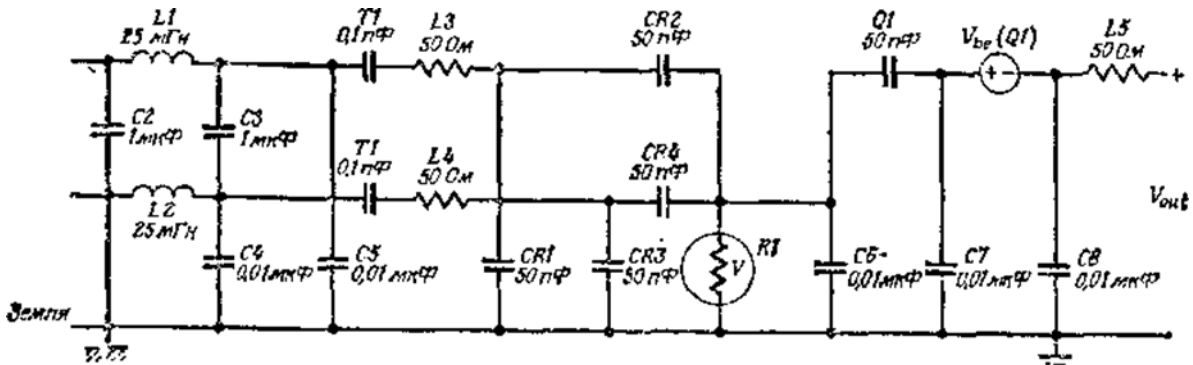


Рисунок 14.7. Високочастотна еквівалентна схема лінійного джерела живлення, в якому відсутні завади

Компоненти L1-L5 блокують високочастотні завади, здатні проникати в навантаження з первинної мережі змінної напруги і назад. Компонент пригнічує високовольтні перепади, а компоненти C2-C8 ліквідовують високочастотні завади. Дуже незначний рівень завад може проходити через схему джерела живлення, проте, щоб поліпшити розв'язку між входом і виходом, необхідно кола змінного струму розташовувати на значному віддаленні від кіл постійного струму.

Імпульсні джерела живлення можуть створювати підвищений рівень завад унаслідок ємнісного паразитного зв'язку між перемикаючими транзисторами і їх радіаторами. Її можна зменшити, помістивши між транзистором і радіатором екран і з'єднавши його зі схемною землею. Для таких екранів створені спеціальні ізолюючі матеріали.

Для живлення високочастотних і низькочастотних схем рекомендується використання окремих джерел. Так само, якщо пристрій містить високопотужні і малопотужні схеми, вони повинні живитися від окремих джерел або мати стабілізатор напруги. Якщо джерело живлення не має зовнішньої орієнтації потенціалу вихідної напруги, одну з його клем слід з'єднати з клемою заземлення на корпусі. Якщо така орієнтація є і джерело живлення працює на єдине навантаження, то одну з клем навантаження слід з'єднати з клемою заземлення на корпусі. Якщо ж джерело живлення підключене до декількох навантажень, то до клеми заземлення на корпусі підключається одна з опорних точок навантаження.

Список використаної літератури

1. Шадріна Г.М., Дедів Л.Є., Дозорський В.Г. Методичні вказівки до проведення лабораторних занять з дисципліни «Основи конструювання біомедичної апаратури» для студентів за напрямом підготовки 6.051402 «Біомедична інженерія» // Г.М. Шадріна, Дедів Л.Є., Дозорський В.Г – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. – 106 с.

2. Електроніка та мікросхемо техніка: курс лекцій для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форм навчання спеціальності 163 «Біомедична інженерія» / укладачі: Н. Г. Косуліна, М. О. Чорна; ДБТУ. – Харків: [б. в.], 2023. – 146 с.

3. Розрахунок та проектування електронних пристроїв: метод. вказівки до виконання комплексного контрольного завдання для студентів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти денної та заочної форми навчання спеціальності 163 «Біомедична інженерія» / укладачі: Н. Г. Косуліна, М. О. Чорна; ДБТУ. – Харків: [б. в.], 2023. – 56 с.

Рекомендована література

1. Основи проектування електронних систем: лабораторний практикум / Уклад.: Т.В.Мелешко, В.А. Швець, А.О. Краснопольский, Н.О. Касперович, О.О. Туз. – К.: НАУ, 2014. – 102 с.

2. Практична електротехніка. Посібник для виконання лабораторних і практичних робіт з курсу «Основи теорії електричних кіл та сигналів» на основі віртуальної лабораторії Multisim. Частина I / В.М. Рябенський, В.С. Буряк. – Миколаїв: НУК, 2016. – 164 с.

3. Болюх В.Ф., Данько В.Г. Основи електроніки і мікропроцесорної техніки: Навч. посібник. – Харків: НТУ «ХП», 2011. – 257 с.

Навчальне видання

КОСУЛІНА Наталія Геннадіївна
ЧОРНА Марія Олександрівна
СУХІН Віталій Володимирович

**ОСНОВИ КОНСТРУЮВАННЯ БМА ТА ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
ВИРОБНИЦТВА БМА ДЛЯ БІООБ'ЄКТІВ**

Конспект лекцій

Формат 60x84/16. Гарнітура Times New Roman
Папір для цифрового друку. Друк ризографічний.
Ум. друк. арк. 4,1
Тираж 50 пр.
Державний біотехнологічний університет