

ЗМІСТ

| | |
|---|-----------|
| АНОТАЦІЯ ДИСЦИПЛІНИ..... | 7 |
| ВИПISKA З НАВЧАЛЬНОГО ПЛАНУ..... | 8 |
| ПЕРЕЛІК АБРЕВІАТУР..... | 8 |
| МОДУЛЬ I..... | 9 |
| Вступ..... | 10 |
| Тема I Діагностика і контроль напівпровідникових приладів..... | 11 |
| 1.1 Контроль і види контролю..... | 12 |
| 1.2 Контроль параметрів напівпровідникових приладів..... | 8 |
| Тема II Основні поняття надійності..... | 18 |
| 2.1 Основні показники надійності..... | 18 |
| 2.2 Кількісні показники надійності..... | 19 |
| Тема III Механізми відмов діодів і транзисторів..... | 25 |
| 3.1 Механізми раптових відмов діодів і біполярних транзисторів..... | 25 |
| 3.2. Поступові відмови діодів і біполярних транзисторів інтегральних схем..... | 26 |
| 3.3 Механізми відмов інтегральних мікросхем..... | 27 |
| ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ПЕРШОГО МОДУЛЯ..... | 29 |
| Теми самостійної роботи до модуля 1..... | 41 |
| Перелік питань до тестового контролю 1 модуля..... | 46 |

| | |
|---|----|
| МОДУЛЬ II | 57 |
| Тема IV Випробування напівпровідникових приладів | |
| на надійність | 58 |
| 4.1 Види випробувань на надійність..... | 58 |
| 4.2 Випробування ІМС при виготовленні | 61 |
| 4.2.1 Візуальний контроль..... | 61 |
| 4.2.2 Тестові інтегральні мікросхеми..... | 63 |
| 4.2.3 Параметричний контроль..... | 65 |
| 4.2.4 Функціональний контроль..... | 66 |
| 4.2.5 Діагностичний контроль..... | 66 |
| 4.2.6 Перевірка механічної міцності..... | 67 |
| 4.2.7 Металографічний аналіз..... | 68 |
| 4.2.8 Рентгенівська дефектоскопія | 68 |
| 4.2.9 Контроль деталей | 68 |
| 4.2.10 Розмір деталі | 69 |
| 4.2.11 Площина поверхні деталі | 69 |
| 4.2.12 Контроль на герметичність..... | 69 |
| 4.2.13 Перевірка основи корпусу на герметичність..... | 70 |

| | |
|--|------------|
| 4.2.14 Мас-спектрометричний контроль..... | 70 |
| 4.2.15 Вакуум рідинний метод..... | 71 |
| 4.2.16 Компресійно-термічний метод..... | 71 |
| 4.2.17 Вологісний метод..... | 71 |
| 4.3 Випробування готової ІМС..... | 72 |
| Тема V Контроль статичних, динамічних параметрів та | |
| функціональний контроль..... | 75 |
| 5.1 Вимірювання статичних параметрів | 75 |
| 5.2 Вимірювання динамічних параметрів..... | 75 |
| 5.3 Контроль ЦІМС малого ступеня інтеграції..... | 76 |
| 5.4 Функціональний контроль | 82 |
| ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ДРУГОГО МОДУЛЯ..... | 83 |
| Теми самостійної роботи до модуля 2..... | 93 |
| Перелік контрольних питань до 2 модуля..... | 93 |
| РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА..... | 95 |
| МОДУЛЬ III..... | 110 |
| Тема VI Технологічні засоби автоматичних систем вимірювання | |
| і контролю електричних параметрів ІМС..... | 111 |
| 6.1 Структура автоматичного устаткування вимірювання і контролю..... | 111 |

| | |
|---|------------|
| 6.2 Засоби підвищення продуктивності автоматичного устаткування контролю. | 113 |
| 6.3 Еволюція контрольно-вимірювального обладнання для ІМС..... | 117 |
| 6.4 Універсальне і спеціалізоване устаткування контролю..... | 118 |
| 6.5 Пристрій програмного управління..... | 120 |
| 6.6 Спеціалізовані процесори, контролери, інтерфейс | 123 |
| 6.7 Апаратні засоби контролю працездатності і діагностики несправностей системи контролю ІМС..... | 124 |
| Тема VII Методи контролю цифрових ІМС | 126 |
| 7.1 Контроль статичних параметрів ЦІМС..... | 126 |
| 7.2 Основні операції до контролю статичних параметрів..... | 128 |
| 7.3 Методи вимірювання динамічних параметрів..... | 131 |
| 7.4 Функціональний контроль цифрових ВІС | 133 |
| ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ТРЕТЬОГО МОДУЛЯ..... | 136 |
| Теми самостійної роботи до модуля 3..... | 149 |
| Перелік питань до тестового контролю 3 модуля..... | 149 |
| МОДУЛЬ IV Курсовий проект | 163 |
| Завдання на курсовий проект..... | 169 |
| Література..... | 171 |

АНОТАЦІЯ ДИСЦИПЛІНИ

Сучасні досягнення в електроніці невід’ємно пов’язані з питаннями якості та надійності напівпровідникових приладів та ІМС. Тому проблеми діагностики та контролю параметрів напівпровідників є достатньо актуальними.

Контроль якості та проведення випробувань передбачають знання автоматизованих систем контролю параметрів та шляхів подальшого збільшення їх продуктивності.

По завершенні вивчення **теоретичного курсу** студенти повинні **знати:** параметри напівпровідників і як їх контролювати; механізми відмов; показники надійності напівпровідникових приладів та ІМС; технічні засоби системи автоматичного вимірювання та контролю параметрів ІМС.

вміти: користуватися навчальною та довідною літературою.

В результаті проведення **лабораторного практикуму** студенти повинні

знати: обладнання і методи контролю параметрів напівпровідників та ІМС;

вміти: володіти технікою вирішення практичних завдань в галузі електроніка і мікроелектроніка, розрахувати показники надійності; обґрунтовувати отримані результати.

Курс «Діагностика, контроль та випробування напівпровідникових приладів» складає 81 годину, поділений на три модулі і передбачає виконання курсового проекту та розрахунково-графічної роботи.

ВИПИСКА З НАВЧАЛЬНОГО ПЛАНУ

| Дисципліна | Се- местр | Форма ко- нтролю | Обсяг учбового наван- таження | Загальний обсяг годин | | | | Само- стійна робота |
|---|--------------|---------------------|--|-----------------------------|---------------|------------------------------------|---|---------------------------|
| | | | | Аудито- рні за- няття | З них | | | |
| | | | | | лек- ційні | лабо- ратор- ні за- няття | курсо- вий проект (се- местр) | |
| Діагностика, контроль та ви- пробування на- півпровіднико- вих приладів (денна форма) | 7 | залік | 81 | 48 | 16 | 32 | 7 | 33 |
| Діагностика, контроль та ви- пробування на- півпровіднико- вих приладів (заочна форма) | 9 | іспит | 81 | 10 | 6 | 4 | 7 | 71 |

ПЕРЕЛІК АБРЕВІАТУР

| № | Розшифровка аббревіатур | Абревіатури |
|-----|----------------------------|-------------|
| 1. | Технічні засоби навчання | ТЗН |
| 2. | Технічні засоби контролю | ТЗК |
| 3. | Ілюстративний матеріал | ІМ |
| 4. | Перевірка конспекту лекцій | ПКЛ |
| 5. | Перевірка практичних знань | ППЗ |
| 6. | Захист лабораторної роботи | ЗЛР |
| 7. | Методичні вказівки | МВ |
| 8. | Конспект лекцій | КЛ |
| 9. | Картковий контроль | КК |
| 10. | Тестовий контроль | ТК |
| 11. | Вхідний контроль | ВК |

РОЗПОДІЛ ДИСЦИПЛІНИ ПО МОДУЛЯМ

| № | Найменування типів занять, тем занять та їх зміст | Кількість годин | ТЗН ТЗК | Форма контролю | Література |
|--|---|-----------------|------------|------------------|------------|
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
| Модуль 1. Контроль параметрів напівпровідникових приладів. Механізми відмов.(1-3 тиждень) | | | | | |
| Мета модуля: вивчення методів контролю параметрів та видів випробувань | | | | | |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
| 1. | Лекція 1-2. Предмет та зміст курсу. Контроль і види контролю параметрів напівпровідникових приладів. Механізми відмов діодів, транзисторів, ІМС. Механізми раптових та поступових відмов. | 4 | ІМ | | КЛ |
| 2. | Лекція 3. Основні поняття надійності. Відмова, безвідмовність. Якісні показники надійності. | 2 | | | КЛ |
| 3. | Лабораторна робота 1. Визначення типу електропровідності напівпровідникових кристалів і пластин | 4 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ, [2] |
| 4. | Лабораторна робота 2. Виявлення дефектних р-п-переходів на основі дослідження їх ВАХ | 4 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ, [2] |
| 5. | Лабораторна робота 3. Вимірювання поверхневого і питомого опору шарів напівпровідника | 4 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ, [2] |
| Загальна кількість аудиторних годин модуля 1 | | 18 | | | |
| Кількість годин на самостійну роботу студентів | | 5/7 | | | |

ВСТУП

У зв'язку з розвитком сучасної техніки особливої важливості набули питання підвищення ефективності різного роду пристроїв. Комплексна автоматизація виробничих процесів ставить перед керуючими пристроями відповідальні завдання, які повинні виконуватися бездоганно впродовж всього періоду роботи автоматичної лінії, автоматизованого цеху або підприємства. Відмова або непередбачена зупинка в роботі управляючого пристрою можуть привести не тільки до погіршення якості виготовленої продукції, але і до повного припинення виробничого процесу. До будь-якого технічного пристрою або виробу пред'являються вимоги безвідмовної роботи.

Який сенс в літаку, який не може безвідмовно здійснювати перельоти? Який сенс в автомобілі, який не в змозі перевозити вантажі або пасажирів? Сучасна медицина широко використовує різного роду технічні засоби як для діагностичних або дослідницьких цілей, так і для виконання відповідальних функцій в час і після хірургічних операцій. До їх роботи пред'являються особливо високі вимоги, оскільки перебої в роботі, скажімо, штучного серця під час операції на серці, можуть привести до сумного результату. З численними прикладами, в яких надійність і якість продукції відіграють основну роль, кожний з нас зустрічається в повсякденному житті.

Академік А.І.Берг справедливо відзначав, що жодне досягнення науки і техніки, скільки б ефективним воно не було, не може бути повноцінним, якщо його реалізація залежатиме від “капризів” малонадійної апаратури.

Наприклад, французький штучний супутник землі “Teleclm-I-B” вийшов з ладу в січні 1988 р. із-за відмови резистора і обриву двох дротів, внаслідок чого припинили працювати як основна, так і резервна системи управління орієнтацій супутника.

Тому питання контролю, діагностики і випробування напівпровідникових приладів є необхідними і актуальними.

Тема I Діагностика і контроль напівпровідникових приладів

1.1 Контроль і види контролю

Переваги напівпровідникових приладів – це малі габарити і вага, які в значній мірі визначають їх технічну цінність. Разом з тим малість активних областей пов'язана з великими труднощами виготовлення напівпровідникових приладів, їх контролю і дослідження.

У напівпровідникових приладах практично неможливо безпосередньо контролювати геометричні розміри активної структури, концентрації домішок на різних ділянках структури, якість обробки поверхні, якість припаювання кристалів і провідників до електродів і т.п. Тому дуже важливі непрямі методи контролю якості напівпровідникових приладів.

Результати вимірювань електричних параметрів напівпровідникових приладів, з одного боку, служать для визначення їх експлуатаційних можливостей і початковим матеріалом при розрахунку схем, а з іншого боку, дозволяють непрямим чином судити про внутрішні властивості і особливості приладів.

Система контролю параметрів напівпровідникових приладів дозволяє вирішувати наступні задачі:

1. Контролювати технологічні процеси;
2. Відбраковувати на ранній стадії виробництва дефектні прилади;
3. Розбраковувати увесь випуск на групи з відносно вузькими діапазонами граничних значень найважливіших параметрів.

Дослідження приладів носить, образно кажучи, щоденний характер в практиці технолога при виробництві напівпровідникових приладів і при лабораторному аналізі браку.

Дослідження напівпровідникових приладів утруднене, оскільки доступ до приладів в інтегральній схемі вельми обмежений, тому методи електричних вимірювань обмежені.

1.2 Контроль параметрів напівпровідникових приладів

Можна прийняти наступну класифікацію параметрів напівпровідникових приладів:

а) статичні параметри;

б) параметри еквівалентного двополюсника і чотирьохполюсника, вимірювані за допомогою малого сигналу;

в) параметри фізичної еквівалентної схеми;

г) імпульсні параметри;

д) теплові параметри;

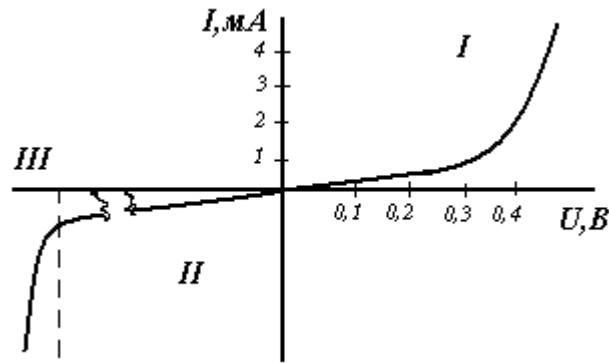
е) параметри генераторних приладів;

ж) параметри, що характеризують шумові властивості;

з) параметри, що характеризують надійність.

Статичні параметри знаходяться в прямому зв'язку із статичними вольт – амперними характеристиками. Звичайно ці параметри обумовлюють значення постійного струму або напруги на електродах напівпровідникового приладу за фіксованих умов вимірювання, або відношення цих величин. Використовуються практично для всіх типів напівпровідникових приладів.

Наприклад, система статичних параметрів діодів (мал.1.1.):

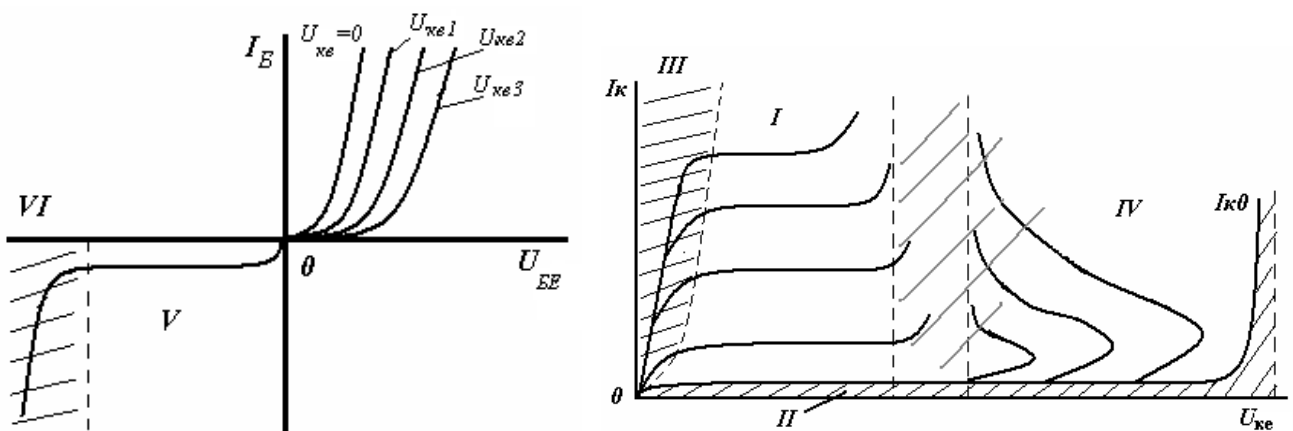


Малюнок 1.1-Система визначення статичних параметрів діодів

Упр – пряме падіння напруги, напруга на прямій гілці характеристики, виміряна при деякому, наперед вибраному для даного типу приладу, значенні прямого струму $I_{пр}$.

Ізв – зворотній струм, тобто струм на зворотній гілці характеристики, виміряний при деякому, наперед вибраному для даного типу приладу, значенні зворотної напруги $U_{зв}$.

Упроб – пробивна напруга, тобто на пробивній ділянці зворотної гілки характеристики, при деякому, наперед вибраному значенні зворотнього струму. Для транзисторів система визначення статичних параметрів(мал. 1.2):



Малюнок 1.2 – Система визначення статичних параметрів транзисторів

I – активна область транзисторів - на колекторному переході транзистора є запираюча напруга, менша напруги пробою, емітерний перехід відкритий і інжектує неосновні носії заряду в базу. Дифундуючи до колекторного переходу, неосновні носії заряду утворюють колекторний струм.

II – область відсічки – емітерний перехід не інжектує неосновні носії в базу.

III – область насичення – колекторний перехід виявляється зміщений в прямому напрямі. В результаті відбувається додаткова інжекція неосновних носіїв з колектора в базу.

IV - область пробою – висока напруга на колекторі і відрізняється різким зростанням колекторного струму з ростом напруги.

V – область відсічки по входу, відповідає зворотнім напругам на емітерному переході.

VI – область пробою емітерного переходу

Статичні характеристики дозволяють найбільш найраціональніше вибрати положення робочої точки на характеристиці, оцінити нелінійне зміщення, обчислити амплітуди управляючих і вихідних імпульсів для ключових схем. Вони дають інформацію про якість приладу, про наявність дефектів конструкції або технології виготовлення.

Параметри еквівалентного двополюсника і чотирьохполюсника, вимірювані за допомогою малого сигналу дають інформацію про властивості приладу і використовуються для визначення параметрів фізичної еквівалентної схеми напівпровідникового приладу.

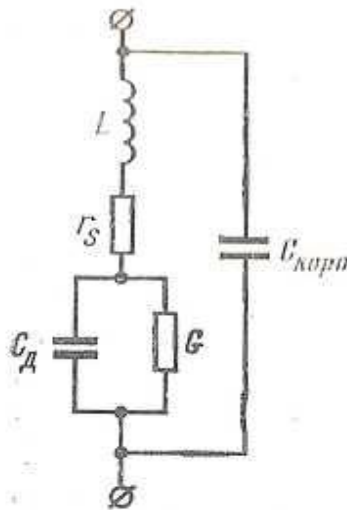
При прикладенні до приладу малих (в порівнянні з постійними складовими) струмів і напруг нелінійність характеристик напівпровідникового приладу стає неіс-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів
тотною, і по відношенню до таких малих сигналів прилад можна розглядати як лінійний пристрій. Приклад: транзистор – малосигнальні параметри

Параметри фізичної еквівалентної схеми.

Для визначення таких параметрів необхідно мати еквівалентну схему приладу. Вона дозволяє за допомогою невеликої кількості параметрів описувати властивості приладу в широкому діапазоні за різних умов (частота, режим і т.п.). Найбільш вдалим є схеми, в основу яких покладені фізичні закономірності процесів, що протікають в приладі.

Наприклад, еквівалентна схема напівпровідникового приладу при зміщенні його в запираючому напрямі має вигляд (мал. 1.3).



Малюнок 1.3 – Еквівалентна схема напівпровідникового діода

Найбільш простим представляється засіб вимірювання послідовного опору r_s , який полягає в тому, щоб подати на діод постійний струм в прямому напрямі, а потім виміряти повний опір діода на низькій частоті. Вимірний опір складатиметься з двох складових: опір прямого зсуву р-п переходу і вимірюваного послідовного опо-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

ру. Опір р-п - переходу обчислюють за формулою: $r = \frac{kT}{qI}$, або через діод задається

такий великий постійний струм, щоб ця складова стала незначною.

Імпульсні параметри є відрізками часу, що характеризують перехідні процеси, які відбуваються у вимірюваному напівпровідниковому приладі при додатку до нього ступінчастого сигналу (напруги або струму). Типовими імпульсними параметрами є час включення і час виключення тиристора. Для транзистора: час затримки, тривалість переднього фронту.

Теплові параметри – характеризують саморозігрівання приладу потужністю, що виділяється в ньому. Велике значення має дія підвищеної і зниженої температури, а також швидкої зміни температури на такі елементи конструкції приладу, як спаювання каркасу і кристалотримача, скла і металу. Дослідження теплових характеристик напівпровідникових приладів зводяться до:

- а) вимірювання залежності електричних параметрів від температури;
- б) дослідження температури в середині приладу при виділенні в ньому потужності як в безперервному, так і в імпульсному режимі;
- в) вимірювання параметрів, що характеризують здатність напівпровідникового приладу віддавати тепло в тепловідвід або в зовнішнє середовище;
- г) випробування для визначення стійкості конструкції приладу до термічних дій.

Параметри генераторних напівпровідникових приладів – потужність, що віддається, коефіцієнт посилення по потужності і ККД.

Параметри, що характеризують шумові властивості напівпровідникових приладів, не завжди вимірюють; для добре вивчених приладів їх можна обчислити за допомогою електричної еквівалентної схеми. Проте для багатьох приладів, у тому

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів
числі і для транзисторів у діапазоні дуже низьких частот (10-1000 Гц), доводиться оцінювати безпосередньо рівень шумів.

Параметри надійності напівпровідникових приладів дають характеристику, однаково важливу для приладів всіх типів. В результаті випробувань визначають, так звану, виробничу або стендову надійність. Параметри стендової надійності є об'єктивною характеристикою надійності випробовуваного приладу. Проте їх не можна використовувати для розрахунку реальних схем. Для цієї мети служать параметри експлуатаційної надійності, які одержують шляхом узагальнення результатів експлуатації приладів в апаратурі за тривалий час.

Тема II Основні поняття надійності

Основними параметрами напівпровідникових приладів є такі, від яких залежить працездатність радіоелектронних схем. Параметри приладів, які безпосередньо не впливають на функціонування апаратури, відносяться до другорядних параметрів.

2.1 Основні показники надійності

Працездатною називають апаратуру, що виконує усі функції, на які вона розрахована. Якщо ж вона перестає нормально виконувати хоч би одну з функцій, це вважають втратою працездатності.

Відмовою називають такий стан приладу, при якому повністю або частково порушена його працездатність.

Безвідмовністю напівпровідникового приладу називають його властивість зберігати працездатність протягом заданого часу в певних умовах експлуатації, без вимушених перерв.

Властивість напівпровідникового приладу виконувати задані функції, зберігаючи свої експлуатаційні показники в заданих межах протягом необхідного проміжку часу або необхідного напрацювання називається його надійністю.

Існує розгорнена система державних стандартів “Надійність в техніці”, описана ДОСТ 27.001-81. основні з них:

ДОСТ 27.002-83 - Терміни і визначення.

ДОСТ 27.003-83 - Вибір і нормування показників надійності. Основні положення.

ДОСТ 27.103-83 - Критерії відмов і граничних станів.

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

По характеру зміни основних параметрів в часі відмови напівпровідникових приладів можуть бути двох видів:

а) раптові відмови, що виникають в результаті стрибкоподібної зміни значень одного або декількох основних параметрів.

б) поступові відмови, що виникають в результаті плавної зміни значень основних параметрів.

Після виникнення відмови, за можливістю подальшого використання напівпровідникові прилади діляться на повні і часткові.

В результаті повної відмови (короткого замикання або обрив в ланцюзі) працездатність приладу втрачається повністю.

Дуже часто раптові відмови напівпровідникових приладів бувають в той же час і повними або катастрофічними.

Відмови, що викликаються поступовою зміною основних параметрів і виходом їх значень за встановлені норми, іноді називаються умовними.

Умовно відмовивший діод або транзистор може бути фактично цілком працездатним в таких радіоелектронних схемах, які не критичні до зміни параметра в розглянутих межах.

Загальні технічні вимоги, яким повинні задовольняти діоди і транзистори для пристроїв широкого застосування передбачені ДОСТ 116.30-65. У відповідності з цими вимогами складаються технічні умови (ТУ) або стандарти на окремі типи приладів.

Основні характеристики умов експлуатації приведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 - Основні характеристики умов експлуатації

| Н/п прилади | Навколишня атмосфера | | | Механічні навантаження | | | |
|-------------|----------------------|---------------------------------|--|-------------------------|---------------------|--|------------------------------------|
| | Температура, °С | Відносна вологість, % не більше | Тиск, Н/м ² | вібрації | | Ударні багатократні з прискоренням g не більше | Лінійні з прискоренням g не більше |
| | | | | прискорення g не більше | діапазон частот, Гц | | |
| Германієві | -55; +70 | 98 при +48°С | Від $2,7 \cdot 10^4$ до $3 \cdot 10^5$ | 7,5 | від 10 до 600 | 75 | 25 |
| Кремнієві | -55; +100 | | | | | | |

Ряд вимог передбачається стандартом відносно зовнішнього вигляду і конструкції приладу.

Зовнішні металеві деталі повинні бути виготовлені з матеріалу, стійкого проти корозії або захищені від неї. Захисні лакофарбні покриття повинні бути міцними, а зовнішній вигляд і якість маркировки відповідати вимогам ТУ.

Виводи приладу повинні бути міцно закріплені, мати надійний контакт з електродами і легко паятися. Гнучкі виводи повинні допускати, принаймні, триразовий вигин без слідів зламу, а жорсткі виводи витримувати прикладені ТУ механічні зусилля.

Скло або кераміка і спай їх з металом повинні бути механічно міцними, не мати сколів, тріщин, відлипання в спаях і інших дефектів, які могли б порушити герметичність і викликати втрату працездатності приладу.

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

В середині корпусу приладу не повинно бути частинок, що вільно переміщуються, здатних порушити його нормальну роботу.

2.2 Кількісні показники надійності

Умовимося кількісно визначати надійність як вірогідність $P(t)$, того, що в даних умовах експлуатації до моменту часу t не виникне відмова.

Величина $1-P(t)$ характеризуватиме протилежну подію – вірогідність виникнення відмови в цих же умовах до моменту часу t .

Тривалість роботи напівпровідникових приладів прийнято характеризувати напрацюванням, яке вимірюється одиницями часу, числом циклів, включень і т.п.

Сумарне напрацювання приладу від початку випробувань або експлуатації в певних умовах і режимах до моменту виникнення відмови назвемо довговічністю напівпровідникового приладу.

Час, протягом якого зберігається працездатність окремих приладів, є випадковою величиною, яка може приймати будь-які значення від нуля до нескінченності.

Кількісна характеристика цієї випадкової величини – функція розподілу часу безвідмовної роботи $f(t)$ – щільність вірогідності напрацювання до моменту відмови t .

Величина $f(t)dt$ – вірогідність того, що відмова відбудеться в інтервалі часу dt у момент t .

Функцію $f(t)$ називають законом розподілу відмов.

Співвідношення між $f(t)$ і вірогідністю безвідмовної роботи $P(t)$ має вигляд:

$$f(t) = -\frac{dP(t)}{dt} \quad (2.1)$$

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

Для оцінки середньої довговічності великої сукупності приладів використовується середній час безвідмовної роботи t_{cp} , який визначається як

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} t f(t) dt, \quad (2.2)$$

або

$$t_{cp} = \int_0^{\infty} P(t) dt \quad (2.3)$$

При оцінці надійності напівпровідникових приладів необхідно дати оцінку кількості відмов, які відбудуться за інтервал часу t_1-t_2 , якщо відомо, що до початку цього інтервалу всі прилади були працездатними.

Така оцінка може бути зроблена за допомогою даних про величину інтенсивності відмов напівпровідникових приладів.

Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ - визначається як відношення кількості приладів $n(t)$, що відмовили протягом інтервалу часу від t_1 до t_2 до добутку кількості приладів $N(t)$, працездатних до початку цього інтервалу, на його тривалість:

$$\lambda(t) = \frac{dn(t)}{N(t)dt} \quad (2.4)$$

Величина $\lambda(t)$ може бути представлена як

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} \quad (2.5)$$

Основні характеристики, вказані вище, пов'язані між собою рівняннями:

$$\boxed{P(t) = \int_t^{\infty} f(\tau) d\tau}, \quad (2.6)$$

оскільки $f(t) = -\frac{dP}{dt}$, то $\lambda(t) \cdot P = -\frac{dP}{dt}$ і $\lambda(t)dt = -\frac{dP}{P}$ $\int \lambda(t)dt = -\int \frac{dP}{P}$

$$Pt = e^{-\int_0^t \lambda(t) dy} \quad Pt = e^{-\int_0^t \lambda(t) dy}$$

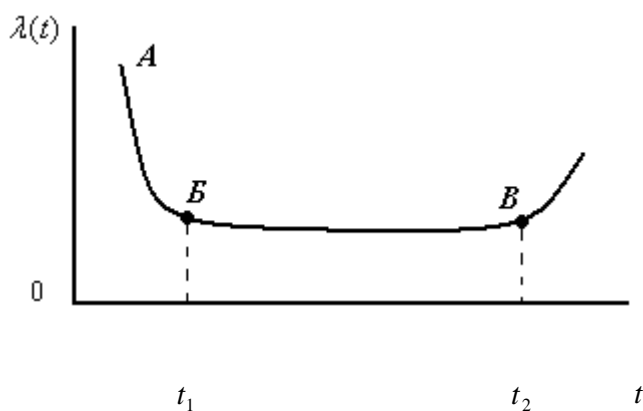
$$\boxed{P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}}; \quad (2.7)$$

$$\boxed{\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = -\frac{1}{P(t)} \cdot \frac{dP(t)}{d(t)}}; \quad (2.8)$$

$$\boxed{t_{cp} = \int_0^{\infty} tf(t)dt = \int_0^{\infty} P(t)dt}, \quad (2.9)$$

оскільки $t_{cp} = \int_0^{\infty} tf(t)dt = -\int_0^{\infty} t \frac{dP(t)}{dt} dt = -\int_0^{\infty} t dP(t) = -tP(t) \Big|_0^{\infty} + \int_0^{\infty} P(t)dt = \int_0^{\infty} P(t)dt$

Експериментально було встановлено, що для деяких типів елементів залежність інтенсивності відмов $\lambda(t)$ від часу має вигляд мал. 2.1:



Малюнок 2.1 – Типова залежність інтенсивності відмов від часу

На ділянці AB інтенсивність відмов падає. Цю ділянку звичайно називають періодом напрацювання елементів. Висока інтенсивність відмов тут пов'язана з втратою працездатності приладів, які мають значні приховані дефекти. Таких приладів, як правило, буває небагато. При належному контролі вони можуть бути виявлені наперед.

На ділянці BB інтенсивність відмов постійна. Це період нормальної роботи елементів. Тривалість його звичайно багато більше періоду напрацювання.

Після закінчення періоду нормальної роботи приладів інтенсивність відмов знову зростає. Починає позначатися ізнос приладу, закінчується ресурс його роботи. Для напівпровідникових приладів зростання інтенсивності відмов з часом за нормальних умов експлуатації практично не спостерігається. У разі жорстких режимів випробувань або експлуатації може спостерігатися зростання, наприклад, при випробуванні на вологостійкість, дію радіації і т.п.

Тема III Механізми відмов діодів і транзисторів

3.1 Механізми раптових відмов діодів і біполярних транзисторів

Відомі наступні основні причини раптових відмов діодів і БТ:

- Коротке замикання (КЗ) унаслідок попадання провідних частин між контактними площадками або выводами;
- Пробої р-n переходів;
- Проплавлення металізації через дифузійні шари в кремнії при високих рівнях розсіюваної потужності;
- Електродифузія кремнію в алюміній при високій щільності струму (10^6 А/см²) з одночасним проникненням алюмінію в дифузійні шари;
- Міграція алюмінію по поверхні кремнію між алюмінієвими контактними майданчиками за наявності різниці потенціалів і підвищених температурах переходу (більше +150⁰С)

КЗ – р-n- переходів із-за знаходження між контактними площадками або выводами сторонніх провідних частинок зустрічаються рідко. Проте частинки можуть з'являтися унаслідок відшарування осадженого хімічним шляхом металевого покриття внутрішньої поверхні корпусу або унаслідок недбалого виконання операції приварювання внутрішніх выводів. Для виявлення таких недоліків проводять спеціальне випробування. Прилади, до яких прикладена постійна напруга, піддаються вібрації. За допомогою схем реєструються імпульси струму і напруги, що виникають в ланцюзі, коли у випробувальному приладі виникає коротке замикання або обрив.

Найбільшу небезпеку представляють пробої р-n- переходів: лавинний, тунельний і вторинний, що виникають із-за перевантажень по струму або напрузі або із-за недостатнього технологічного запасу по напрузі у переходів. При пробоях має місце

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів розсіювання великих потужностей, що приводить до нагріву кристала аж до розплавлення металізації і проникнення металу через дифузійні шари в емітері і базі.

Слід відмітити, що пробій переходів в кремнієвих планарних транзисторах і діодах інтегральних схем не відбувається одночасно за всією площею переходів.

Тунельний пробій має місце лише у вузьких р-п- переходах завширшки близько 1000 \AA при $U_{пр} \ll 5 \text{ В}$.

Лавинний пробій спостерігається в широких р-п- переходах при $U_{пр} > 7 \text{ В}$.

Вторинний пробій спостерігається в транзисторах, що працюють в активному режимі, при прямому зміщенні на емітерному р-п- переході і зворотньому зміщенні на колекторному, а також при перемиканні з режиму насичення в режим відсічки. Цей вид пробою є результатом концентрації емітерного струму в малих областях, в так званих “гарячих точках”, з температурою на $100\text{-}200^{\circ}\text{C}$ вище, ніж в решті частини емітера.

У логічних інтегральних схемах транзистори працюють при дуже малих рівнях потужності ($P < 10 \text{ мВт}$) і при малих напруги ($U_k \leq 10 \text{ В}$). Тому в таких схемах вихід з ладу унаслідок виникнення вторинного пробою в нормальних робочих умовах маловірогідний. У малопотужних інтегральних схемах КЗ діодів і біполярних транзисторів відбувається, як правило, унаслідок тунельного пробою, емітерного і лавинного пробою колекторного р-п- переходів при випадкових значних перевищеннях пробивних напруг переходів $U_{сб0}$ і $U_{кб0}$.

3.2. Поступові відмови діодів і біполярних транзисторів інтегральних схем

Поступові відмови, на відміну від катастрофічних, обумовлені безперервною зміною в часі основних електричних параметрів активних елементів і виходом їх за встановлені норми.

Основними параметрами діодів є:

- зворотній струм при заданій зворотній напрузі;
- пробивна напруга;
- пряме падіння напруги при заданому прямому струмі.

БТ характеризуються наступними параметрами:

- зворотні струми емітерного та колекторного р-п - переходів;
- пробивні напруги різних переходів $U_{ке}$ $U_{кб}$ $U_{еб}$;
- коефіцієнт підсилення за струмом в схемі із загальним емітером $h_{21е}$;
- напруга насичення в режимі насичення при заданих струмах колектора і бази.

Інші параметри, такі як ємності емітера і колектора, гранична частота, підсилення за струмом, звичайно, не контролюються при тривалих випробуваннях на термін служби, оскільки вони незначно змінюються з часом.

3.3 Механізми відмов інтегральних мікросхем

За механізмом відмови можна розділити на 5 категорій:

1. Відмови, пов'язані з явищами в об'ємі кристалу;
2. Відмови, обумовлені явищами на поверхні кристалічної структури;
3. Відмови, що залежать від стану внутрішніх контактних з'єднань;
4. Відмови, пов'язані з конструктивним оформленням;
5. Відмови, пов'язані із зовнішніми діями при застосуванні ІЕТ.

Приведемо основні механізми відмов ІС, пов'язані з технологічними операціями при їх виготовленні.

Основні позначення: КЗ – коротке замикання; О – обрив

Д – деградація електричних параметрів

Таблиця 3.1 – Механізми відмов ІС

| Технологічні операції | Механізм відмови | Вид відмови |
|-----------------------|--|-------------|
| Дифузія і окислення | Дефект окислу | КЗ, О |
| | Забруднення | Д |
| | Поверхневі стани | Д |
| | Помилка в технології | КЗ, О, Д |
| Металізація | Розрив на сходинці окислу | О |
| | Корозія | О |
| | Електроміграція | О, КЗ |
| | Обрив у контакті | О |
| | Помилка при травленні | О, КЗ |
| Збірка | Відшарування металу | О |
| | Розтріскування кристала | О, КЗ |
| | Пережим дротяного виводу | О |
| | Формування металевого з'єднання | О, КЗ |
| | Стороння частинка | КЗ |
| | Подряпина на кристалі | О, КЗ |
| Герметизація корпусу | Негерметичність корпусу | Д, О |
| | Утворення “вусів” на металізації, корозія | КЗ, О |
| | Проникнення вологи | О, Д |
| Застосування | Дія статичної електрики | КЗ, О, Д |
| | Перевищення допустимих електричних режимів | КЗ, О, Д |

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ПЕРШОГО МОДУЛЯ

Лабораторна робота №1

Визначення типу електропровідності н/п кристалів і пластин

Мета роботи: визначити тип електропровідності за напрямом випрямленого струму і характерної картини на екрані осцилографа, вивчити основні методики визначення типу електропровідності.

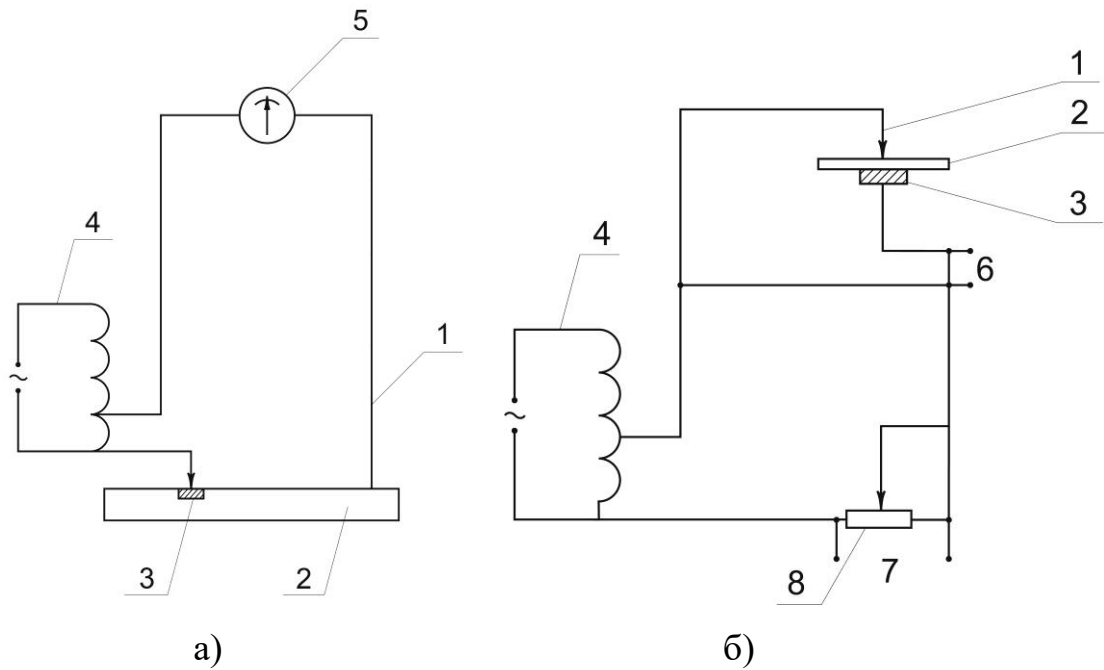
Теоретичні відомості

Властивості виготовлених напівпровідникових кремнієвих пластин, епітаксійних структур та р-п-переходів характеризується великою кількістю електрофізичних параметрів (рухливістю, концентрацією носіїв заряду та ін.). Особливістю цих параметрів є те, що більшість з них у виробничих умовах не може бути виміряна прямими методами. Тому інформацію про вказані параметри та електричні властивості елементів ІМС отримують непрямими методами, вимірюючи: тип електропровідності напівпровідникових пластин; товщину d епітаксійних шарів; глибину дифузійних областей; поверхневий опір $R_{\text{пов}}$; питомий опір ρ ; вольт-амперні характеристики (ВАХ); пробивну напругу р-п-переходів.

Методи визначення типу електропровідності монокристалічних злитків кремнію та пластин. Розрізняють наступні методи визначення типу електропровідності:

- за напрямом випрямленого струму;
- за видом вольт-амперної характеристики;
- за знаком термо- ЕРС.

При першому методі випрямлений струм у вимірювальному ланцюгу напівпровідник-точковий контакт (мал.3.1,а) має різний напрямок в залежності від типу електропровідності пластини. Для пластин з електронною провідністю (n – типу) напрямок струму відповідає позитивній напрузі на зонді відносно напівпровідника, а для пластин з дірковою електропровідністю (р - типу) – негативній напрузі. Напрямок струму у вимірювальному ланцюгу визначають за напрямом відхилення світлового індикатора гальванометра від нульового положення.

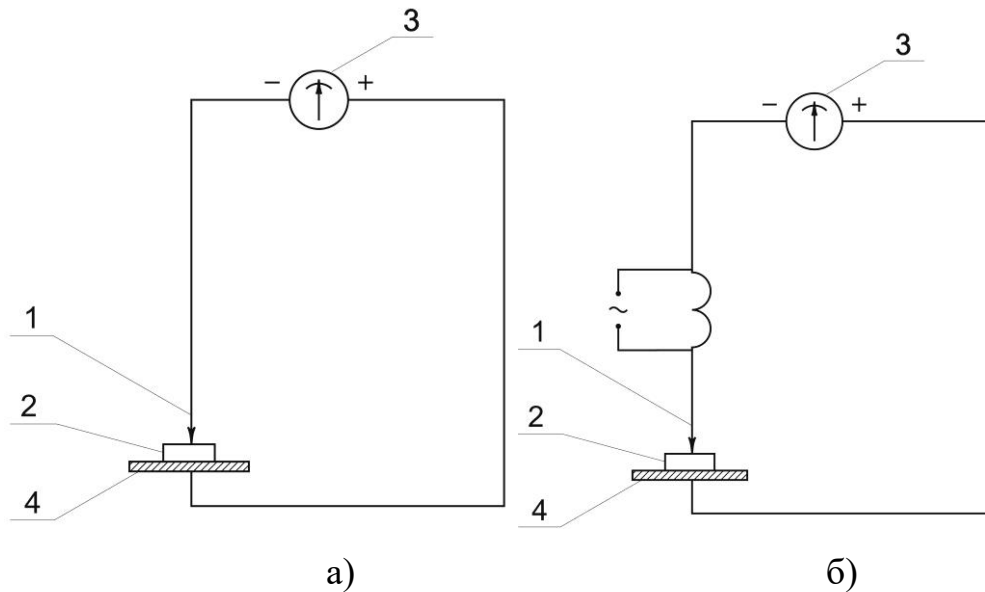


1 – точковий контакт (зонд); 2 – зливоч чи пластина; 3 – омичний контакт; 4 – автотрансформатор; 5 – нуль-індикатор; 6 – відвід до горизонтальних пластин осцилографа; 7 – відвід до вертикальних пластин осцилографа; 8 – регулюючий опір.

Малюнок 3.1 – Принципова схема для визначення типу електропровідності методом точково-контактного випрямлення з використанням нуль-індикатора (а) та осцилографа (б):

При другому методі знімають ВАХ, для чого складають установку за електричною схемою мал.3.1,б. Отриману на екрані осцилографа ВАХ порівнюють з характеристикою контрольного зразка (платини) електропровідності n- та р-типів.

Третій метод засновано на тому, що при зіткненні гарячого зонда зі зразком виникає термо-ЕРС, знак якої залежить від типу електропровідності і визначається за напрямом відхилення світлового індикатора гальванометра від нульового положення (мал.3.2).



1 – зонд; 2 – зразок; 3 – нуль-індикатор; 4 – металева пластина.

Малюнок 3.2 – Принципова схема для визначення типу електропровідності методом гарячого (а) та холодного (б) термозондів

Послідовність виконання роботи

1. Одержати зразки для дослідження.
2. Ввімкнути в мережу джерело живлення і осцилограф.
3. Притисканням зонду до поверхні добитись відхилення стрілки нуль-індикатора або появи на екрані осцилографу ВАХ, що свідчить про наявність в колі випрямляючого контакту.
4. Виміри спочатку виконати з пластинами відомого типу е/п, щоб зафіксувати напрямок струму через нуль-індикатор (Me), а потім з одержаними зразками.
5. Вимкнути прилади з мережі.
6. Результати оформити у вигляді таблиці. Картини ВАХ, одержаних на екрані осцилографа, замалювати та пояснити.

Зміст звіту

Звіт повинен містити тему та мету роботи, стислі теоретичні відомості, схеми вимірювальних установок, результати вимірів у вигляді таблиць і графіків, аналіз одержаних результатів та висновки.

Контрольні питання

1. Пояснити залежність провідності домішкового н/п від температури.
2. Назвати та пояснити фізичні принципи інших методів визначення типу е/п.
3. Пояснити можливості використання випрямляючої дії метал-напівпровідник.

Лабораторна робота №2

Виявлення дефектних р-п-переходів на основі дослідження їх ВАХ

Мета роботи: вивчити метод дослідження якості р-п-переходу за виглядом ВАХ

Теоретичні відомості

Дослідження ВАХ електронно-діркових переходів діодів та транзисторів дозволяє одержати більший об'єм інформації про якість р-п-переходів. Форма ВАХ, абсолютне значення струмів і напруги залежать від багатьох фізичних і технологічних факторів, що визначають параметри р-п-переходів. Умови проходження струму через р-п-перехід – прикладання до нього прямої або зворотньої напруги зміщення. При прямому зміщенні р-п-переходу через нього проходить струм, викликаний інжекцією носіїв заряду, концентрація яких вища за їх рівноважне значення, при зворотньому зміщенні – струм, викликаний екстракцією неосновних носіїв заряду. Струми через р-п-перехід можуть бути дифузійними, дрейфовими, генераційними, рекомбінаційними. Рекомбінаційний струм прямозміщеного р-п-переходу:

$$I_{np} = \frac{1}{2} q \left(\frac{n_i}{t_0} \right) W A \exp \left(\frac{q U_{np}}{2KT} \right) ,$$

де q – заряд елемента;

n_i – власна концентрація носія заряду;

t_0 – ефективний час життя носія заряду в області р-п-переходу;

W – ширина області р-п-переходу;

A – площа р-п-переходу;

U_{np} – напруга зміщення р-п-переходу;

K – постійна Больцмана;

T – абсолютна температура.

Генераційний струм через зворотньо-зміщений р-п-перехід при кімнатній температурі:

$$I_{зс} = \frac{1}{2} q \left(\frac{n_i}{t_0} \right) WA,$$

причому

$$t_0 = \frac{G_n \exp \frac{E_t - E_i}{KT} + G_p \exp \frac{E_i - E_t}{KT}}{2G_p G_n V_{th} N_t},$$

де G_n та G_p – перетин захоплення відповідно для електронів та дірок;

V_{th} – теплова швидкість зарядів;

N_t – концентрація домішок.

ВАХ реального (бездефектного) переходу показано на мал.3.3.

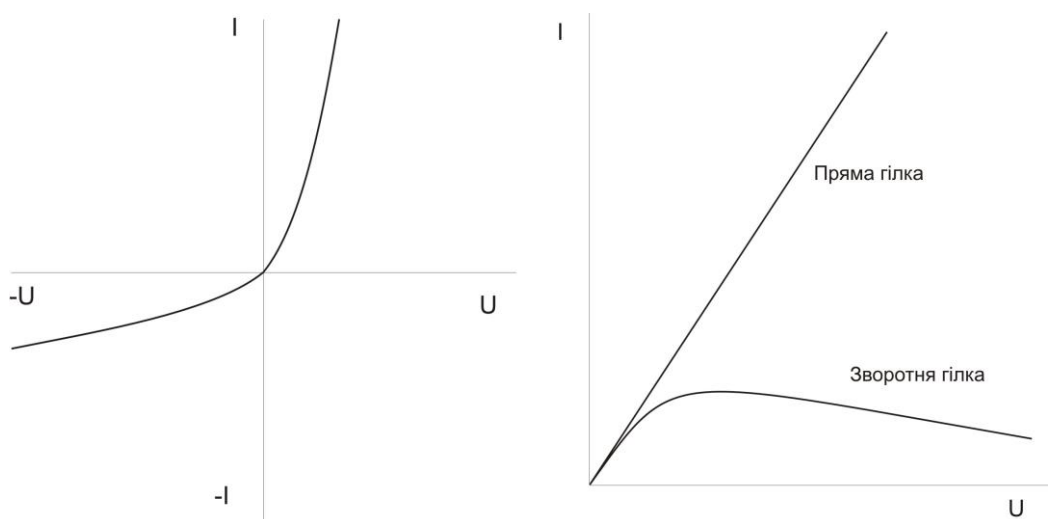
Генерація та рекомбінація носіїв в області просторового заряду протікають через глибокі енергетичні рівні, що розташовуються у забороненій зоні; присутність цих рівнів помітно змінюють ВАХ р-n-переходу. Вплив дислокацій на енергетичні властивості р-n-переходу можуть проявлятися двояко.

По-перше, дислокації можуть служити центрами рекомбінації, тому що присутність полів пружних напружень навколо дислокацій може призвести до появи рівнів у забороненій зоні. Наявність рекомбінаційних центрів у збідненій області р-n-переходу буде проявлятися у збільшенні генераційних струмів через зворотньо-зміщений р-n-перехід. По-друге, дислокації впливають на властивості р-n-переходу за рахунок акумуляції домішки на дислокаціях або навколо них, так як дислокації, завдяки своїм пружним полям, можуть акумулювати домішки. Керована дислокація, що перетинає р-n-перехід, буде призводити до виникнення високої густини генераційно-рекомбінаційних центрів в області просторового заряду р-n-переходу. Це призводить до збільшення генераційних струмів в області просторового заряду при зворотньому зміщенні р-n-переходу. На малюнку 3.4 показана серія ВАХ діодів з різною густиною дислокацій в межах збідненої області р-n-переходу. Видно, що струми витоку збільшуються із зростанням густини дислокацій.

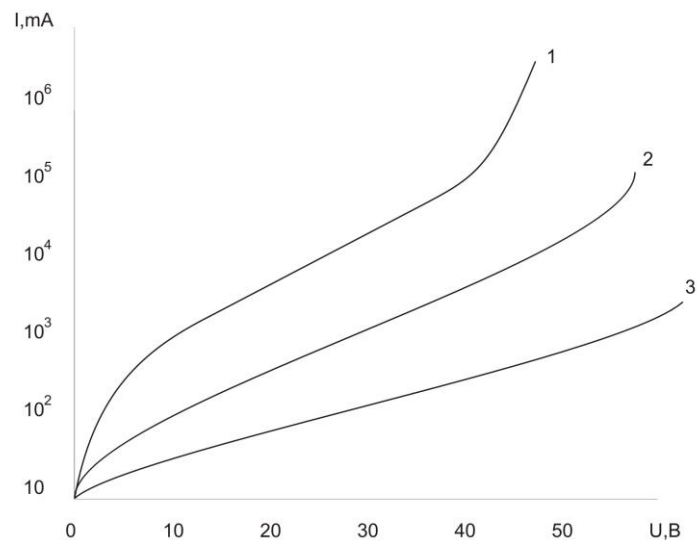
Помітний вплив на властивості р-n-переходу мають мікронеоднорідності питомого опору – страти. В загальному випадку важко провести різницю між

впливом мікродефектів і тих модифікацій, в які вони перетворюються під дією технологічних обробок. Електричні властивості приладів залежать також від місця розташування дефектів – по поверхні кристалу, в об’ємі напівпровідника, або в збідненій області р-п-переходу. Свірл-дефекти, як і страти, спостерігаються в області підсиленої рекомбінації носіїв заряду. Це призводить до зростання струму витоку. ВАХ, показані на малюнку 3.5, свідчать про помітну різницю струмів витоку діодів з різним змістом дефектів.

Вплив дефектів упаковки на ВАХ можна детально дослідити, комбінуючи виміри ВАХ із скануючою електричною мікроскопією. Такі дослідження показали, що дефекти упаковки викликають виникнення генераційно-рекомбінаційних центрів в області об’ємного заряду р-п-переходу приладу. На малюнку 3.6 зображені ВАХ трьох діодів з різним вмістом дефектів упаковки. Зворотній струм через діод збільшується. Дослідження показують, що, чим менші розміри упаковки, тим більша оточуюча його зона генераційно-рекомбінаційних центрів в області просторового заряду переходу. Це викликано місцем розташування таких дефектів – поблизу дефектів переходу. При цьому дефекти упаковки, що перетинають поверхню кристалу, порівняно легко акумулюють домішки, завдяки близькості часткових дислокацій, якими обмежений дефект упаковки, на поверхні.



Малюнок 3.3 – ВАХ бездефектного р-п-переходу (два способи зображення)

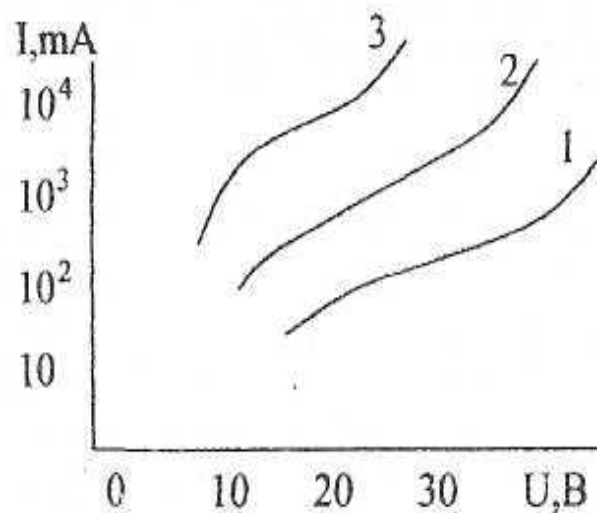


1 – щільність дислокацій = $2 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$

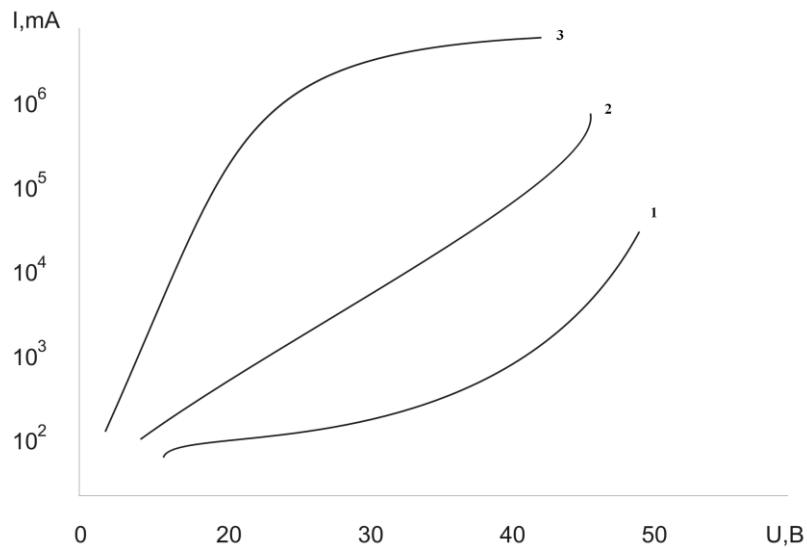
2 – щільність дислокацій = $4 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$

3 - щільність дислокацій = $6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-3}$

Малюнок 3.4 – Вигляд залежності ВАХ при зворотньому зміщенні р- n-переходу від щільності дислокацій

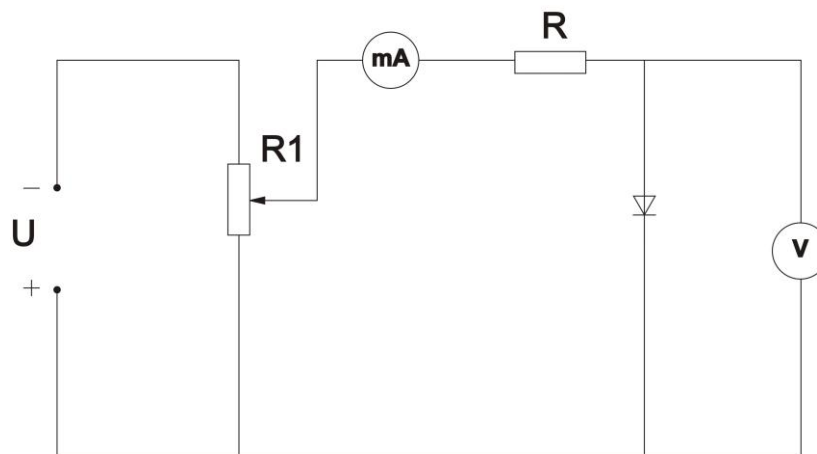


Малюнок 3.5 – Вигляд залежності ВАХ при зворотньому зміщенні р- n-переходу від щільності мікродефектів (N_g)



Ng.y.3 (крива 3) > Ng.y.2 (крива 2) > Ng.y.1 (крива 1)

Малюнок 3.6 – Вигляд залежності ВАХ при зворотньому зміщенні р- n-переходу від щільності упаковки



R_1 – потенціометр, R – обмежувальний резистор.

Малюнок 3.7 – Схема для дослідження ВАХ діоду

Дефекти мають сильний вплив на р-п-переходи.

Механізми впливу можуть бути різними:

- пряма взаємодія дефекту і р-п-переходу за рахунок впливу поля напружень, яке існує біля дефекту;

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

- локальне порушення планарності дефектів р-п-переходів;
- локальне гальмування дифузійного фронту, що викликає різні локальні порушення зворотніх струмів;
- локалізація домішок на дефекті або в його зоні;
- кристалографічні дефекти стимулюють також значне зниження напруги пробою р-п-переходу. Неоднорідний пробій може призводити до різноманітних дефектів:
 - «Пом'якшення» зворотньої гілки ВАХ за рахунок збільшення струмів витoku;
 - Великих флуктуацій амплітуди струму у передпробивний період;
 - Появлення свічення в окремих точках р-п-переходу (мікроплазмова емісія).

Порядок виконання роботи

1. Вивчити інструкцію до вимірювального обладнання.
2. Одержати зразки діодів з різними дефектами р-п-переходів.
3. Зібрати схему, що зображена на мал.3.7, перевірити надійність з'єднань окремих елементів.
4. Ручку потенціометра вивести в ліве положення, що відповідає мінімальному значенню напруги, яке подається на діод.
5. Підключити до схеми джерело постійної напруги.
6. Зняти ВАХ діодів в заданих діапазонах напруги.
7. За результатами вимірювань ВАХ різних діодів визначити діоди з дефектними р-п-переходами.

Зміст звіту

Звіт про лабораторну роботу повинен містити стислі теоретичні відомості про методику виявлення дефектних переходів, схему експериментальної установки. У висновках необхідно пояснити одержані ВАХ та ув'язати вид ВАХ окремих діодів з процесами, що протікають у р-п-переходах.

Контрольні питання

1. Пояснити процеси, що протікають у р-п-переході при прикладанні до нього прямого та зворотнього зміщення.
2. Визначити вплив структурних дефектів на хід ВАХ р-п-переходів.
3. Охарактеризувати основні параметри, що визначають напругу р-п-переходу.

Лабораторна робота № 3

Вимірювання поверхневого і питомого опору шарів напівпровідника

Мета роботи : ознайомитися з методикою вимірювання поверхневого і питомого опорів і устаткуванням для проведення вимірювання.

Теоретичні відомості

На сьогодні відомі різні методи вимірювання поверхневого $R_{\text{пов}}$ і питомого ρ опорів. По взаємодії вимірюваних зразків і засобів вимірювання ці методи можна поділити на безконтактні і контактні.

Безконтактні методи реалізуються без механічного контакту між вимірюваною пластиною (структурою) і засобом вимірювання. До них відносяться методи вихрових струмів, плазмового резонансу, поглинання НВЧ-енергії, вимірювання коефіцієнта оптичного відбиття і ін.

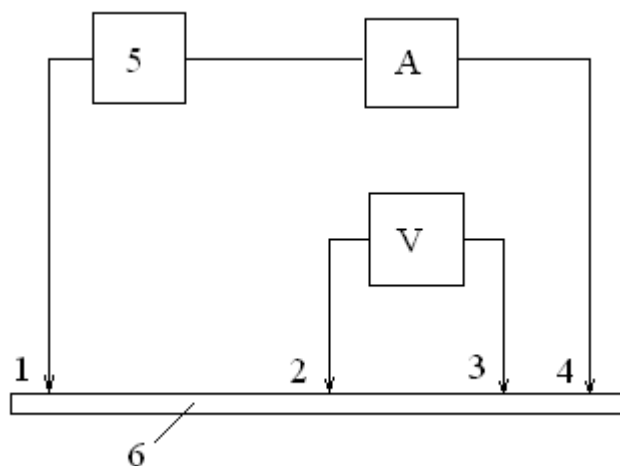
Контактні методи реалізуються подачею електричного сигналу і визначенням, у відповідь, реакції пластини (структури) за допомогою голкоподібних зондів. До них відносяться: чотирьохзондовий, трьохзондовий, двохзондовий методи і метод опору розтіканню.

Опис експериментальної установки

Вимірювання проводиться за допомогою чотирьохзондової установки. Схема вимірювання показана на мал. 3.8.

Схема включає кремнієву структуру, чотирьохзондову голівку, джерело постійного стабілізованого струму, міліамперметр, вольтметр з високоомним входом.

При вимірюванні похибка виміру визначається типом вимірюваної структури і товщиною d і складає 4...10% для товщини 0,5...2,5 мкм.



1-4 - зонди; 5 - джерело струму; 6 – пластина

Малюнок 3.8- Схема вимірювання поверхневого і питомого опорів чотирьохзондовим методом

Порядок виконання роботи

1. Зібрати вимірювальну установку згідно з мал. 3.8.
2. За допомогою джерела струму амперметром А встановити струм в ланцюги струмових зондів 1-4, рекомендовані значення якого для епітаксійних шарів наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1-Рекомендовані значення струму для епітаксійних шарів з різними значеннями $R_{пов}$

| | | | | | | | |
|-----------------------|------------|------------|--------------------|-----------|----------|----------|---------|
| $R_{пов},$ кОм / □ | 0,01-0,03 | 0,03-0,1 | 0,1-0,3 | 0,3-1 | 1-3 | 3-10 | 10-30 |
| I, мкА | $\ll 10^5$ | $\ll 10^4$ | $\ll 4 \cdot 10^3$ | $\ll 400$ | $\ll 70$ | $\ll 10$ | $\ll 5$ |

3. Вольтметром V виміряти напругу між зондами 2 і 3 при двох протилежних напрямках струму. Відповідно набути значення U_{23} і U_{32}
4. Обчислити середнє значення напруги

$$U_{cp} = (U_{23} + U_{32}) / 2$$

4. Визначити поверхневий опір

$$R_{nos} = kU_{cp} / I ,$$

де k - коефіцієнт, що визначається взаємним розташуванням зондів ($k = 9,06$ - при розташуванні зондів у вершинах квадрату і $k = 4,53$ - при розташуванні зондів в лінію).

6. Обчислити питомий опір, Ом·см:

$$\rho = R_{nos}d ,$$

де d - товщина структури.

7. Оцінити похибку вимірювань.

Зміст звіту

Звіт про роботу повинен містити назву і мету роботи; короткі теоретичні відомості про методи вимірювання поверхневого і питомого опорів, схеми вимірювань опору чотирьохзондовим методом і принцип дії установки для вимірювання; результати вимірювань напруги між зондами при двох протилежних напрямках струму; схему вимірювань; результати обчислень поверхневого і питомого опорів; критичну оцінку отриманих результатів з урахуванням похибки результатів вимірювань; аналіз і висновки до виконаної роботи.

Контрольні питання

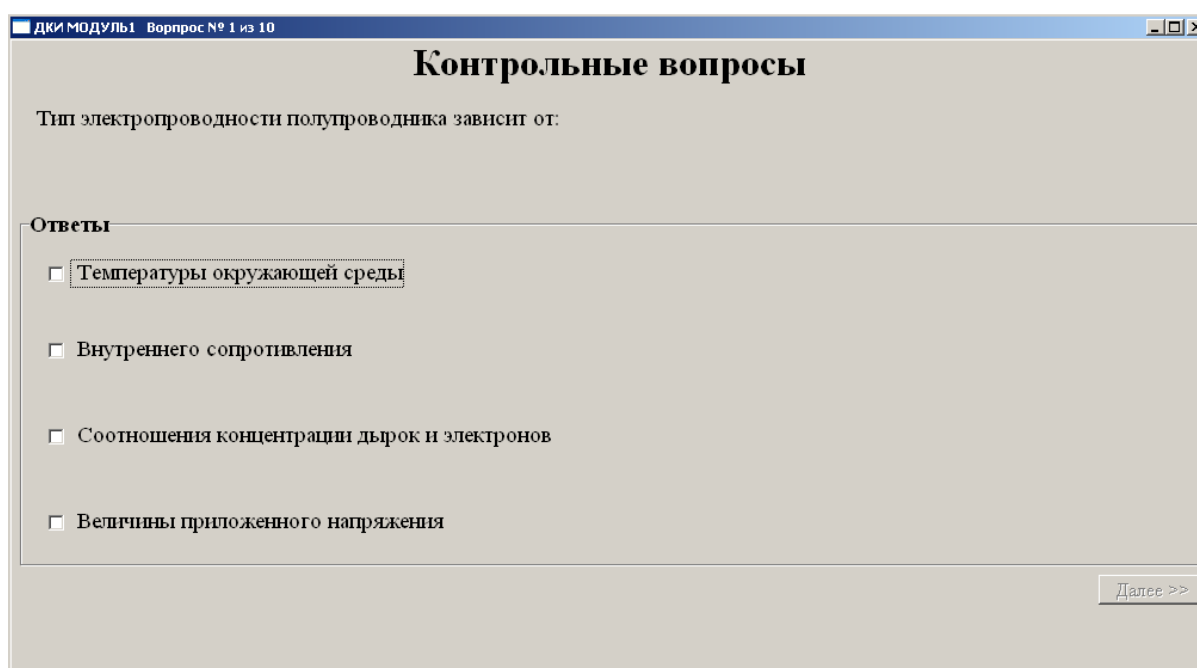
1. Які існують методи вимірювання поверхневого і питомого опорів ?
2. Переваги і недоліки методів вимірювання поверхневого і питомого опорів ?
3. Чим визначається похибка методу?
4. Які заходи застосовуються для зменшення похибки вимірювань ?

Теми самостійної роботи до модуля 1

| № п/п | Тема | Зміст | Обсяг годин | |
|-------|---|---|-------------|---|
| | | | Д | З |
| 1. | Електропровідність напівпровідників | Поняття про електропровідність. Одиниці вимірювання. Типи електропровідності напівпровідників. Методи визначення типу електропровідності. | 3 | 5 |
| 2. | Питання про питомий опір напівпровідників | Методи вимірювання питомого опору напівпровідників. Контактні та безконтактні методи. | 2 | 2 |

Розроблена система тестування, що складається з двох основних програмних модулів. Перший модуль - це програма, яка безпосередньо займається тестуванням, а другий - програма, що допомагає викладачам формувати тести.

Зовнішній вигляд вікна програми, яка проводить тестування, простий і не містить зайвої інформації.



Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

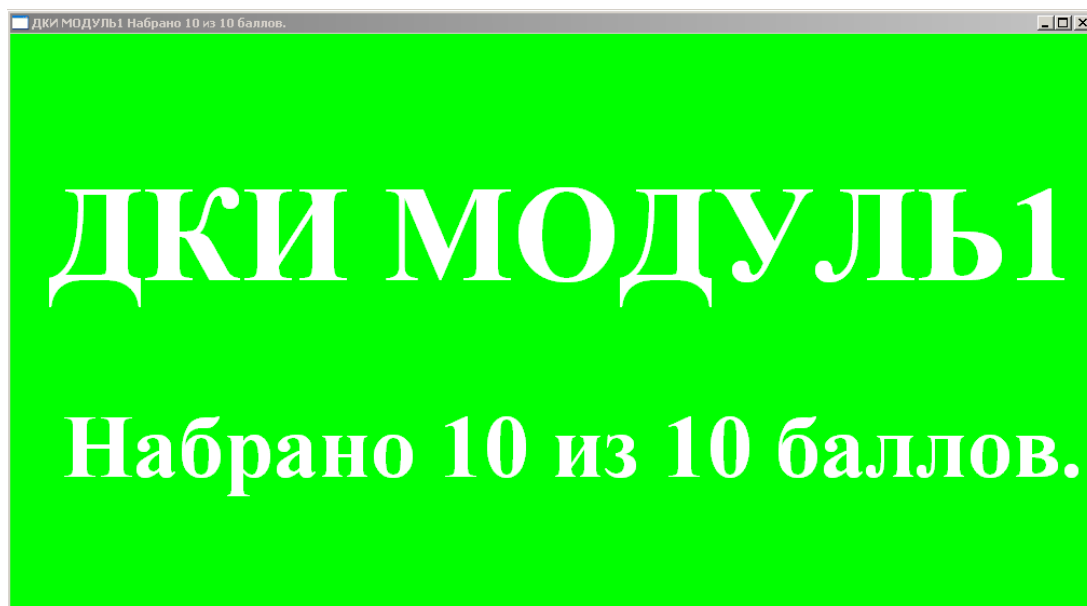
У заголовку вікна показується назва курсу, номер тестованого модуля і питання, що ставиться, і загальне число питань. Нижче висвічується саме питання. У розділі «Відповіді» представлені варіанти відповідей, з яких необхідно вибрати правильний один або декілька відповідей. При виборі варіантів відповіді активізується кнопка «Далі» і проводиться перехід до наступного питання.

Після відповіді на всі питання вікно програми має зелений колір, якщо студент відповів вірно на кількість питань більше, або рівне $K_{\text{ит}} - K_{\text{невір}}$ де,

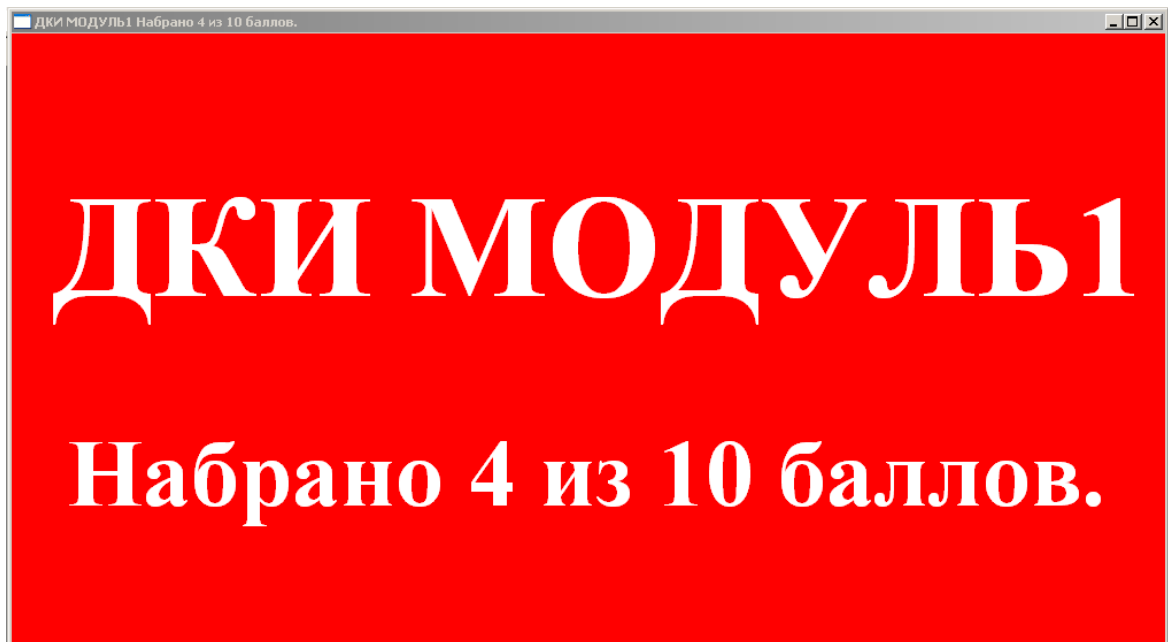
$K_{\text{ит}}$ – кількість питань що були задані

$K_{\text{невір}}$ –кількість невірних відповідей, які допускаються при проходженні тесту.

У вікні відображається кількість набраних студентом балів, система балів, за якими виставляється оцінка і назва курсу.



Якщо кількість набраних студентом балів не задовольняє вищезгаданому критерію, то вікно програми стає червоного кольору. Так само відображається кількість набраних студентом балів, система балів, за якою виставляється оцінка і назва курсу.



Одержані програми володіють дуже надійним і стійким криптографічним захистом.

1. Неможливо запустити одночасно два екземпляри програми тесту. Це досягається за рахунок того, що при запуску програма перевіряє список глобальних змінних Windows на наявність ключового слова, якщо ключове слово не зустрічається, то програма вносить в цей список необхідне ключове слово. При повторному запуску програма перевіряє дане ключове слово і у разі його знаходження повторно не запускається. При завершенні роботи програми ключове слово забирається із списку глобальних змінних Windows і робить можливим новий запуск програми. Для нового запуску програми необхідно закрити попередню копію.
2. Відбувається шифрування основних змінних і значень в оперативній пам'яті комп'ютера. Це робиться для неможливості злому програми за допомогою різноманітних програм зломщиків, скануючих оперативну пам'ять комп'ютера.
3. Файл, що містить програму, зашифрований, що не дозволяє проглянути список питань, які входять до даного тесту.

Перелік питань до тестового контролю 1 модуля

- Пробій, що виникає при підвищенні температури, називається:
 - Тунельний
 - Лавинний
 - Зворотній
 - Немає правильної відповіді

- Електропровідність напівпровідника вимірюється в:
 - [Ом•м]
 - [См]
 - [Кл]
 - [см²/В•с]

- Величина $1-P(t)$ характеризує:
 - Інтенсивність відмов
 - Функцію розподілу відмов
 - Вірогідність виникнення відмов
 - Вірогідність того, що відмова не виникне

- Величина Лямбда(t) характеризує:
 - Інтенсивність відмов
 - Функцію розподілу відмов
 - Вірогідність виникнення відмов
 - Вірогідність того, що відмова не виникне

- Основні види відмови МС:
 - Коротке замикання
 - Обрив
 - Корозія

- Деградація електричних параметрів

- Пробій, що виникає унаслідок ударної іонізації, називається:
 - Тунельний
 - Лавинний
 - Зворотній
 - Немає правильної відповіді

- Напрямок струму у вимірювальному ланцюзі для визначення типу електропровідності визначають за:
 - Міліамперметром
 - Осцилографом
 - Гальванометром
 - Потенціометром

- Середній час безвідмовної роботи не залежить від:
 - Вірогідність того, що не виникне відмова
 - Середньої температури приладу
 - Функції розподілу відмов
 - Інтенсивності відмов

- Якщо в напівпровіднику концентрація дірок більше, ніж концентрація електронів, то напівпровідник називається:
 - Акцепторний
 - Власний
 - Донорний
 - Р-типу

- Відмови діляться на:
 - Раптові і поступові

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

- Умовні і катастрофічні
 - Термічні і електричні
 - Умовні і безумовні

- Пробій, що виникає унаслідок викривлення зон і тунелювання носіїв зарядів через перехід, називається:
 - Тунельний
 - Лавинний
 - Зворотній
 - Немає правильної відповіді

- Для спостереження і контролю дефектів поверхні пластин використовують:
 - Мікрометр
 - Штангенциркуль
 - Мікроскоп
 - Міліамперметр

- Інтенсивність відмов не залежить від:
 - Кількості приладів, що відмовили, протягом часу дельта-t
 - Тривалості інтервалу
 - Кількості працездатних приладів до початку випробувань
 - Немає правильної відповіді

- Напрацювання вимірюється:
 - Числом циклів
 - Числом включень
 - Кількістю відмов
 - Одиницями часу

- Для визначення типу електропровідності за напрямом випрямленого струму використовують:
 - Контакт метал-напівпровідник
 - Контакт діелектрик-напівпровідник
 - Контакт двох напівпровідників
 - Контакт нагрітого зонда з напівпровідником

- Від яких величин не залежить електропровідність:
 - Заряду електрона
 - Концентрації електронів і дірок
 - Прикладеної напруги
 - Рухливості електронів і дірок

- Відмови, що виникають в результаті плавної зміни значень основних параметрів, називаються:
 - Раптові
 - Постійні
 - Поступові
 - Катастрофічні

- Властивість напівпровідникового приладу зберігати працездатність протягом заданого часу без вимушених перерв називається:
 - Безвідмовність
 - Працездатність
 - Напрацювання
 - Прироблення

- Питома електропровідність вимірюється в:
 - [См/м]
 - [См]

- [Ом•м]
- [Ом/м]

- Види пробоїв діода:
 - Тепловий
 - Виробничий
 - Лавинний
 - Зворотній

- Якщо в напівпровіднику концентрація електронів більше, ніж концентрація дірок, то напівпровідник називається:
 - Власний
 - Р- типу
 - n- типу
 - Донорний

- Поверхневий опір вимірюється в:
 - [Ом]
 - [Ом•м]
 - [См]
 - [Ом/м²]

- Крива «ванна відмов» характеризує залежність:
 - Вірогідність виникнення відмови від часу
 - Інтенсивності відмови від часу
 - Вірогідність того, що відмова не виникне від інтенсивності відмов
 - Інтенсивності відмов від кількості виробів в партії

- Для транзистора характерні:
 - Два режими роботи

- Три режими роботи
- Чотири режими роботи
- П'ять режимів роботи

- Величина $f(t)$ характеризує:
 - Інтенсивність відмов
 - Функцію розподілу відмов
 - Вірогідність виникнення відмов
 - Вірогідність того, що відмова не виникне

- Переваги напівпровідникових приладів:
 - Мала вага
 - Великі габаритні розміри
 - Малі габаритні розміри
 - Простота технологічного виконання

- Тип електропровідності напівпровідника залежить від:
 - Температури навколишнього середовища
 - Внутрішнього опору
 - Співвідношення концентрації дірок і електронів
 - Величини прикладеної напруги

- Величина $P(t)$ характеризує:
 - Інтенсивність відмов
 - Функцію розподілу відмов
 - Вірогідність виникнення відмов
 - Вірогідність того, що відмова не виникне

- У завдання системи контролю параметрів напівпровідникових приладів не входить:

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

- Контроль технологічного процесу
 - Відбракування дефектних приладів
 - Відвантаження споживачу
 - Розбраковка на групи з вузьким діапазоном конкретних параметрів
-
- Питомий опір не залежить від:
 - Геометричних розмірів зразка
 - Електропровідності
 - Омічного опору
 - Вологості
-
- Параметри напівпровідникових приладів, від яких залежить працездатність, називаються:
 - Другорядні
 - Допоміжні
 - Основні
 - Значущі
-
- Прилад, для вимірювання діаметру пластини, називається:
 - Сантиметр
 - Міліметр
 - Мікрометр
 - Штангенциркуль
-
- Для вимірювання питомого опору використовують:
 - Безконтактний метод
 - Чотирьохзондовий метод
 - Двохзондовий метод
 - Метод термо -ЕРС

- Для вимірювання непаралельності пластини вимірюють:
 - Товщину пластини в п'яти точках, розташованих по діаметру пластини
 - Товщину пластини на протилежних її краях
 - Товщину пластини з обох її сторін
 - Відстань між реальною поверхнею пластини і прилеглою площиною

- Які з параметрів контролюються:
 - Статичні
 - Теплові
 - Імпульсні
 - Шумові

- Система статичних параметрів діодів не включає:
 - Зворотній струм
 - Пробивну напругу
 - Область відсічення
 - Область насичення

- Яка з величин не відноситься до кількісних показників надійності:
 - Кількість штук
 - Вірогідність відмови
 - Середній час безвідмовної роботи
 - Інтенсивність відмов

- Параметри напівпровідникових приладів, які безпосередньо не впливають на функціонування апаратури, називаються:
 - Другорядні
 - Допоміжні
 - Основні
 - Значущі

- Відмови, що виникають в результаті стрибкоподібної зміни значень одного або декількох основних параметрів, називаються:
 - Раптові
 - Постійні
 - Поступові
 - Катастрофічні

- Електропровідність визначається:
 - По напрямку випрямленого струму
 - По вигляду ВАХ
 - По методу Хола
 - По значенню термо-ЕРС

- Прилад, для вимірювання товщини пластин, називається:
 - Сантиметр
 - Міліметр
 - Мікрометр
 - Штангенциркуль

- Залежність інтенсивності відмов від часу має:
 - Три характерні ділянки
 - Дві характерні ділянки
 - Чотири характерні ділянки
 - Немає правильної відповіді

- Поверхневий опір не залежить від:
 - Сили струму
 - Напруги
 - Розташування зондів
 - Величини термо-ЕРС

- Причини короткого замикання:
 - Обрив
 - Пробій
 - Наявність провідних частинок
 - Немає правильної відповіді
- Для визначення питомого опору чотирьохзондовим методом необхідно виміряти:
 - Напругу і діаметр пластини
 - Напругу, струм і товщину пластини
 - Струм і клиноподібність пластини
 - Напругу і струм
- Система статичних параметрів транзисторів не включає:
 - Зворотній струм
 - Пробивну напругу
 - Область відсічення
 - Область насичення
- Для визначення електропровідності за напрямом термо-ЕРС використовують:
 - Контакт метал-напівпровідник
 - Контакт діелектрик-напівпровідник
 - Контакт двох напівпровідників
 - Контакт нагрітого зонда з напівпровідником
- Питомий опір вимірюється в:
 - [Ом]
 - [Ом•м]
 - [Ом/м]
 - [См]
- Ділянка АБ на залежності інтенсивності відмов від часу називається:

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

- Переробкою приладу
- Напрацюванням приладу
- Періодом нормальної роботи
- Приробленням приладу
- Для вимірювання клиноподібності пластини вимірюють:
 - Товщину пластини в п'яти точках, розташованих по діаметру пластини
 - Товщину пластини на протилежних її краях
 - Товщину пластини з обох її сторін
 - Відстань між реальною поверхнею пластини і прилеглою площиною

| № | Найменування типів занять, тем занять та їх зміст | Кількість годин | ТЗН ТЗК | Форма контролю | Література |
|---|--|-----------------|------------|------------------|------------|
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
| Модуль 2. Випробування напівпровідникових приладів на надійність. Контроль статичних, динамічних параметрів та функціональний контроль (4-6 тиждень) | | | | | |
| Мета модуля: вивчення видів випробувань напівпровідникових приладів, мікросхем та контроль їх параметрів. | | | | | |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
| 1. | Лекція 4-5. Види випробувань. Випробування ІМС при виготовленні та випробування готової ІМС | 2 | ІМ | | КЛ |
| 2. | Лекція 6. Вимірювання статичних, динамічних параметрів та функціональний контроль | 4 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ |
| 3. | Лабораторна робота 1. Методи контролю та дослідження якості поверхні напівпровідникових пластин | 4 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ, [2] |
| 4. | Лабораторна робота 2. Випробування мікросхем за категорією П4 | 4 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ, [2] |
| 5. | Лабораторна робота 3. Вимірювання статичних параметрів ІМС | 4 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ, [2] |
| Загальна кількість аудиторних годин модуля 2 | | 18 | | | |
| Кількість годин на самостійну роботу студентів | | 5/7 | | | |

Тема IV Випробування напівпровідникових приладів на надійність

4.1 Види випробувань на надійність

Надійність електронних пристроїв значною мірою залежить від надійності напівпровідникових елементів. Оскільки умови експлуатації стали жорсткішими, підвищилися вимоги до працездатності напівпровідникових елементів.

Основним засобом забезпечення високонадійної роботи напівпровідникових приладів є ретельно продумана конструкція і технологія, розрахована на забезпечення тривалої (10-15 років) роботи напівпровідникових приладів в широкому діапазоні механічних (удари, постійні прискорення, вібрації) і кліматичних (тиск, температура вологість) навантажень.

Крім того, необхідний найжорсткіший контроль за дотриманням технології.

Проте прилади можуть мати дефекти, чітко виражені, які легко забракувати на якому-небудь з етапів технологічного процесу або приховані дефекти, які можна виявити тільки за допомогою спеціальних засобів.

Так, наприклад, негерметичність приладів можна перевіряти, поміщаючи їх на тривалий термін в камеру вологи, опускаючи в гаряче масло, за допомогою ацетону, гелієвого течешукувача і т.п. Погані контакти і металеві частинки, що випадково потрапили в корпус приладу, виявляються, піддаючи прилад вібрації від струму. Короткочасно виникаючі обриви і КЗ фіксують за допомогою спеціальних тригерних схем.

Погану напайку кристала на кристалоутримувач і, виникаючий при цьому локальний перегрів кристала, можна виявити, використовуючи спеціальні інфрачервоні мікроскопи.

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

Деякі дефекти можна виявити, якщо піддати прилади поперемінній дії високих і низьких температур (термоциклування), ударним і вібраційним навантаженням, роботі під струмом при високих рівнях потужності.

Всі ці заходи носять технологічний характер, але не відносяться до категорії випробувань, хоча проводяться на тому устаткуванні і по тій же методиці.

У завдання випробувань входять не забезпечення, а контроль рівня якості. Випробування проводять після закінчення технологічного циклу на готовій продукції.

Випробування підрозділяють на руйнуючі і неруюнуючі.

Під руйнуючими розуміють такі випробування, які використовують значну частоту ресурсів працездатності приладу.

Неруюнуючі випробування практично не використовують ресурси працездатності і не пов'язані з можливістю внесення прихованих дефектів.

Неруюнуючим випробуванням можуть бути піддані всі 100 % виготовлених приладів, проте частіше вибірка, взята від усієї партії.

Руюнуючі випробування проводять тільки вибірково і прилади, піддані таким випробуванням відвантаженню споживачу не підлягають.

Основні види випробувань напівпровідникових приладів наступні:

а) зовнішній вигляд – якість забарвлення, маркировка, лудіння виводів; відповідність креслення за габаритними розмірами;

б) міцність виводів на вигини, обрив, кручення;

в) якість скляних ізоляторів;

г) корозійна стійкість елементів корпусу і виводів;

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

д) паяємість виводів;

е) герметичність корпусу;

ж) відповідність електричних параметрів нормам ТУ (високі і низькі температури);

з) удароміцність і віброміцність;

и) вібростійкість;

к) термоциклування (здатність витримувати перепади температур);

л) відсутність короточасних обривів або КЗ в конструкції приладу;

м) безвідмовність і довговічність;

н) здатність зберігати свої властивості при тривалому зберіганні;

о) стійкість до особливих видів дії (морський туман, цвілеві грибки, радіація, робота в умовах вакууму, стійкість до спиртобензинової суміші).

Випробування діляться на 4 категорії:

1. Випробування, яким повинні піддавати кожен партію - приймально - здавальні, вони:

а) не повинні бути тривалими;

б) повинні розповсюджуватися на найважливіші властивості приладів.

У цю категорію входять, головним чином, перевірка зовнішнього вигляду, електричних параметрів і деякі механічні і кліматичні випробування.

2. Періодичні випробування, до яких входять механічні і кліматичні випробування. Їх проводять на вибірці, що накопичується з різних партій, виготовлених за контрольований період.
3. Випробування, які, звичайно, проводять для нової конструкції приладу, що серійно випускається, називаються кваліфікаційні. До них відносяться випробування на механічну міцність виводів, на відсутність механічних резонансів елементів конструкції.
4. Випробування за спеціальною програмою на тривале зберігання і тривалі (5000-10000 год) стендові випробування приладів.

4.2 Випробування ІМС при виготовленні

Існує два основні методи контролю виробництва інтегральних мікросхем:

1. Візуальний контроль.
2. Контроль за допомогою тестових структур.

Метод візуального контролю відіграє важливу роль у виробництві ІМС. Він включає огляд схем під оптичним мікроскопом і використання різних засобів візуалізації – спостереження, термографії і ін.

Нарешті, один з основних методів контролю параметрів ІМС на різних технологічних етапах - це застосування тестових структур.

4.2.1 Візуальний контроль

Істотні дані про стан пластини можна одержати візуальною перевіркою за допомогою мікроскопа з великим збільшенням — від 80^{\times} до 400^{\times} . При цьому виявляються такі показники, як стан поверхні, надмірне або недостатнє травлення, зміна товщини окисного шару, правильність переходу і ін.

Одним з найбільш небезпечних дефектів є пористість окисного шару, що легко виявляється при візуальній перевірці схеми під мікроскопом. Це - невеликі отвори в окисному шарі, викликані або пилом при нанесенні фоторезисту, або пошкодженням фотошаблону. Якщо цей дефект опиниться в критичній точці, то подальша дифузія домішки може викликати коротке замикання переходу і вихід з ладу всієї мікросхеми.

Одним з ефективних методів візуалізації є використання скануючого електронного мікроскопа, що дозволяє спостерігати топографічний і електричний рельєф інтегральної мікросхеми. Це спостереження забезпечує не руйнуючий характер контролю. Для спостереження необхідно, щоб поверхня мікросхеми була відкритою. Різка зміна потенціалу на поверхні викликає зміну контрасту зображення, що формується вторинними електронами, і свідчить про розімкнений електричний ланцюг або про перегріті ділянки. Цим методом можна легко виявити забруднення переходу, частинки пилу, проколи в окисному шарі і подряпини на тонкому шарі металізації. Нормальний градієнт потенціалу в резисторі можна спостерігати у вигляді рівномірної зміни кольору від темного, на одному кінці резистора, до світлого на другому його кінці, при цьому підкладка має вищу напругу зсуву, як це, звичайно, буває в інтегральних мікросхемах. При цьому зображення резистора буде рельєфним. Про виявлення ряду таких зображень інтегральних компонентів, що відповідних нормі, можна судити на підставі порівняння їх з еталонами та встановити причини, що викликали їх. Збільшення енергії електронів в промені дозволяє проникати в поверхневий шар для виявлення таких дефектів, як тріщини.

Для вимірювання термічних профілів з виявленням перегрітих ділянок розроблено інфрачервоний скануючий мікроскоп. Мікроскоп включає ІЧ - детектор з високою роздільною здатністю, об'єднаний з прецизійним скануючим і записуючим пристроями. Чутливим елементом є пластина антимоніду індію, підтримувана при температурі рідкого азоту. Таку апаратуру, використовують для оцінки якості конструкції даної мікросхеми відносно розсіяння тепла і потужності. Термоскануючий прилад має наступні переваги: висока дозволяюча здатність - близько $1 \cdot 10^{10}$ мм, висока чутливість до зміни температури - порядку 2°C , широ-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

кий температурний діапазон - від 30 до декількох сотень градусів, висока швидкість спрацювання - одиниці мкс, не руйнує і безконтактне вимірювання.

У планарних структурах на поверхні схеми добре видно гарячі ділянки, що виникають в результаті наявності проколів в оксиді і дифузійних каналів в напівпровіднику. Відхилення від норми виявляють шляхом порівняння з нормально функціонуючими стандартами ІМС. Останнім часом широке застосування отримали термографічні системи, засновані на використанні термочутливих фарб. Плівки з термочутливих фарб, зокрема рідких кристалів, нанесені на поверхню інтегральної мікросхеми, поставленої під навантаження, забарвлюються в різні кольори, що дозволяє, спостерігаючи ІМС під мікроскопом, фіксувати зміну температури з точністю до 0.5°C .

4.2.2 Тестові інтегральні мікросхеми

Наявність в інтегральних мікросхемах великої кількості конструктивних елементів - декілька сотень і тисяч перетинів провідників, переходів з шару на шар, областей і виведень активних і пасивних компонентів, контактних майданчиків, практично виключає 100%-ий контроль всіх елементів по електричним параметрам із-за високої трудомісткості цієї операції. В цей же час необхідність такого контролю, особливо на етапі відпрацювання і вдосконалення технології, очевидна.

Для контролю електричних характеристик структур і якості проведення технологічних операцій використовують спеціально виготовлені або розміщені на робочій підкладці структури, звані тестовими мікросхемами. Основний принцип їх побудови полягає в тому, що тестова мікросхема, по відношенню до реальної, повинна бути виготовлена по тому ж технологічному маршруту, містити всі конструктивні елементи в різних поєднаннях, забезпечувати зручність їх контролю під час випробувань та оцінку якості технологічного процесу. Зручність контролю досягається послідовним або паралельним включенням в електричний ланцюг елементів мікросхеми. Тестові мікросхеми складаються з набору декількох сотень однотипних елементів-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

діодів, транзисторів, резисторів, переходів з шару на шар, перетинів провідників і ін. з контактними площадками такою комутацією, яка дозволяє, при потребі, змінити кожен елемент схеми окремо або проконтролювати відразу групу елементів. Наприклад, тестова схема резистора є послідовною схемою, що містить 200 елементів, між якими є контактні площадки. Якщо в реальній ІМС зустрічаються високоомні і низькоомні резистори, то роблять дві різні тестові мікросхеми, що відображають специфіку кожного типу резисторів. Аналогічний підхід використовується для тестових мікросхем транзисторів і діодів.

Разом з тестовими мікросхемами контроль окремих компонентів, в першу чергу діодів і транзисторів, проводиться за допомогою тестових кристалів. Тестовий кристал містить набір ізольованих елементів, що зустрічаються в інтегральній мікросхемі (мал.4.1). Його розміри близькі до розміру чіпа і на пластині розташовано тестових кристалів стільки ж, скільки розміщується інтегральних мікросхем.

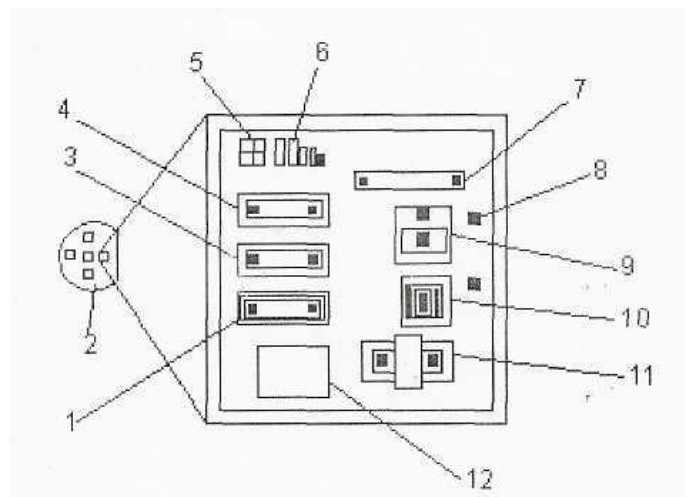
Застосування тестових мікросхем і кристалів дозволяє організувати ефективний технологічний контроль виробництва ІМС і скоротити трудомісткість при проведенні випробувань на надійність ВІС, особливо на етапі відпрацювання технології.

З підвищенням функціональної складності інтегральних мікросхем різко зростає трудомісткість і складність операцій контролю їх параметрів. Практично неможливо перевірити інтегральну мікросхему без автоматизованих контрольно-вимірювальних систем.

До основних видів контрольних випробувань інтегральних мікросхем відносяться:

- Параметричний контроль
- Функціональний контроль
- Діагностичний контроль

Доцільність і ефективність застосування різних видів контролю залежить головним чином від складності і ступеню інтеграції мікросхем, типу логічних елементів і цілей контрольних випробувань.



1 - опір емітера; 2 - пластина зі схемами; 3 - опір бази після дифузії емітера; 4 - опір бази; 5 - знак для поєднання; 6 - знаки для визначення роздільної здатності; 7 - епітаксійний опір; 8 - підкладка; 9 - діод великої площі; 10 - транзистор; 11 - ширина бази; 12 - товщина окисного шару.

Малюнок 4.1 - Тестовий кристал з контрольними елементами

4.2.3 Параметричний контроль

Використовується для мікросхем з малою інтеграцією і включає вимірювання основних параметрів на постійному струмі. Крім того, даний вигляд передбачає проведення перевірки правильності виконання нескладних логічних функцій, що одночасно проводиться з послідовним вимірюванням вихідних електричних сигналів після подачі на входи інтегральної схеми певної комбінації сигналів струму або напруги, що калібруються.

Слід зазначити, що ефективність параметричного виду контролю, з погляду оцінки працездатності мікросхеми в цілому, з підвищенням ступеню інтеграції зменшується, а вимірювання деяких процесів, таких, як час наростання і спаду сигналу, стає недоцільним.

4.2.4 Функціональний контроль

Використовується для перевірки інтегральних схем з високим ступенем інтеграції і включає проведення статистичних і динамічних вимірювань на базі контрольної тестової таблиці, складеної, наприклад, за допомогою ЕОМ з урахуванням мінімізації кількості вхідних кодових комбінацій. Функціональний контроль дозволяє проводити перевірку великих інтегральних мікросхем в умовах, близьких до експлуатаційних.

4.2.5 Діагностичний контроль

Найбільш ефективний діагностичний контроль при проведенні випробувань гібридних інтегральних мікросхем, в яких принципово можлива заміна несправних елементів, розташованих на загальній підкладці.

Складність і різноманітність програми функціонального і діагностичного контролю інтегральних мікросхем вимагають обов'язкового використання ЦОМ і спеціальних автоматизованих систем. Автоматизовані системи, які використовуються для контролю інтегральних мікросхем, характеризуються наступними основними параметрами: продуктивністю, максимальним числом виводів, максимальним числом розрядів кодової комбінації, що видається однією командою за один цикл управління, числом контрольних постів в системі, з якими можлива одночасна робота, складом і універсальністю програмного забезпечення, можливістю виконання параметричного контролю.

Принцип роботи автоматизованої системи функціонального контролю інтегральних мікросхем із застосуванням ЦОМ полягає в наступному.

По команді від ЦОМ в лічильник адреси пам'яті записується початкова адреса вхідних тестових комбінацій, а в регістр адреси контрольованої тестової комбінації - відповідна адреса. На компаратор подається від ЦОМ очікувана комбінація вхідних сигналів. Декілька розрядів пристрою вхідних тестових комбінацій, що запам'ятовуються, виділено для зберігання певного числа циклів тактового генератора. Протягом періоду зберігання на вхідні виведення інтегральної схеми повинна подаватися одна і та ж тестова комбінація. Число циклів в зворотньому коді перепишується в лічильник повторень тестових комбінацій, на рахунковий вхід якого поступають тактові імпульси. При його заповненні збільшується вміст лічильника адреси пам'яті і опитується запам'ятовуючий пристрій вхідних тестів за новою адресою. При рівності адреси лічильника пам'яті і регістра контрольованої комбінації припиняється подача тактових імпульсів, компаратор стробується за часом, фіксуючи вхідні імпульси останньої тестової комбінації.

Шляхом запису в регістр адреси контрольованої комбінації різних адрес перевіряється інтегральна мікросхема з динамічною логікою на всіх тестових комбінаціях. Окрім вказаних елементів, система включає схему порівняння, схему видачі вхідних дій і вентиль.

Найбільш ефективними методами контролю якості з'єднань є випробування на механічну міцність і металографічний аналіз.

4.2.6 Перевірка механічної міцності з'єднань

Для перевірки механічної міцності з'єднань існує багато пристосувань і установок, а також способів випробувань. Наприклад, при випробуванні на зріз структуру з приєднаними виводами піддають розтягуванню силою, що діє паралельно поверхні підкладки. Якщо міцність з'єднання складає менше 70% міцності застосованої проволочки, з'єднання вважається якісним. Випробування з'єднань на відрив викону-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

ється шляхом багатократних вигинів виводів під кутом 30°, 45° і 90° щодо поверхні підкладки.

Міцність клейових з'єднань визначають випробуваннями на розрив. Міцність клейового з'єднання на розрив повинна бути не менше $(125...150) \cdot 10^5 \text{Н/м}^2$.

4.2.7 Металографічний аналіз

Металографічний аналіз полягає в обстеженні поперечних або косих шліфів і дозволяє виявити їх внутрішню структуру і виявляти не змочені при паянні ділянки, проплавлення, мікротріщини, раковини, пори, інтерметалеві включення, сліди дифузії припою по межах зерен.

4.2.8 Рентгенівська дефектоскопія

Рентгенівська дефектоскопія за допомогою пучка, що розходитьься, дозволяє виявляти внутрішні дефекти і дає достатню інформацію про надійність з'єднань. На відміну від металографічного аналізу цей метод не руйнуючий.

4.2.9 Контроль деталей після холодного штампування

Контроль деталей після холодного штампування виконується візуальним оглядом. Основні види браку після холодної, штампування і їх причини наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 - Брак при холодному штампуванні

| Вид браку | Причина |
|---------------------|-------------------------------------|
| Темний колір деталі | Погане обезжирювання і відпал |
| Ломкість матеріалу | Неправильний відпал заготовки |
| | Неправильний зазор матриця-пуансон, |

| | |
|--|--|
| Задирки | Погана центрівка, погана заточка ріжучих кромek пуансона і матриці |
| Подряпини, поздовжні риси | Забруднення смуги, недостатня поліровка витяжного штампу матриць і пуансонів |
| Обрив країв деталі, виникнення складок | Слабкий прижим матеріалу у витяжному штампі |
| Обрив дна деталі, виникнення тріщин | Дуже великий прижим матеріалу у витяжному штампі |
| Брак за розміром | Помилки в конструкції, в виготовленні, або при ремонті штампу, брак матеріалу по товщині, порушення технологічного процесу |

4.2.10 Розмір деталей

Вимірюють універсальними вимірювальними інструментами: штангенциркулем, мікрометром, індикатором і оптичним приладом - інструментальним мікроскопом.

4.2.11 Площина поверхонь деталей

Площину поверхонь деталей перевіряють методом світлової щілини за допомогою лекальної лінійки. Око людини здатне уловлювати просвіт в 0.003...0.004 мм.

4.2.12 Контроль на герметичність

Контроль на герметичність проводиться двічі: після виготовлення основи корпусу з ізольованими виводами і після герметизації мікросхем. Герметичність спаю виводів з матеріалом основи або герметичність мікросхеми в корпусі характеризу-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

ється швидкістю натікання гелію. Для готових мікросхем за критерій герметичності прийнята швидкість натікання гелію ($\text{см}^3/\text{с}$) при різниці тиску зовні і усередині корпусу 10^5 Па.

4.2.13 Перевірка основ корпусів на герметичність

Перевірка основ корпусів на герметичність виконується за допомогою спеціальних пристосувань, що дозволяють за допомогою вакуумних ущільнень створювати об'єм, замкнутий на контрольовану деталь.

Існує багато методів контролю на герметичність. Найчастіше застосовуються мас-спектрометричний, вакуум рідинний і вологісний методи.

4.2.14 Мас-спектрометричний метод

Мас-спектрометричний метод заснований на індикації атомів гелію, що витікають через, наявні в окремих вузлах або загерметизованих корпусах, течі. Застосування гелію для виявлення течі пояснюється тим, що він є найрухомішим газом і володіє високою проникаючою здатністю. Гелій вводиться в корпус мікросхеми при герметизації або шляхом тривалої витримки вже загерметизованих мікросхем в спеціальних герметичних камерах—бомбах, заповнених, після попереднього відкачування, гелієм до тиску $(3...5) \cdot 10^5$ Па. За час витримки (3...48 год) у бомбі в корпуси мікросхем, що мають течу, проникає гелій. Мікросхеми витягують з бомби і поміщають в стакан установки, наприклад, напівавтомата УКГМ-2 з трипозиційною каруселлю. Поворотом каруселі стакан переходить в нову позицію, ущільнюється і відкачується. Після відкачування об'єм стакана автоматично перемикається на течешукач, який перетворить витік гелію в електричний сигнал. Якщо сигнал перевищує встановлене значення, ІМС бракується.

Мас-спектрометричний метод відрізняється високою чутливістю. До недоліків відносяться: низька продуктивність (100...200 шт/год), складність обслуговування установок.

4.2.15 Вакуум рідинний метод

В основу вакуум рідинного методу покладено реєстрацію бульбашок повітря, що виходять через течу корпусу в рідину, над якою створюють тиск близько 10... 15 Па. Рідина-керосин або уайт-спірит заздалегідь вакуумують, тобто витримують протягом години при тиску 700 Па і при температурі 70...120°C. Мікросхеми занурюють в рідину. Якщо в корпусі є течя, то за рахунок різниці тиску всередині і поза корпусом газ виходитиме назовні у вигляді дрібних бульбашок. Таким чином, при візуальному спостереженні виявляється місце течі. Метод простий, оперативний, продуктивніший - до 700шт/год, але менш чутливий і тому дозволяє виявляти тільки грубу течу. Метод застосовується як попередній для обробки корпусів з великою течею перед остаточним контролем мас-спектрометричним методом .

4.2.16 Компресійно-термічний метод

Компресійно-термічний метод різновид попереднього методу. Корпуси опускаються в нагріте зневоднене силіконове масло. Нагрів до 200° С підвищує чутливість методу.

4.2.17 Вологісний метод

Вологісний метод контролю найбільш простий, надійний і дозволяє одночасно контролювати, окрім герметичності, стійкість покриттів корпусів до дії підвищеної вологості.

Мікросхеми витримують в камерах тепла і вологи протягом декількох діб в умовах підвищеної вологості (95...98%) при температурі 40 °С. Критерієм забра-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

кування є погіршення електричних параметрів унаслідок проникнення вологи в корпуси. Проте в камерах тепла і вологи відбраковуються ІМС тільки з грубою течєю. Крім того, камера не дозволяє оперативно виявляти негерметичність ІМС з добре захищеними структурами. Проникнення вологи в корпус таких ІМС виявляється значно пізніше, коли відбудеться відмова, наприклад, із-за корозії інтерметалевих з'єднань.

4.3 Випробування готової ІМС

Готова ІМС повинна виконувати запроектовані електричні функції перетворення і обробки інформації. Реальне застосування ІМС має на увазі роботу її під дією різних зовнішніх чинників. Для визначення якості і надійності ІМС- їх випробовують. Вважається, що ІМС витримала випробування, якщо після випробувань її зовнішній вигляд і електричні параметри відповідають вимогам технічної документації.

Різноманітні види випробувань об'єднують в категорії, які характеризуються організаційними ознаками їх проведення: рівнем (державні, міжвідомчі), етапами розробки (попередні, приймальні), видами випробувань готової продукції (кваліфікаційні, приймально – здавальні, періодичні, типові і т.п.).

Документом, що визначає категорії і види випробувань, а також послідовність їх проведення, є ТУ на конкретний типономінал ІМС (ІМС, що має конкретне функціональне призначення та умовне позначення).

Т.ч. виготовленій ІМС вимогами ТУ вводиться система контролю якості. У зв'язку з цим на даному етапі створення ІМС розрізняють два види контролю їх якості: виробничий контроль і контроль готової ІМС.

Виробничий контроль є складовою частиною типового технологічного процесу і зводиться до визначення двох його складових: явних дефектів, що характеризують відсоток виходу годних виробів, і прихованих дефектів, що характеризують ви-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів
робничу надійність. В цьому випадку контроль може носити як пасивний, так і активний діагностуючий характер.

Діагностуючий контроль дає інформацію про природу дефектів, що дозволяє вносити необхідні корективи у виробництво.

Пасивний контроль реєструє тільки факт існування дефекту за принципом “годний – не годний”, не розкриваючи механізму дефектів. При контролі якості за наявністю дефектів пасивний контроль зводиться до сортування. Сортування здійснюється шляхом розділення виробів або напівфабрикатів на групи чи за принципом 100 % -го відсіву “годний – не годний”.

Контроль готових ІМС є останньою контрольно – вимірювальною операцією в типовому технологічному процесі. Крім того, її застосовують при практичному використанні ІМС (перед установкою в апаратуру) або при дослідженнях ІМС (при випробуваннях в процесі аналізу відмов). Виробничий контроль параметрів виготовлених структур розділяють на наступні види: вхідний, післяопераційний (міжопераційний) і фінішний.

Вхідний контроль матеріалів, напівфабрикатів та допоміжних виробів, що поступають на дану операцію, - це контроль якості напівпровідникових матеріалів, металів, органічних і неорганічних продуктів, діелектриків, деталей корпусу, фотошаблонів і масок і ін., а також дискретних компонентів, що поступають на збірку гібридних ІМС.

Післяопераційний контроль здійснюють з метою визначення оцінки якості операції. Сюди відносяться операції контролю якості напівпровідникових приладів і плівкових структур, одержаних після різних операцій, зокрема, якості очищення, тривалого нарощування, окислення, дифузії, металізації, напилення, фотолітографії, розділення, монтажу і ін. Післяопераційний контроль проводять після виконання або в ході технологічної операції, причому контрольованими об'єктами є як виготовлені структури, так і технологічні режими та середовища.

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів

Фінішний контроль параметрів виробів проводять після закінчення певного етапу виготовлення ІМС. Сюди відносять контроль пасивної частини гібридної ІМС, комутаційної плати гібридних ВІС, контроль напівпровідникових ІМС на функціонування на неподіленій пластині і т.д. На завершальному етапі виготовлення ІМС фінішний контроль співпадає з контролем якості готових ІМС.

Контроль якості готових ІМС здійснюють шляхом вимірювання електричних параметрів, що характеризують функціональну відповідність мікросхеми. Проводять також вимірювання за нормальних умов навколишнього середовища або в режимах, що імітують умови експлуатації. Контроль якості здійснюють шляхом вимірювання параметрів безпосередньо самих виробів або параметрів спеціально призначених для цих цілей елементів – тестових структур.

Тема V Контроль статичних, динамічних параметрів та функціональний контроль

5.1 Вимірювання статичних параметрів

Вимірювання статичних параметрів - це вимірювання електричної величини (струму або напруги) в сталому режимі, яке проводять через певний час після завершення перехідних процесів в ІМС. Вимірюється усереднене значення параметра. Необхідно понизити вплив вимірювальних засобів на похибку вимірювань. Так, при вимірюванні напруги вхідний опір засобу вимірювання повинний у багато разів перевищувати вихідну напругу вимірюваного ланцюга. Аналогічно формуються вимоги до вимірювача струму, джерела струму, напруги і т.п. Якщо зменшити їх вплив не вдається, то враховують вплив метрологічних характеристик вимірювальних засобів на похибку вимірювання (похибка не більше 5%). Вимірювання статичних параметрів забезпечує перевірку струму споживання, вхідних струмів і навантажувальної здатності виходів ІМС, тобто параметрів, що є критеріями працездатності ІМС та її сполучення з іншими схемами.

Практично вимірювання статичних параметрів ІМС проводять при подачі на схему імпульсно – поступальних сигналів.

5.2 Вимірювання динамічних параметрів

При цьому виді вимірювань обробці підлягає час. Звичайно це час, протягом якого вихідний сигнал досягає певного заданого рівня щодо проходження вхідним або вихідним сигналом іншого певного рівня.

Динамічний параметр – це час перехідного процесу сигналу, обмеженого певними рівнями, тому підсумкова похибка вимірювання динамічних параметрів скла-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова, А.О.Ніконова. Діагностика, контроль та випробування н/п приладів дається з похибки завдання рівня та похибки вимірювання часу і, відповідно до НТД, не повинна перевищувати 10%.

На етапі перших вимірювань відносно повільних ЦІМС, з успіхом застосовувалося осцилографування вхідного і вихідного сигналів. Надалі зі збільшенням швидкодії і зростанням об'єму виробництва, були розроблені пристрої вимірювання, в яких використовувалися стробоскопічні перетворювачі, що дозволило знизити похибку вимірювання до долей наносекунд при похибці завданого рівня 10-20 мВ. Але вся ця техніка виявилася безсилою при контролі ВІС, оскільки при стробоскопічному методі сигнали повинні періодично повторюватися, що складно здійснити для ВІС з послідовною логікою, для повноти перевірки якої потрібен дуже великий час.

При контролі сучасних швидкодіючих АІМС стробоскопічні перетворювачі також знайшли своє застосування. Звичайно в цьому випадку було потрібно підвищення роздільної здатності по рівню до 100-200 мкВ, щоб можна було вимірювати і контролювати час встановлення вихідного сигналу.

5.3 Контроль ЦІМС малого ступеня інтеграції

Рівень функціональної складності для них відповідає наступним правилам:

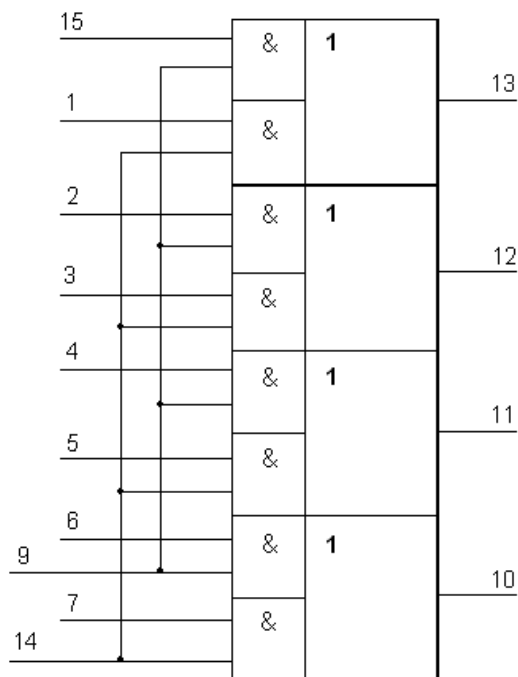
- 1) поєднанню вихідних сигналів в сталому режимі відповідає однозначний стан вихідних сигналів не залежно від їх попереднього стану вихідних сигналів.
- 2) вказана відповідність вихідних сигналів вхідним формується через деякий час після вимірювання вхідних сигналів, який називається часом розповсюдження сигналу.
- 3) вказана відповідність вихідних сигналів вхідним за умови перебору всіх комбінацій останніх означає придатність ЦІМС у всіх можливих її станах.

Відповідно, щоб перевірити функції перетворення і обробки ЦІМС, необхідно перебрати всі комбінації вхідних сигналів. Комбінації вхідних сигналів і відповідні їм вхідні стани утворюють таблицю істинності. Її перевіряють при подачі на входи сигналів у формі прямокутних імпульсів, вимірюванням часу затримки розповсюдження вихідних сигналів, яке не повинно перевищувати певного значення. Вимірювана ЦІМС повинна сприймати вхідні сигнали і формувати вихідні сигнали відповідно до вимог щодо вхідних та вихідних електричних характеристик і струму споживання. Перевірка повинна проводитися при гранично допустимих значеннях електричних величин, що впливають на працездатність схеми (напруга джерела живлення, граничного навантаження виводів і т.п.).

Наприклад мікросхема 564ЛС2

I. Функціональне призначення: чотири логічні елементи І-АБО (И-ИЛИ)

II.



Таблиця істинності

| Входи | | | | | | | | | | Виходи | | | |
|-------|---|---|---|---|---|----|---|---|----|--------|----|----|----|
| 6 | 7 | 4 | 5 | 2 | 3 | 15 | 1 | 9 | 14 | 10 | 11 | 12 | 13 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

III. Електричні параметри

1. Струм споживання в статичному режимі, мкА:

$$\text{при } U_{дж} = 5\text{В} \leq 5$$

$$U_{дж} = 10\text{В} \leq 10$$

2. Струм логічного «0» сигналу вхідної інформації, мкА:

$$\text{при } U_{\text{дж}} = 10 \text{ В} \leq 0,05$$

3. Струм логічної «1» сигналу вхідної інформації, мкА:

$$\text{при } U_{\text{дж}} = 10 \text{ В} \leq 0,05$$

4. Напряга логічного «0» сигналу вихідної інформації, В:

$$\text{при } U_{\text{дж}} = 5,10 \text{ В} \leq 0,01$$

5. Напряга логічної «1» сигналу вихідної інформації, В:

$$\text{при } U_{\text{дж}} = 5 \text{ В} \geq 4,99$$

$$U_{\text{дж}} = 10 \text{ В} \geq 9,99$$

6. Струм логічного «0» сигналу вихідної інформації, мА:

$$\text{при } U_{\text{дж}} = 5 \text{ В}, \quad U_{\text{вих}} = 0,5 \text{ В} \geq 0,45 \geq 0,45$$

$$U_{\text{дж}} = 10 \text{ В}, \quad U_{\text{вих}} = 0,5 \text{ В} \geq 0,75$$

7. Струм логічної «1» сигналу вихідної інформації, мА:

$$\text{при } U_{\text{дж}} = 5 \text{ В}, \quad U_{\text{вих}} = 0,5 \text{ В} \geq 0,25 \geq 0,25$$

$$U_{\text{дж}} = 10 \text{ В}, \quad U_{\text{вих}} = 0,5 \text{ В} \geq 0,7$$

8. Час затримки розповсюдження сигналу при включенні і виключенні, нс:

$$\text{при } U_{\text{дж}} = 5 \text{ В}, \quad C_n = 50 \text{ пФ} \geq 320$$

$$U_{\text{дж}} = 10 \text{ В}, \quad C_n = 50 \text{ пФ} \geq 130$$

9. Вихідна ємність при $U_{дж} = 10$ В, пФ:

на виводах 9 і 14 ≤ 12

на виводах 1-7, 15 ≤ 8

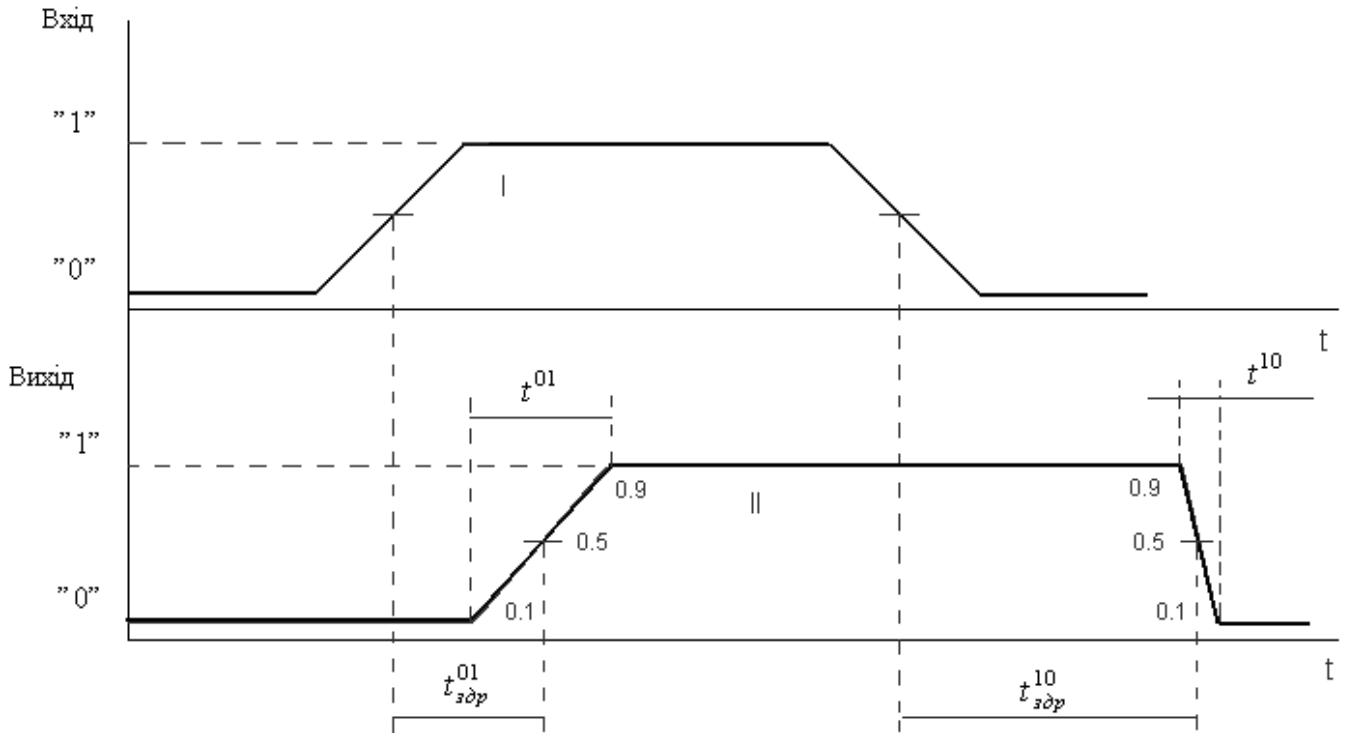
10. Напруга джерела живлення, В 3-15

Перевірка таблиці істинності і вимірювання граничних електричних параметрів повинні дати інформацію про придатність до вимірювання ЦІМС 564ЛС2.

Практично контроль зводиться до формування всіх 16 поєднань вхідних сигналів і контролю вихідних сигналів. При кожному поєднанні вхідних сигналів слід перевіряти струм споживання. Далі контролюють статичні параметри (пп. 2-7). При цьому необхідно перевірити всі вхідні і вихідні виводи. В даному випадку всі статичні параметри, за винятком параметрів 4 і 5, контролюють шляхом подачі на виведення ЦІМС заданої напруги і вимірювання струму, що проходить через ланцюг джерела напруги – вивід.

Статичні параметри п. 4-5 визначають шляхом вимірювання різниці напруги між виводами і однією з шин живлення.

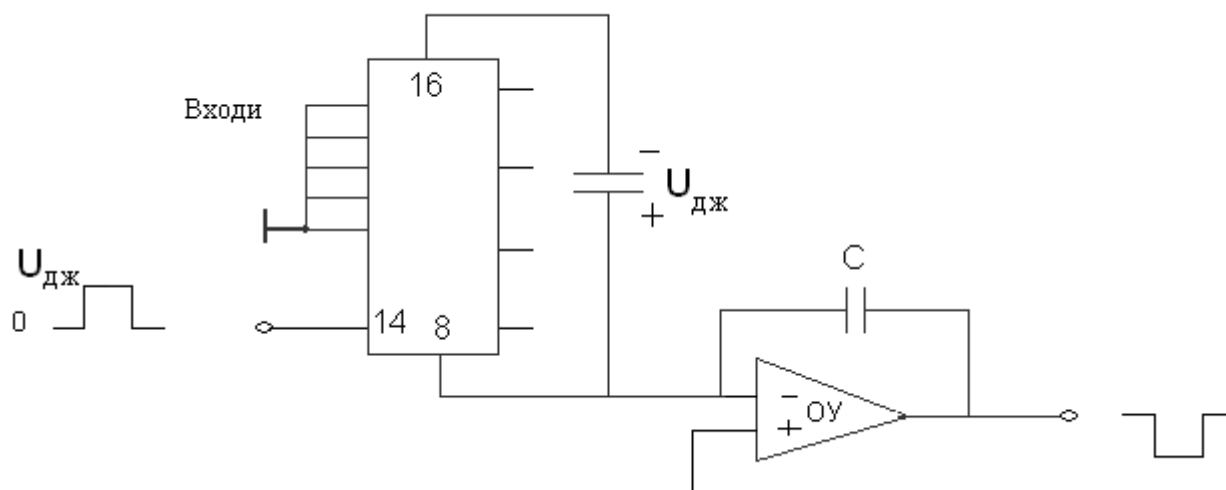
Параметр п. 8 є динамічним і його перевіряють шляхом формування переходів від однієї комбінації вхідних сигналів до іншої (наприклад, від позиції 5 таблиці істинності до позиції 6 і назад) і вимірюванні часу від моменту зміни сигналів на входах до моменту зміни сигналів на виходах, тобто між моментами перетину сигналами певних рівнів.



Малюнок 5.1-Епюри напруги на вхідному виводі 14 (I) і вихідних виводах 10-12 (II).

При переході від позиції 5 до позиції 6 таблиці істинності вимірюється час затримки розповсюдження сигналу при включенні $t_{здр}^{10}$. При зворотньому переході від позиції 6 до позиції 5 таблиці істинності вимірюється час затримки розповсюдження сигналу при включенні $t_{здр}^{01}$. У КМОН-ІС моментом переходу сигналу від логічного "0" до логічної "1", і навпаки, вважається проходження середнього значення, яке дорівнює половині напруги живлення (мал..5.1).

Параметр п. 9 перевіряють подачею на вхід періодичного прямокутного імпульсу, який не приводить до зміни сигналів на виході. Живлення схеми здійснюють від ізольованого джерела живлення, наприклад, від зарядженого конденсатора великої ємності (мал.5.2).



Малюнок 5.2-Схема контролю вхідної ємності

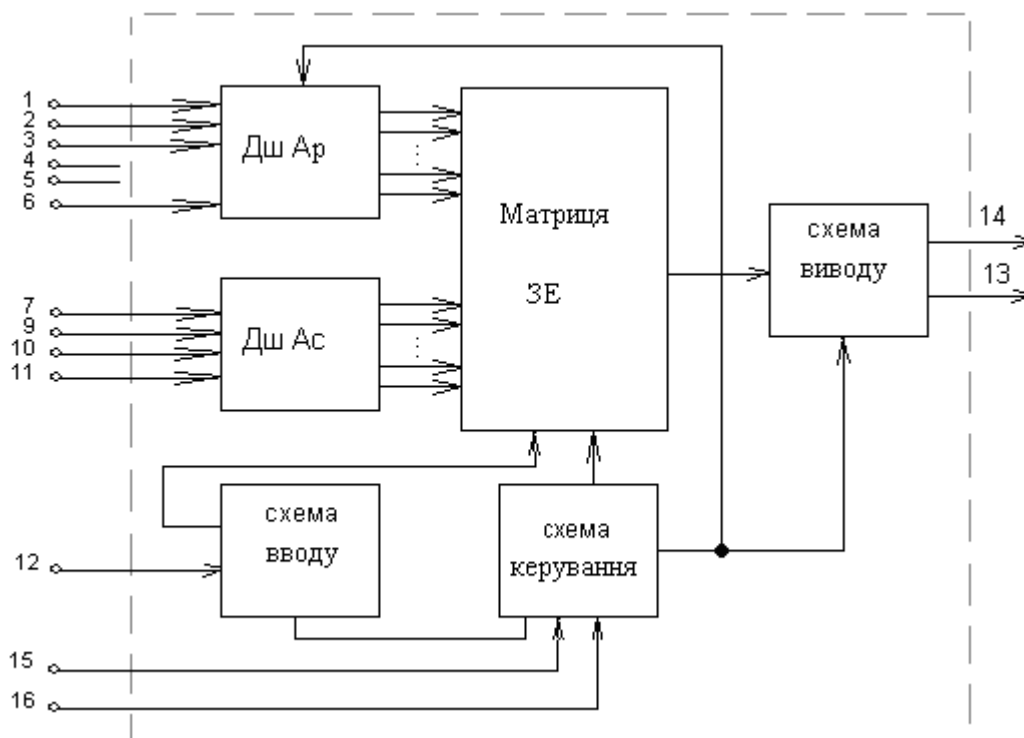
Через вхідну місткість $C_{вх}$ виводу 14 при кожному переході вхідного сигналу від нуля до $U_{дж}$ або від $U_{дж}$ до нуля на вхід ОП проходить заряд, рівний $C_{вх} U_{дж}$ або $-C_{вх} U_{дж}$, викликаючи на виході ОП відповідно зміну напруги на $-U$ або на U , при цьому $U = C_{вх} U_{дж} / C$, звідки $C_{вх} = CU / U_{дж}$. Знаючи C і $U_{дж}$, контролюючи значення U , здійснюють контроль місткості $C_{вх}$.

5.4 Функціональний контроль

Функціональний контроль звичайно суміщають з контролем статичних параметрів.

Його розглянемо на прикладі контролю ОЗП 564РУ2А.

Це статичний ОЗП на 256 однорозрядних слів, реалізований на КМОН-технології і містить близько 1500 елементів (мал.5.3).



Малюнок 5.3- Структурна схема ЦІМС ОЗП 564РУ2А

Звернення до конкретної чарунки забезпечується подачею відповідної комбінації сигналів, яка дешифрується дешифраторами адрес рядків Дш A_p та адреси стовпців Дш A_c . При проведенні операції запису на вивід 15 (запис – Зчитування Зп - Зч) подається рівень логічної "1", на вхід (вивід 12) – інформація, що підлягає запису; через 0,1 мкс, після завершення останньої з перерахованих операцій на виводі 16 (вибір мікросхеми ВМ), формується напруга логічного "0". Після цього на ВМ формується напруга логічної "1" і схема готова до подальших операцій. При проведенні операції зчитування на виводі 15 підтримується напруга логічного "0", після формування адресних сигналів на вивід 16 подається напруга логічного "0"; через час вибірки дозволу на виводі 13 (неінвертований вхід) формується сигнал, відповідний інформації, що зберігається в зчитуваній чарунці, а на виводі 14 – інверсний йому. За відсутності рівня логічного "0" на виводах 15 і 16 (Зп – Зч і ВМ) виводи 13 і 14 (виходи) вимкнені і знаходяться в третьому стані, коли вони не заважають формуванню логічних сигналів інших ІМС.

Параметри ІМС:

- час запису (зчитування), нс

$$\text{при } U_{\text{дж}} = 5 \text{ В} \quad \leq 1500$$

$$U_{\text{дж}} = 10 \text{ В} \quad \leq 650$$

- час вибірки дозволу мікросхеми, нс

$$\text{при } U_{\text{дж}} = 5 \text{ В} \quad \leq 1200$$

$$U_{\text{дж}} = 10 \text{ В} \quad \leq 450$$

Проведений запис в певний елемент пам'яті може, із-за дефектів ІМС, привести до зміни інформації в інших елементах пам'яті. Саме пошук таких дефектів є основним затрудненням при контролі ЦІМС. Для вирішення необхідних завдань при контролі ЦІМС служить функціональний контроль. Для його проведення складають спеціальні алгоритми контролю. Наприклад, алгоритм "біжучого 0" або "біжучої 1". Всі чарунки ОЗП встановлюють в стан логічної "1", що перевіряють читанням всього масиву пам'яті. Далі в першу чарунку записують логічний "0" і тут же з гранично допустимою швидкістю прочитують і контролюють вміст всього масиву пам'яті. Якщо в першій чарунці прочитується логічний "0", а в інших – логічна "1", то далі по алгоритму записують в першу чарунку логічну "1", а в другу – логічний "0", і знову прочитують і контролюють вміст всього масиву пам'яті. Ця процедура зберігається до пробігу логічним "0" останньої чарунки. Якщо зчитана інформація завжди відповідає очікуваній, то вважають, що ЦІМС витримала даний алгоритм, дефектних зв'язків в ній не виявлено, необхідні тимчасові параметри проконтрольовані. Контроль по алгоритму "біжучої 1" аналогічний.

Розроблено декілька десятків нових алгоритмів. Це досить складна і важлива робота. Тут необхідно сумістити якість контролю з продуктивністю (часом контролю).

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ДРУГОГО МОДУЛЯ

Лабораторна робота №4

Методи контролю та дослідження якості поверхні напівпровідникових пластин

Мета роботи: вивчити методи контролю параметрів напівпровідникових пластин

Теоретичні відомості

Якість обробки поверхні напівпровідникової полірованої пластини, що підготовлена до вирощування епітаксійного шару, визначається сукупністю механічних і хімічних операцій обробки пластин, що призначені для зняття пошкодженого в результаті різки зливку шару монокристалічного кремнію. Тріщини, сколи, «сліди різки» (уступи на поверхні пластини, обмежені колами, радіус яких дорівнює радіусу ріжучої кромки), прогин, різна товщина пластин – типові дефекти після операції різки, що усуваються подальшими операціями шліфування і полірування. Одночасно ці операції вносять інші дефекти унаслідок недотримання технологічного режиму. Наприклад, після травлення на поверхні пластини виникають ямки внаслідок використання погано перемішаного травника або травника з підвищеною концентрацією плавикової кислоти. При шліфуванні пластин можуть виникнути подряпини із-за наявності в шліфувальній суспензії великих частинок, сколювання частинок кремнію з країв пластини.

Після фінішного полірування пластини проводять контроль порушеного шару, тобто залишкових поверхневих пошкоджень: явних і неявних рисок, «кластерів». Неявна риска, яку видно тільки при певних кутах падіння світла на пластину, за своєю сутністю є мікроподряпиною, тобто протяжним поглибленням на поверхні. Явну риску, або макроподряпину, видно незалежно від кута падіння світла на пластину. Мікротріщини є розривами - цілісності матеріалу, що починаються біля поверхні і закінчуються в об'ємі пластини. «Кластери»- це виділення другої фази, що утворюється в процесі фінішного полірування і спостерігається у вигляді матовості, розташованої на кільцях або рівномірно по пластині.

Контроль вказаних дефектів полірованих пластин, здійснюваний за допомогою мікроскопів, супроводжується руйнуванням (пошкодженням) частини пластини, оскільки необхідне короткочасне селективне травлення. Виявлення дефектів за допомогою селективного травлення полягає в тому, що в спеціальних травниках дефектну поверхню травлять з більшою швидкістю, ніж іншу (бездефектну). Вид фігур травлення дефектів полірованих пластин залежить від орієнтації поверхні пластин і складу травника. Виділення другої фази після селективного травлення спостерігається у вигляді горбиків.

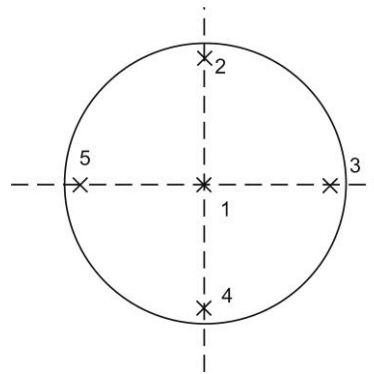
Чистота поверхні полірованої пластини залежить від забруднення її залишками абразивних та клейких матеріалів, мінеральними жирами та органічними включеннями, що вносяться оператором і устаткуванням, та відмиваючими засобами (кислоти, іонізована вода, пензлики). Спостерігаються забруднення у вигляді розводів і плям довільної форми, відбитків пальців, крапок, що світяться.

Застосовуються методи вимірювання діаметра та товщини пластини, довжини базового та додаткового зрізів. Вимірювання розмірів пластин є найпростішим з усіх видів вимірювань, що проводяться при виготовленні ІМС. Розміри напівпровідникових пластин задаються ТД і суворо нормуються для забезпечення сумісності пластин з технологічним устаткуванням, на якому проводяться операції їх обробки. Для встановлення відповідності пластин розмірам, вказаним в ТД, вимірюють діаметр і товщину пластини, довжину базового і додаткового зрізів. Вимірювання здійснюють прямим методом, при якому вимірювана величина порівнюється з її мірою. Як інструмент, використовують штангенциркуль, вимірювальну лінійку та багатооборотний індикатор (мікрометр).

Значний вплив на точність наведення елементів оказують такі параметри, як прогин, непаралельність та неплосинність пластин. Якщо врахувати, що для виробництва великих ІМС використовують пластини великого діаметру і їх параметри погіршуються зі збільшенням діаметру пластини, то стане очевидною значимість їх контролю.

Порядок виконання роботи

1. Розглянути у мікроскоп дефекти поверхні пластин.
2. Визначити розміри дефектів.
3. За допомогою штангенциркуля та мікрометра визначити діаметр та товщину пластини.
4. Визначити клиноподібність пластини, як різницю значень товщини пластини у 2-х точках, що знаходяться на її краях протилежних кінців.
5. Визначити непаралельність пластини, виміривши товщину пластини в 5-ти точках, що розташовані, як показано, на малюнку 5.4. Точки 2-5 розташовані на рівній відстані від точки 1, що знаходиться в центрі.



Малюнок 5.4 – Розташування точок, в яких вимірюється товщина пластини при визначенні непаралельності

Товщину пластини вимірюють мікрометром зі стрілочним відрахунком.

6. Результати обробляють, визначивши різницю товщини пластини в точках 1 і відповідних периферійних точках:

$$\delta_{i-1} = d_i - d_1$$

де δ_{i-1} - різниця між товщиною пластини в i -й точці та в точці 1;

d_i, d_1 – товщини пластини в i -той точці та в точці 1;

i – порядковий номер точки ($i = 2, 3, 4, 5$).

7. Найбільше значення однієї з отриманих різниць i визначає непаралельність.

8. Зробити висновок про проведені дослідження.

Зміст звіту

Звіт повинен включати тему, мету роботи, теоретичні відомості, результати вимірів, розрахунки, висновки.

Контрольні питання

1. Які види дефектів напівпровідникових пластин?
2. Які методи виміру геометричних розмірів напівпровідникових пластин?
3. Які основні вимоги до готових підкладок, що використовуються для виготовлення ІМС?
4. Пояснити, як впливає якість обробки поверхні підкладки на електрофізичні параметри напівпровідникових пристроїв.
5. Дати визначення «непаралельність», «клиноподібність».
6. Яка методика проведення розрахунків?

Лабораторна робота №5

Випробування мікросхем за категорією П4

Мета роботи: провести випробування мікросхеми на якість маркування, наявність дефектів та відповідність геометричним розмірам.

Теоретичні відомості

В процесі виготовлення пасивної частини гібридної ІМС, а також при збірці проводять контроль зовнішнього вигляду. Він є першою операцією міжопераційного та фінішного контролю та проводиться з метою відбракування ІМС, що мають явні дефекти плівок, з'єднань та навісного монтажу. При такому контролі виявляють:

- а) зміщення шарів відносно один одного та краю підкладки;
- б) зміщення малюнку тонкоплівкової мікросхеми;
- в) здуття та відшарування ділянок плівки;
- г) подряпини на плівках;
- д) краплі матеріалу, що випаровуються на поверхні плівок.

Зовнішній вигляд контролюють за допомогою мікроскопу, який збільшує об'єкт від 3,5 до 88 разів, в полі зору від 42 до 2,6 мм. Контролюють наявність подряпин, сколів, розтріскувань ІМС. В результаті такого контролю вдається уникнути непромислової втрати часу на вимірювання електричних параметрів ІМС.

Геометричні розміри контролюють за допомогою універсальних інструментів: штангенциркуля, мікрометра.

Якість маркування перевіряють візуальним методом. Місце нанесення маркування протирають спиртом. Якщо усі цифри та букви залишаються читабельними, то маркування нанесено якісно.

Порядок виконання роботи

1. Замалювати одержані ІМС, записати типономінали .
2. Дослідити зовнішні дефекти ІМС за допомогою мікроскопу.
3. Перевірити якість нанесення маркування.

4. Визначити розміри ІМС за допомогою штангенциркуля, порівняти отримані значення зі стандартними.
5. Данні занести в таблицю. Зробити висновки щодо результатів випробування ІМС за категорією П4.

Зміст звіту

Звіт повинен містити тему та мету роботи, стислі теоретичні відомості, данні щодо отриманих мікросхем, результати вимірів, аналіз одержаних результатів та висновки.

Контрольні питання

1. Дати визначення «випробування», «надійність», «якість».
2. Які категорії випробувань?
3. Які причини відмов ІМС?
4. Яка методика проведення випробувань за категорією П-4?

Лабораторна робота №6

Вимірювання статичних параметрів ІМС

Мета роботи: дослідити статичні параметри логічного елемента 4-І

Теоретичні відомості

Вимірювання статичних параметрів – це вимірювання електричних величин в сталому режимі. Вимірювання статичних параметрів проводять через певний час після завершення перехідного процесу в ІМС. Вимірюється усереднене значення параметру. Необхідно понизити вплив вимірюючих засобів на похибку вимірювання.

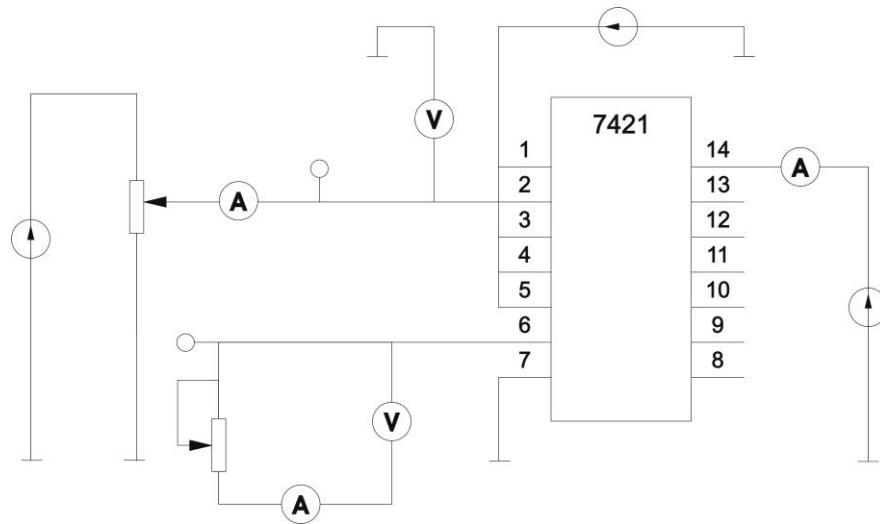
При зміні напруги вхідний опір засобу вимірювання повинен бути в багато разів більший вихідного опору вимірювального ланцюга. Якщо зменшити їх вплив до дуже малого розміру не виходить, то враховують вплив металевих характеристик вимірюючих засобів на похибку виміру (похибка не більше 5%).

Вимірювання статичних параметрів включає перевірку струмів споживання, вхідних струмів, навантажувальної здатності виходів схеми, тобто параметрів, що являються критерієм працездатності ІМС та її сполучення з іншими схемами.

Практично вимірювання статичних параметрів проводять при поданні на схему імпульсних потенційних сигналів.

Порядок виконання роботи

1. Зібрати схему (мал.5.5) для дослідження статичних параметрів.
2. Визначити рівні вхідних логічних сигналів «0» та «1», змінюючи напругу на вході елемента 4-І (кнопка R), опір навантаження встановити рівним 100%.
3. Визначити рівні вихідних логічних сигналів «0» та «1».
4. Виміряти залежність вхідного струму від вхідної напруги (шаг 10%).
5. Побудувати навантажувальну характеристику вихідної напруги та вихідного струму від навантажувального опору вихідною лінією 4-І при сталій на виході логічній «1» (опір навантаження змінюємо Q).



Малюнок 5.4-Схема для вимірювання статичних параметрів

Зміст звіту

Звіт повинен включати тему, мету роботи, схему для вимірювання статичних параметрів, результати вимірів у вигляді таблиці, висновки.

Контрольні питання

1. Які параметри називаються статичними ?
2. Які параметри називають динамічними ?
3. Наведіть приклади статичних та динамічних параметрів ІМС.
4. Як виміряти статичні параметри ІМС ?
5. Який метод використовують для визначення часу затримки ?
6. Як визначити вхідну ємність ІМС ?

Теми самостійної роботи до модуля 2

| № п/п | Тема | Зміст | Обсяг годин | |
|-------|--|---|-------------|---|
| | | | Д | З |
| 1. | Дефекти в напівпровідниках. | Дефекти. Види дефектів. Методи контролю поверхні напівпровідникових пластин. | 2 | 5 |
| 2. | Методи контролю якості напівпровідникових підкладок. | Основні вимоги до готових підкладок, що йдуть на виготовлення ІМС. Метод змочування та трибометричний. Оже-спектроскопія. | 3 | 2 |

Перелік контрольних питань до 2 модуля

- Види випробувань на надійність
- Випробування ІМС при виготовленні
- Візуальний контроль
- Тестові інтегральні мікросхеми
- Параметричний контроль
- Функціональний контроль
- Діагностичний контроль
- Перевірка механічної міцності
- Металографічний аналіз
- Рентгенівська дефектоскопія
- Контроль деталей
- Розмір деталі
- Площина поверхні деталі
- Контроль на герметичність

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

- Перевірка основи корпусу на герметичність
- Мас-спектрометричний контроль
- Вакуум рідинний метод
- Компресійно-термічний метод
- Вологісний метод
- Випробування готової ІМС

- Вимірювання статичних параметрів
- Вимірювання динамічних параметрів
- Контроль ЦІМС малого ступеня інтеграції
- Функціональний контроль

Тематика розрахунково - графічної роботи

Студенти виконують розрахунково-графічну роботу за методичними вказівками до розрахунково-графічної роботи з дисципліни «Діагностика, контроль та випробування напівпровідникових приладів» авторів Небеснюк О.Ю., Ніконова З.А., Ніконова А.О.

Робота містить два типових завдання, та виконується на ПЕОМ. У другому завданні необхідно побудувати гістограму та інтегральний розподіл. Графічні завдання виконуються на листах формату А3.

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

СТАТИСТИЧНІ І ГРАФІЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ І НАДІЙНОСТІ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ПОНЯТТЯ ВИПАДКОВОЇ ПОДІЇ, ВИПАДКОВІ ВЕЛИЧИНИ

Для оволодіння теорією і практикою вивчення надійності напівпровідникових виробів електронної техніки (ВЕТ) - діодів, транзисторів та інтегральних мікросхем (ІС) - необхідно навчитися оперувати з випадковими величинами, тобто величинами, які, в результаті експерименту можуть приймати те або інше значення, причому наперед невідомо, яке саме. Наприклад, випадковими величинами будуть: величина конкретного параметра для тієї або іншої ІС, час роботи виробу від початку експлуатації до його відмови або число відмов від загального числа виробів, поставлених на випробування.

Нехай в результаті експерименту може з'явитися або не з'явитися деяка подія А. В цьому випадку замість події А можна розглядати випадкову величину Х, яка дорівнює 1, якщо подія А відбувається, і дорівнює 0, якщо подія А не відбувається.

Випадкова величина Х називається *характеристикою випадкової величини* події А.

Експеримент з випадковими величинами може зводитися до схеми випадків або схеми рівноможливих результатів. Наприклад, для випадку випадання цифри при киданні монети ("решка") можна підрахувати:

$$\frac{\text{випадок}}{\text{всього випадків}} = \frac{1}{2} .$$

Випадок випадіння парного числа на кубіку можна також підрахувати: $\frac{3}{6} = 1/2$.

У цих ситуаціях вірогідність появи події може бути визначена наперед - до експерименту. Таких випадків зустрічається мало. Переважна більшість завдань теорії надійності не можуть бути зведені до схеми випадків.

Як можна визначити значення вихідної напруги логічного нуля конкретної ІС типу 106ЛБ1 без вимірювання цього значення або визначити вірогідність однієї відмови ІС з 1000 поставлених в апаратуру протягом 500 год безперервної роботи? Кожна ІС має хоч би невеликі конструктивно-технологічні особливості, зв'язані, наприклад, з виготовленням їх різними працівниками, відсутністю ідеальної однорідності матеріалів та ін. За 500 год. може відмовити 1, 2 і більш ІС, а може і не відмовити жодна ІС. Іншими словами, тут експеримент не зводиться до "схеми випадків", оскільки до експерименту нічого не можна сказати про вірогідність події, якщо до цього не було аналогічних випробувань.

В процесі випробувань якихось однотипних виробів з терміном служби вони можуть виходити з ладу. Час відмови для кожного виробу є величина випадкова і теоретично може приймати будь-які значення - від нуля до нескінченності.

Будь-яке співвідношення, що встановлює зв'язок між можливими значеннями випадкових величин і їх вірогідністю, називається *законом розподілу випадкової величини*.

Випадкові величини бувають дискретними (перервними) і безперервними. Наприклад, число відмов - дискретна величина. Час між відмовами - безперервна величина. Простим видом завдання закону випадкової величини є таблиця, наприклад, такого вигляду:

$$\begin{array}{c|c|c|c} x_1 & x_2 & \dots & x_n \\ \hline A_1 & A_2 & \dots & A_n \end{array}$$

Закон розподілу, заданий у вигляді таблиці, одержав назву *ряду розподілу*.

ЧИСЛОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

Найповніша характеристика випадкової величини задається її функцією розподілу, що вказує, які значення і з якою вірогідністю приймає задана величина. Проте, нерідко потрібні деякі більш загальні уявлення про випадкову величину. Для теорії надійності велике значення мають деякі постійні числа, що отримують за певними правилами з функцій розподілу. Серед цих постійних, що служать для загальної кількісної оцінки випадкових величин, для характеристики їх "в цілому" особливе значення мають середнє значення (математичне очікування), дисперсія, середньоквадратичне (стандартне) відхилення, мода і медіана.

Нехай випадкова величина x приймає значення, відповідно з вірогідністю p_1, p_2, \dots, p_n .

Математичним очікуванням випадкової величини (середнім її значенням) називається сума добутків всіх можливих значень випадкової величини на їх вірогідності:

$$M_{[x]} = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \dots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \dots + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i p_i}{1} = \sum_{i=1}^n x_i p_i$$

Для безперервної випадкової величини середнє значення

$$M[x] = \bar{m}_x = \int_0^{\infty} xP(x)dx$$

Якщо випадкова величина x розподілена у відрізьку ab , то

$$M[x] = \int_a^b \frac{xdx}{b-a} = \frac{a+b}{2}.$$

Загальні властивості математичного очікування:

1. Математичне очікування постійної c дорівнює цій же постійній: $M[c] = c$.

2. Постійний множник виноситься за знак математичного очікування: $M[cx] = cM[x]$.

3. Математичне очікування суми будь-яких випадкових величин (як завгодно зв'язаних) дорівнює сумі їх математичних очікувань: $M[x + y] = M[x] + M[y]$.

4.Математичне очікування добутку незалежних випадкових величин дорівнює добутку їх математичних очікувань: $M[xu] = M[x] \cdot M[u]$.

Середнє значення не є випадковою величиною. Воно надає числову характеристику розподілу вірогідності випадкової величини.

Для оцінки розкиду значень випадкової величини навколо її середнього значення використовується декілька числових характеристик, найважливішими з яких є дисперсія і середньоквадратичне (стандартне) відхилення.

Під *центрованою випадковою величиною*, відповідній випадковій величині x , розуміють відхилення випадкової величини від її математичного очікування:

$$x^0 = x - \bar{m}_x = x - \bar{x}$$

Дисперсією випадкової величини називається математичне очікування квадрата відповідної центрованої величини: $D(x) = M\left[\left(x - \bar{m}_x\right)^2\right]$

Нескладні перетворення алгебри і використання сформульованих вище властивостей математичного очікування приводять до рівняння $D(x) = M[x^2] - (M[x])^2$.

Дисперсію можна розглядати як міру розсіяння (розкиданості) значень випадкової величини від її середнього значення. Дисперсія має наступні властивості:

1. Дисперсія постійної величини дорівнює нулю: $D(c) = 0$.

2.Постійний множник виходить за знак дисперсії в квадраті: $D(cx) = c^2 D(x)$.

Дисперсія суми попарно незалежних випадкових величин дорівнює сумі дисперсій добутоків:

$$D\left[\sum_{k=1}^n x_k\right] = \sum_{k=1}^n D(x_k).$$

Середньоквадратичне (стандартне) відхилення випадкової величини дорівнює позитивному значенню кореня квадратного з математичного очікування квадрата відхилення випадкової величини від її математичного очікування:

$$\sigma(x) = +\sqrt{D(x)} = +\sqrt{M\left[\left(x - \bar{m}_x\right)^2\right]}$$

Окрім математичного очікування (середнього значення), положення випадкової величини на числовій осі визначається ще такими характеристиками розсіяння, як найменше (мінімальне) і найбільше (максимальне) значення, мода та медіана випадкової величини, квантилі.

Моду (M_o) випадкової величини називають її найбільше вірогідне значення. Моду безперервного розподілу, що має щільність $F(x)$, називається абсциса x , при якій $P(x)$ досягає максимуму. Розподіл може бути одномодальним, двух- і більш модальним і антимодальним.

Мода випадкової величини може бути визначена з рівняння $\frac{dF(x)}{dx} = 0$ за умови, що $\frac{d^2F(x)}{dx^2} < 0$, де $F(x)$ - функція розподілу випадкової величини x .

Якщо екстремум функції $F(x)$ існує, але є мінімумом, тобто $\frac{d^2F(x)}{dx^2} > 0$, такий розподіл називається антимодальним.

Значення випадкової величини можуть бути впорядковані в наростаючій або зменшувальній послідовності. Значення випадкової величини, яке ділить впорядкований ряд на дві однакові частини, називається *медіаною*.

Медіаною (M_e) випадкової величини x називається таке її значення, для якого $R(x \langle M_e) = R(x \rangle M_e)$ або $\int_0^{M_e} F(x) dx = 0,5$.

Різниця між максимальним і мінімальним значенням випадкової величини називається *розмахом* діапазону розсіяння: $R = X_{\max} - X_{\min}$.

P-квантилем (x_p) називається значення випадкової величини, що задовольняє рівнянню $P(x \leq x_p) = F(x_p) = P, 0 \langle P \langle 1$.

Спеціальні квантилі:

$X_{0,25}$ і $X_{0,75}$ - кuartілі;

$X_{0,50}$ - медіана;

$X_{0,10}, X_{0,20} \dots, X_{0,90}$ - децилі;

$X_{0,01}, X_{0,02} \dots, X_{0,99}$ -процентілі.

ЗАВДАННЯ 1

Проводилися дослідження впливу відбраковуєчих випробувань циклічної зміни температур і тривалої температурної дії на міцність клейового з'єднання кристал - корпус інтегральних схем типу 106ЛБ1. Посадка кристалів площею 1,2 мм² в корпус типу 401.14-3 здійснювалася на клей ВК-32-200. Одержані дані представлені в таблиці 1

Таблиця 1 - Результати випробувань

| Значення руйнуючого зусилля , МПа | | | |
|-----------------------------------|--|------------------------------------|--|
| Перед герметизацією ІС (I) | Після відбраковуєчих випробувань (II) | Після 100 термоциклів (III) | Після термотренування протягом 1000 год при T=125°C (IV) |
| 1,1 | 2,1 | 3,3 | 4,0 |
| 1,8 | 3,0 | 2,0 | 3,5 |
| 1,9 | 2,0 | 2,3 | 3,1 |
| 0,8 | 1,5 | 3,0 | 2,6 |
| 1,8 | 1,0 | 1,9 | 3,1 |
| 2,0 | 2,6 | 3,5 | 3,3 |
| 0,7 | 2,0 | 1,8 | 2,3 |
| 0,9 | 3,0 | 2,0 | 3,0 |
| 0,7 | 3,9 | 2,0 | 4,1 |
| 1,4 | 2,9 | 3,6 | 3,6 |
| 0,6 | 2,9 | 2,3 | 3,7 |
| 0,8 | 2,0 | 1,6 | 3,9 |
| 1,1 | 3,7 | 3,1 | 4,4 |
| 0,9 | 1,9 | 1,4 | 3,2 |
| 1,3 | 2,4 | 3,3 | 3,2 |
| 1,6 | 1,8 | 3,0 | 4,0 |

| | | | |
|-----|-----|-----|-----|
| 1,3 | 2,2 | 2,3 | 3,6 |
| 1,1 | 2,0 | 1,4 | 4,1 |
| 2,0 | 1,8 | 2,3 | 4,1 |
| 1,4 | 2,6 | 2,3 | 3,1 |

Визначимо числові характеристики розподілу набутого значення руйнуючого зусилля зміщення кристалу. Одержані дані представимо в табл. 2.

Таблиця 2

| Операція | Значення числових характеристик x , МПа | | | | | | | |
|----------|---|------------|-----|-----------|------|-------------|---------|------|
| | x_{\min} | x_{\max} | R | \bar{x} | D(x) | $\sigma(x)$ | Mo | Me |
| I | 0,6 | 2,0 | 1,4 | 1,26 | 0,2 | 0,45 | 1,1 | 1,2 |
| II | 1,5 | 3,9 | 2,4 | 2,41 | 0,4 | 0,63 | 2,0 | 2,15 |
| III | 1,4 | 3,6 | 2,2 | 2,42 | 0,46 | 0,68 | 2,3 | 2,3 |
| IV | 2,3 | 4,4 | 2,1 | 3,5 | 0,29 | 0,54 | 3,1;4,1 | 3,55 |

Для практичного визначення медіанного і модального значень необхідно в табл. 1 значення розподілити у вигляді наростаючого ряду (табл. 3).

Таблиця 3

| № п/п | Значення x , МПа, після операції | | | |
|-------|------------------------------------|-----|-----|-----|
| | I | II | III | IV |
| 1. | 0,6 | 1,5 | 1,4 | 2,3 |
| 2. | 0,7 | 1,8 | 1,4 | 2,6 |
| 3. | 0,7 | 1,8 | 1,6 | 3,0 |
| 4. | 0,8 | 1,9 | 1,8 | 3,1 |
| 5. | 0,8 | 2,0 | 1,9 | 3,1 |
| 6. | 0,9 | 2,0 | 2,0 | 3,1 |
| 7. | 0,9 | 2,0 | 2,0 | 3,2 |
| 8. | 1,1 | 2,0 | 2,0 | 3,2 |
| 9. | 1,1 | 2,0 | 2,3 | 3,3 |

| | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|
| 10. | 1,1 | 2,1 | 2,3 | 3,5 |
| 11. | 1,3 | 2,2 | 2,3 | 3,6 |
| 12. | 1,3 | 2,4 | 2,3 | 3,6 |
| 13. | 1,4 | 2,6 | 2,3 | 3,7 |
| 14. | 1,4 | 2,6 | 3,0 | 3,9 |
| 15. | 1,6 | 2,9 | 3,0 | 4,0 |
| 16. | 1,8 | 2,9 | 3,1 | 4,0 |
| 17. | 1,8 | 3,0 | 3,3 | 4,1 |
| 18. | 1,9 | 3,0 | 3,3 | 4,1 |
| 19. | 2,0 | 3,7 | 3,5 | 4,1 |
| 20. | 2,0 | 3,9 | 3,6 | 4,4 |

У розподіленому за збільшенням або зменшенням ряду значень при непарному числі виробів величина значення середнього в ряду і буде медіанним значенням. У разі парного числа виробів медіанне значення дорівнює середньому значенню двох значень виробів у середині ряду. Наприклад, для 20 виробів медіанним значенням буде середнє значення для значень 10-го і 11-го виробів.

Стабільний технологічний процес виготовлення ІЕТ характеризується межею розкиду параметрів, рівною $\pm 3\sigma$, щодо середнього значення. Тоді значення параметрів, що характеризують технологічний процес, запишемо в табл.4.

Таблиця 4

| операція | Значення числових характеристик x , МПа | | | | |
|----------|---|---------------|---------------------|---------------------|--------------|
| | \bar{x} | $\pm 3\sigma$ | $\bar{x} - 3\sigma$ | $\bar{x} + 3\sigma$ | $R(6\sigma)$ |
| I | 1,26 | 1,35 | - | 2,61 | 2,7 |
| II | 2,41 | 1,89 | 0,52 | 4,3 | 3,76 |
| III | 2,42 | 2,04 | 0,4 | 4,46 | 4,08 |
| IV | 3,51 | 1,62 | 1,88 | 5,12 | 3,24 |

Значення менше нуля не записується.

За аналізом значень табл.2,3, 4, можна зробити наступні висновки:

1. Міцність клейового з'єднання збільшується після дії відбраковуючих випробувань і термотренування при температурі +125°C, що видно зі збільшення мінімального, максимального і середнього значень по операціях.

2. Дія 100 термоциклів декілька знижує міцність клейового з'єднання, в порівнянні з попереднім станом, що видно по мінімальному та максимальному значеннях, хоча середнє значення залишається в тих же межах.

3. Розподіли значень руйнуючих зусиль зміщення по операціях I, II, III - одномодальні, по операції IV - двомодальне.

4. Розкид значень руйнуючого зусилля зміщення кристалів для даної конструкції ІС на всіх видах технологічних операцій і випробувань укладається в межі розкиду $\pm 3\sigma$, що говорить про стабільність цього техпроцесу.

ГРАФІЧНА ОБРОБКА СУКУПНОСТІ ВИПАДКОВИХ ВЕЛИЧИН

Одержані статистичні дані розташовують у порядку зростання значень випадкових величин і для кожного значення вказують число його повторень. Варіанти значень величини, перераховані у порядку їх зростання з вказівкою для кожного значення числа його повторень, називають *рядом розподілів*. Число повторень кожного значення випадкової величини називається його *абсолютною частотою*.

Сума всіх абсолютних частот у ряді розподілу дорівнює загальній кількості вимірювань, які називають *об'ємом сукупності*. Відносну частоту, що є відношенням кожної абсолютної частоти до об'єму сукупності, виражають або в долях (об'єм сукупності приймають за 1), або у відсотках.

Простою формою графічного представлення ряду розподілів є *полігон*. Для його побудови в прямокутній системі координат по осі абсцис відкладають значення випадкової величини, а по осі ординат - відповідні їм частоти (абсолютні або відносні). Полігон може бути побудований і для інтегральної форми розподілів. Зручнішою і наочнішою формою графічного представлення інтервальних рядів є гістограма.

Для побудови гістограми на осі абсцис відкладають інтервали розподілу, на кожному інтервалі як на підставі будують прямокутник, висота якого (ордината) рівна абсолютній або відносній частоті для даного інтервалу.

При визначенні ширини інтервалу може бути використано правило Старджеса для знаходження мінімального числа інтервалів D_0 , на які потрібно розбити різницю між двома крайніми значеннями: $D_0 = 1 + 3,3 \lg N$, де N - розмір вибірки, тобто кількість випадкових величин.

Ширину інтервалу можна зменшити, в цьому випадку вертикальні лінії можна не зображати, а огинаюча буде безперервною кривою, що змінюється залежно від змінної x .

Вірогідність попадання випадкової величини всередину проміжку (x_1, x_2) дорівнює сумі всіх його абсолютних частот для нескінченно малих інтервалів усередині проміжку (x_1, x_2) . Ця вірогідність позначається як $P(x_1 \leq x \leq x_2)$.

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

Вірогідність того, що вимірювання потрапляє в проміжок (x_{\min}, x_2) , називається *інтегральним (кумулятивним) законом розподілу*; дорівнює площі під інтегральною кривою.

Побудова рядів розподілів і їх графічне зображення є першим кроком в проведенні аналізу стану технологічного процесу. Порівняння ширини гістограми розподілу з її полем допуску і візуальна оцінка форми гістограми дозволяють якісно оцінити стан технологічного процесу і встановити, яким заходам слід вжити для його вдосконалення або усунення порушень.

Для нормально відладженого технологічного процесу, що забезпечує отримання параметра якості з технологічним запасом щодо виробничого допуску (як правило $\pm 3\sigma$), ширина гістограми істотно менше за ширину допуску, а інтервал з максимальною частотою знаходиться, приблизно, посередині поля допуску.

Побудова гістограми *інтегрального розподілу* випадкової величини також використовується для статистичного аналізу. Така гістограма показує, скільки виробів (або який їх відсоток) має значення параметра, менше якого-небудь встановленого значення. Мірою розкиду вимірюваних параметрів служить нахил кривої гістограми: чим вона крутіша, тим менше розкид.

Якщо по гістограмі легко визначити модальне значення випадкової величини, то по інтегральному розподілу легко знаходяться медіана і квантілі.

Для наочного порівняння наявності залежностей між двома різними параметрами сукупності ІС або між значенням параметра при нормальній температурі зі значенням цього ж параметра при граничних температурах, а також для порівняння первинних і подальших або кінцевих вимірювань параметрів використовуються поля *кореляції*.

Побудова полів кореляції проводиться таким чином. На вісі абсцис відкладаються початкові значення, а на вісі ординат - значення параметра порівнюваного. Для кожного виробу ставлять крапку на графіку, абсциса і ордината якої відповідають значенням параметрів початкового і порівнюваного. При єдиному масштабі для вісей абсцис і ординат бісектриса прямого кута позначатиме безліч тих значень, форма зв'язку яких буде лінійною, тобто вони корельовані між собою. Для визначення розкиду (наприклад $\pm 30 \pm 50\%$ і т.п.) обчислюють, відповідні відсотку розкиду, величини і проводять з вершини кута прямі. Підрахунок точок, що потрапили всередину кута, обмеже-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників
ного бісектрисою i , наприклад, прямої, відповідної відхиленню на 30%, показує, який відсоток виробів має значення параметра, що відрізняється, не гірше 30%.

ЗАВДАННЯ 2

За даними табл. 1 для операції II побудуємо гістограму і інтегральний розподіл.

Аналіз табл.1 показує, що мінімальне значення дорівнює 1,5 МПа, максимальне - 3,9 МПа, тобто ширина діапазону 2,4 МПа. За правилом Старджеса інтервалів для побудови гістограми повинно бути не менше 6:

$$D_0 = 1 + 3,3 \lg 20 = 5,29.$$

Прийmemo кількість інтервалів 6, тоді всю область набутого значення можна розбити на окремі інтервали так: I - від 1,5 до 1,9 МПа; II - від 1,9 до 2,3 МПа; III - від 2,3 до 2,7 МПа і т.д. Якщо значення параметра потрапляє на межу інтервалів, його можна віднести як до одного, так і до іншого інтервалу. Можна також додати по 0,5 частоти попадань в сусідні інтервали. При цьому виходять дробові значення. Інший спосіб: верхнє значення не включається в значення даного інтервалу, тобто I- [1,5; 1,9); II- [1,9; 2,3); III - [2,3; 2,7) і т.п. Позначимо принцип підрахунку кількості значень в інтервалі для першого випадку як [:], для другого - як [:].

Складемо таблицю значень абсолютної, відносної та кумулятивної частот попадань в кожен інтервал, використовуючи дані табл. 1 (табл. 5).

Таблиця 5

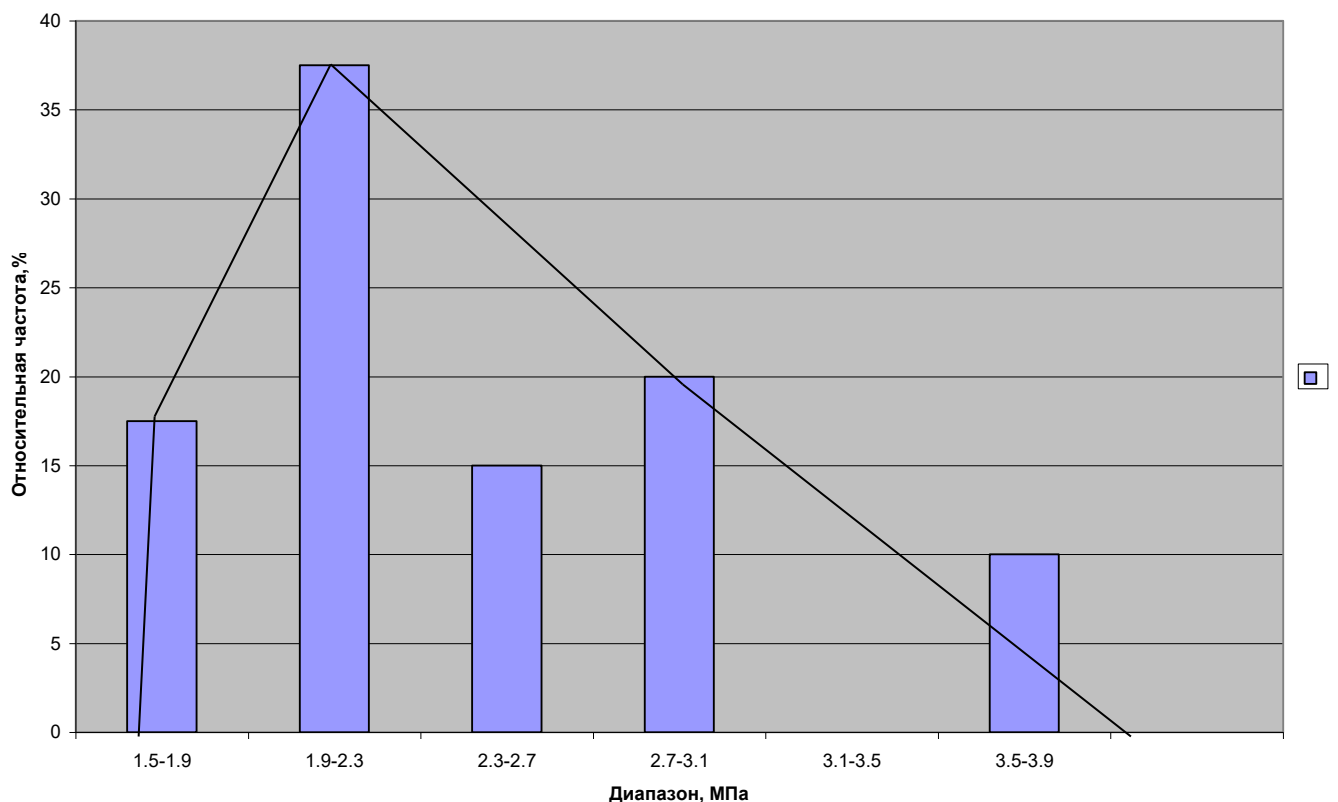
| Номер інтервалу | Діапазон, МПа | Абсолютна частота, шт. | Відносна частота | | Кумулятивна частота, % |
|-----------------|---------------|------------------------|------------------|----------|------------------------|
| | | | долі | відсотки | |
| I | 1,5-1,9 | 3,5 | 0,175 | 17,5 | 17,5 |
| II | 1,9-2,3 | 7,5 | 0,375 | 37,5 | 55,0 |
| III | 2,3-2,7 | 3 | 0,15 | 15 | 70,0 |
| IV | 2,7-3,1 | 4 | 0,2 | 20 | 90,0 |
| V | 3,1-3,5 | - | - | - | 90,0 |
| VI | 3,5-3,9 | 2 | 0,1 | 10 | 100 |
| Всього | | 20 | 1 | 100 | 100 |

За даними табл. 5 побудуємо гістограму (мал.1). По осі ординат в масштабі відкладаємо відносні частоти (у відсотках) у вигляді поличок, паралельних вісі абсцис, на яких приводимо число, яке показує кількість ІС, що потрапили в даний інтервал (у штуках). Потім через середини поличок проводимо криву розподілу (на мал. 1 показана лінією). На основі значень, вказаних в останній колонці табл. 1.5, побудуємо інтегральний розподіл по параметру руйнуючого зусилля зміщення (мал.2).

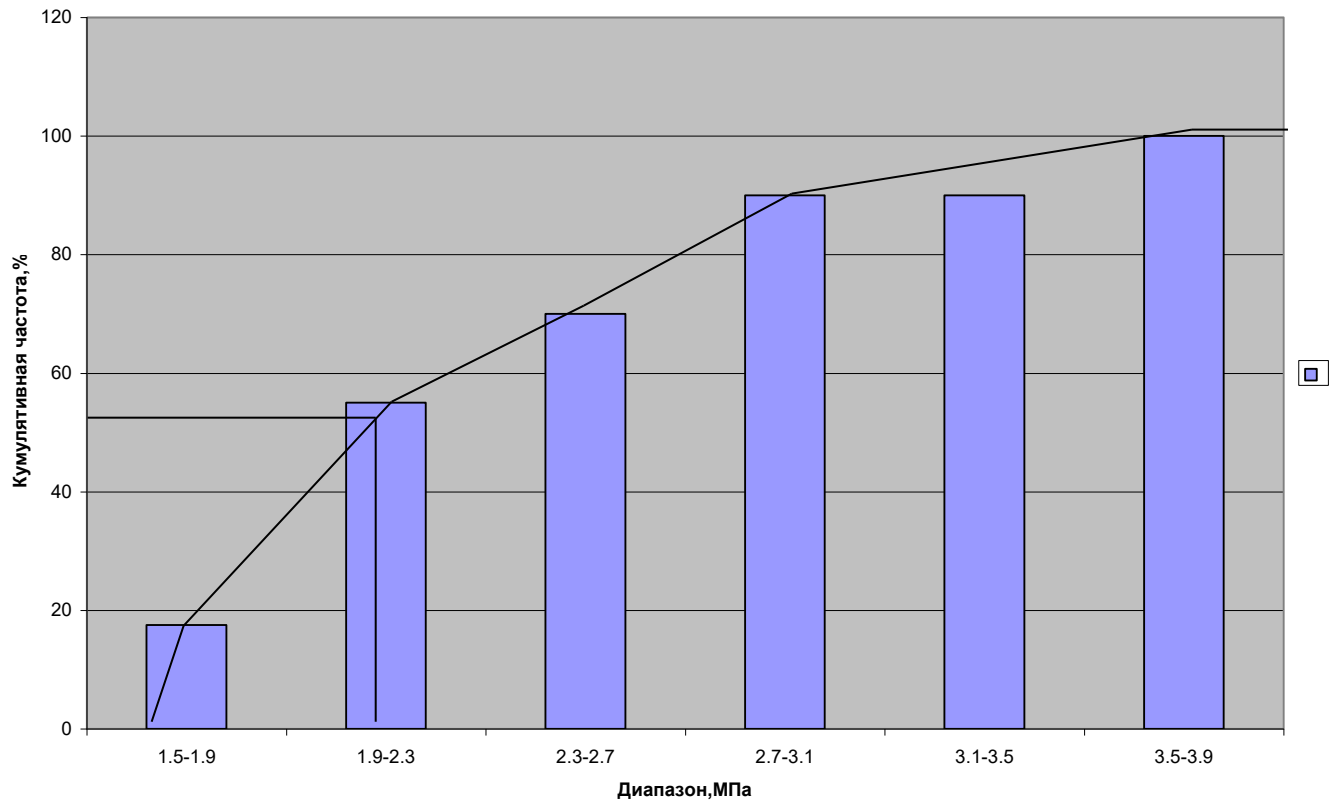
По мал. 1 визначаємо моду для даного розподілу: $M_o = (1,9; 2,3)$ МПа.

З мал.2 знаходимо значення медіани: $M_e = 2,06$ МПа.

Якщо звернемося до даних табл. 2 і порівняємо з одержаними даними M_o і M_e , то побачимо деяку розбіжність значень цих величин, оскільки кількість виробів 20, не дозволяє одержати велику достовірність.



Малюнок 1-Гістограма розподілу величин зусилля зміщення кристалу ІС типу 106 ЛБ1



Малюнок 2-Інтегральний розподіл величин зусилля зміщення кристалу ІС типу 106 ЛБ1

ЗАВДАННЯ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Кожен студент виконує завдання 1 і 2 для своєї вибірки значень. Гістограму і інтегральний розподіл побудувати для кожної операції.

| № | Найменування типів занять, тем занять та їх зміст | Кількість годин | ТЗН ТЗК | Форма контролю | Література |
|--|---|-----------------|------------|------------------|------------|
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
| Модуль 3. Технологічні засоби автоматичних систем вимірювання і контролю електричних параметрів ІМС. Методи контролю цифрових ІМС (7-8 тиждень) | | | | | |
| Мета модуля: вивчення засобів автоматичного контролю параметрів ІМС та контролю статичних і динамічних параметрів ЦІМС. | | | | | |
| 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 6. |
| 1. | Лекція 7. Структура та шляхи збільшення продуктивності автоматичного устаткування контролю. | 2 | ІМ | | КЛ |
| 2. | Лекція 8. Вимірювання статичних, динамічних параметрів та функціональний контроль ЦІМС | 2 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ |
| 3. | Лабораторна робота 1. Дослідження статичних параметрів логічних мікросхем ТТЛ та КМОН | 4 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ, [2] |
| 4. | Лабораторна робота 2. Дослідження статичних параметрів дешифраторів | 4 | | ВК ППЗ ЗЛР | КЛ, [2] |
| Загальна кількість аудиторних годин модуля 3 | | 12 | | | |
| Кількість годин на самостійну роботу студентів | | 5/6 | | | |

Тема VI Технологічні засоби автоматичних систем вимірювання

і контролю електричних параметрів ІМС

Вони повинні включати:

- інформаційну базу (документацію) для опису ІМС (електричні схеми, таблицю призначення виводів);
- засоби моделювання ІМС; модель ІМС повинна імітувати як функції схеми, так і режими її відмов; для моделювання складної схеми використовують бібліотеку елементів окремих стандартних елементів;
- метод формування тестових послідовностей;
- мову контролю і бібліотеку програм;
- устаткування автоматичного контролю;
- засоби метрологічного забезпечення основних характеристик устаткування вимірювання і контролю;
- спосіб управління масивами даних.

Для ефективного контролю ІМС необхідна сукупність перерахованих елементів системи контролю і спільні зусилля розробників ІМС і устаткування контролю.

6.1 Структура автоматичного устаткування вимірювання і контролю

Автоматичне контрольно-випробувальне обладнання (КВО) ІМС розділяється на

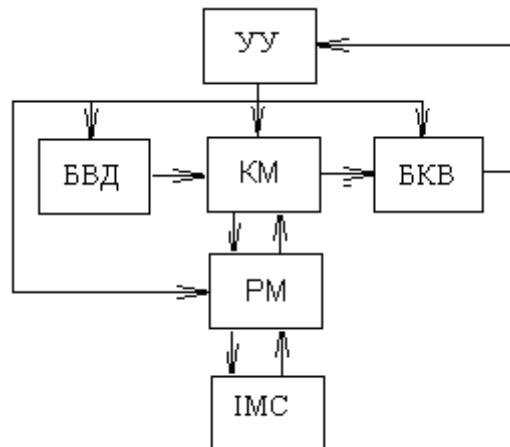
- ЕОМ і набір периферійного устаткування;

- установку контролю.

Призначенням ЕОМ і супутнього периферійного устаткування (ЗУ на магнітних стрічці або диску, що друкують пристрої, дисплеї і ін.) є проведення як деяких функцій управління, процесом контролю, так і функцій введення, накопичення, зберігання та обробки великої кількості даних про результати контролю, їх аналізу, реєстрації, а також підготовки і відладки програм контролю.

Установка контролю (УК) безпосередньо здійснює процес параметричного (по статичних і динамічних параметрах) і функціонального контролю ІМС. Незалежно від типів контрольованих параметрів і схем загальна структура установки контролю незмінна.

Розглянемо її складові частини (мал.6.1):



Малюнок 6.1-Структурна схема автоматичної установки параметричного

контролю ІМС

1) пристрій програмного управління УУ, що виконує функції прийому, зберігання переліку команд програми контролю і даних контролю, розподілу інформації в реєстри всіх блоків установки згідно цим командам, а також функції виконання команд і управління роботою установки контролю;

2) блок синхронізації БС, що визначає усі тимчасові співвідношення контролю; у разі контролю простих ІМС функції блоків УУ і БС об'єднані;

3) блок вхідних дій БВД для контрольованої ІМС, включаючи джерела живлення;

4) блок контролю і вимірювання БКВ, що здійснює порівняння вихідного сигналу контрольованої ІМС з програмованою межею (нормою) у разі контролю та вимірювання вихідного сигналу з цифровим виходом вимірюваної величини;

5) комутуюча матриця КМ, що здійснює електричне під'єднування БВД і БКВ до виведень контрольованої ІМС;

6) робоче місце РМ (вимірювальна головка, пост), що включає контактуючий пристрій КП для контрольованої ІМС та спеціальні схеми, необхідні для створення умов контролю (буферні елементи, навантаження, схеми погодження або перетворення); як правило, вимірювальна головка є найбільш критичною частиною устаткування контролю і багато в чому визначає його технічні характеристики.

Установка контролю може працювати самостійно (автономно від ЕОМ) з власним спеціалізованим процесором як УУ з виводом або без виведення інформації на ЕОМ. У разі автономної роботи установки контролю зберігання і введення програми контролю здійснюються із зовнішніх накопичувачів (перфострічок, перфокарт, ППЗУ).

6.2 Засоби підвищення продуктивності автоматичного устаткування контролю

Продуктивність є однією з найважливіших характеристик автоматичного устаткування контролю і визначається як кількість ІМС, що перевіряються за одиницю часу (шт/год).

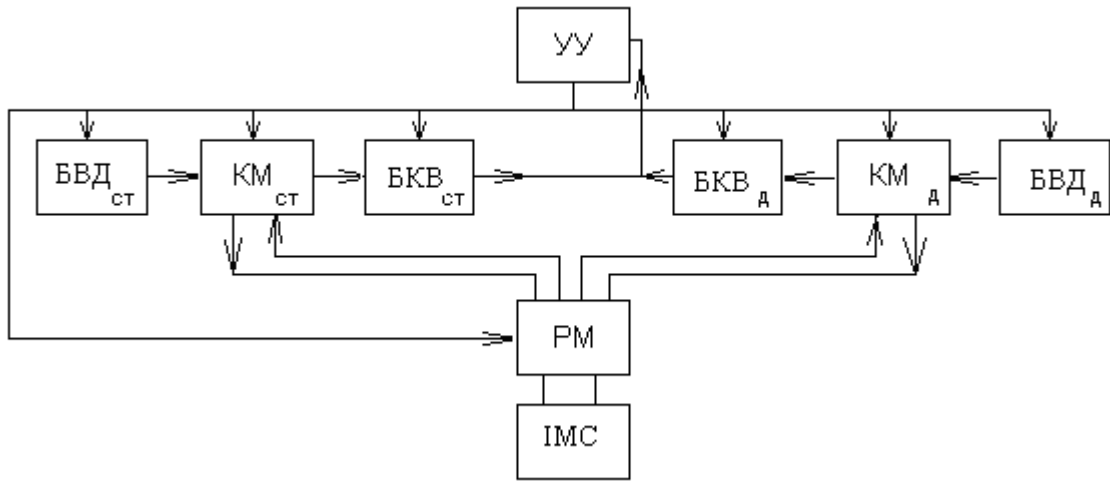
Для підрахунку продуктивності необхідно визначити час контролю однієї ІМС, який є сумою часів контакту ІМС і власне контролю (час на тест, помножений на число тестів). Час контакту залежить від способу контакту ІМС в корпусах або від швидкодії автоматичної зондової установки.

Час на тест залежить від методу контролю, швидкодії перемикаючих елементів, часу встановлення вхідних дій, швидкодії пристроїв контролю. Час на тест є основною характеристикою, що визначає швидкодію устаткування контролю, оскільки кількість тестів, а отже, продуктивність устаткування залежать, більшою мірою, від складності контрольованої ІМС. Таким чином, від реалізації основних блоків установки контролю залежить час виконання тесту, будь - то параметричний чи функціональний контроль.

Одним із способів підвищення продуктивності устаткування контролю є поєднання контролю різних електричних параметрів ІМС (статичних і динамічних) в одному КП. Це дозволяє виграти час одного контакту і виключити повторний контакт, що особливо важливо при контролі на пластині, де подвійний контакт (підключення зондів до контактних майданчиків кристала) неприпустимо із-за можливого псування кристала.

Структурна схема установки суміщеного контролю статичних і динамічних параметрів ІМС показана на мал.6.2 .

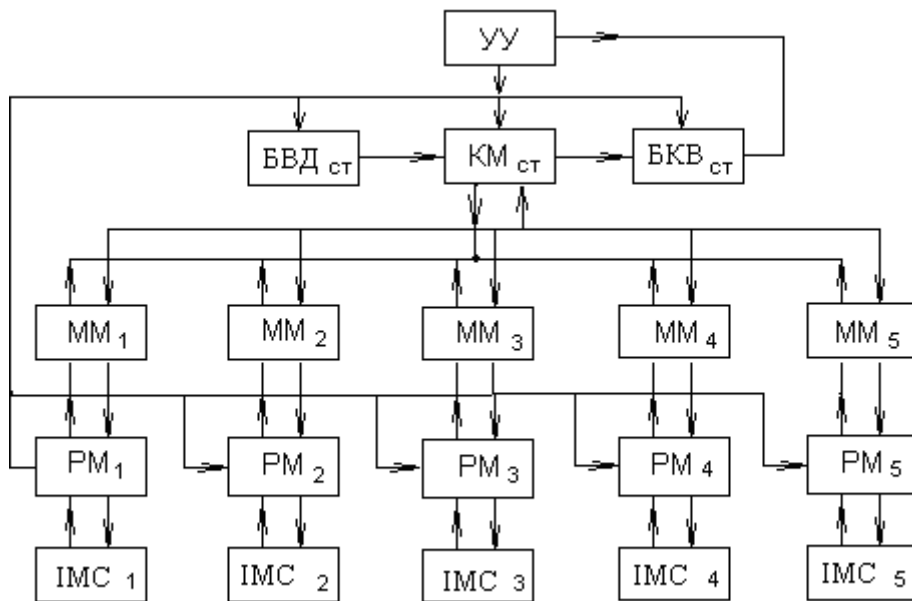
Способом подальшого підвищення продуктивності установки контролю є «розділення» устаткування контролю між декількома робочими місцями. На контроль однієї ІМС витрачається час, рівний часу контакту цієї схеми (часу T_m здійснення механічного контакту виведень ІМС і клем КП) і часу, власне, контролю T_k . під час контакту схеми (особливо у разі ручного контакту, коли $T_m > T_k$) устаткування контролю простоє.



Малюнок 6.2- Структурна схема установки сумісного контролю статичних і динамічних параметрів ІМС

Для ефективного використання устаткування доцільно мати КП для контролю декількох ІМС. Число КП розраховують за формулою:

$$n = (T_M + T_K) / T_K = (T_M / T_K + 1)$$



Малюнок 6.3 - Структурна схема установки контролю статичних параметрів ІМС, що працює в мультиплексному режимі на п'яти робочих місцях

На малюнку 6.3 наведена структурна схема установки контролю статичних параметрів ІМС, що працює в мультиплексному режимі на п'яти робочих місцях. До складу устаткування додається мультиплексна матриця ММ на магнітокерованих язичкових контактах. Природно, введення будь-якої додаткової комутуючої матриці і довгих кабелів приводить до погіршення технічних характеристик устаткування в цілому (згасанню амплітуди сигналу, тимчасовим затримкам), отже, цей принцип застосовний для контролю за постійним струмом та на низьких частотах.

Для підвищення продуктивності контролю може служити ще один спосіб – паралельний (одночасний) функціональний контроль декількох ІМС. При цьому контрольовані схеми повністю ізольовані одна від одної. В системі контролю для кожного виведення ІМС є пристрій вхідної дії (драйвер) та контролю (компаратор). Цей спосіб вигідний для проведення контролю, що вимагає великого часу виконання.

Наведемо приклад. Спеціалізована установка контролю ВІС ОЗП має дві мультиплексні вимірювальні головки, що працюють кожна на два КП. Контроль організований таким чином: спочатку проводиться спрощений функціональний контроль, який тільки визначає, чи працює схема, а потім – контроль статичних параметрів; при цьому перша годна ВІС ОЗП «чекає», поки контрольовані ВІС ОЗП в кожному КП не пройдуть той чи інший контроль.; після цього проводиться паралельний динамічний функціональний контроль ВІС ОЗП в двох КП. Виграш по продуктивності в результаті паралельного контролю залежить від наступних чинників:

- 1) виходу годних ВІС ОЗП після проведення спрощеного функціонального контролю та контролю статичних параметрів. Якщо вихід годних ВІС ОЗП наближається до нуля, то контроль вигідно проводити послідовно, якщо до 100%, то паралельний контроль збільшує продуктивність в стільки разів, скільки схем перевіряється одночасно;

2) відношення часу динамічного функціонального контролю до часу спрощеного функціонального контролю і контролю статичних параметрів;

3) розподілу ВІС ОЗП по класифікаційних групах. Це означає: якщо всі схеми потрапляють в одну групу, переваги паралельного контролю зменшуються.

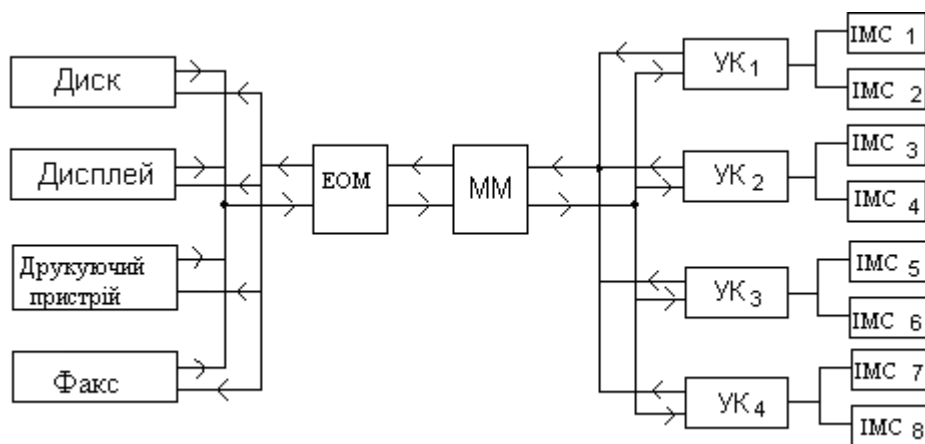
6.3 Еволюція контрольньо-вимірювального обладнання для ІМС.

Контрольно-вимірювальне обладнання (КВО) першого покоління контролювало ІМС малого ступеню інтеграції, обмежені ДТЛ- і ТТЛ-ІМС та деякі ранні МОН-ІМС. Це устаткування контролювало статичні і динамічні параметри ІМС та проводило дуже обмежений функціональний контроль. Воно характеризувалося високою продуктивністю унаслідок використання мультиплексних робочих місць, автоматичних пристроїв контакту і сортування. Як пристрої програмного управління, застосовували апаратну логіку («жорстке» управління), що накладала обмеження на гнучкість зміни програм контролю. Результати контролю виводилися на друк і далі оброблялися та аналізувалися ручним способом.

КВО другого покоління було пов'язано з розробкою складніших схем, таких, як ВІС ЗП, ВІС довільної логіки (кристалів калькуляторів, годинника, мікропроцесорів), і необхідністю їх функціонального контролю на граничних робочих частотах. Формування тестових послідовностей для цих ВІС зажадало розробки складних пристроїв вхідної дії і синхронізації, вимірювальної головки, а, головне, використання МІНІ-ЕОМ як пристрій програмного управління, що має розвинені засоби програмного забезпечення, мову програмування високого рівня, яка спрощує формування програм контролю. Застосування такої ЕОМ зробило можливою автоматизацію функцій обробки даних – узагальнення результатів контролю, статичну обробку даних, побудову графіків. КВО другого покоління має, як правило, два мультиплексних робочих місця; оскільки воно має один блок виводів електроніки, в кожен момент часу контролюється тільки одна ІМС, а інша готується. КВО другого поко-

Лінійна перевірка устаткування першого покоління універсальністю, обумовленою програмним виконанням функцій і наявністю функцій обробки, проте воно дуже складне. Прикладом устаткування контролю другого покоління є комплекс «Електрон СФ».

КВО третього покоління відрізняється від своїх попередників застосуванням мультипроцесорної управляючої системи, яка поєднує швидкодію спеціалізованого керуючого процесора з універсальністю ЕОМ загального призначення. По суті, ця структура розділяє управління в реальному масштабі часу устаткуванням контролю та функціями обробки даних. До складу типової системи КВО третього покоління входить МІНІ-ЕОМ з необхідним набором периферійного устаткування. Ця ЕОМ зв'язана цифрою лінією зв'язку з деяким числом незалежних установок контролю, кожна з яких має власний процесор спеціального призначення, утворюючи таким чином розподілену систему контролю (мал.6.4).



Малюнок 6.4- Структурна схема розподіленої системи контролю, що складається з чотирьох незалежних установок контролю, кожна з яких контролює ІМС на двох робочих місцях.

КВО третього покоління, по своїй суті, є устаткуванням контролю другого покоління з тією різницею, що не включає дорогих МІНІ-ЕОМ і набору периферійного устаткування для кожної установки контролю.

6.4 Універсальне і спеціалізоване устаткування контролю

Залежно від призначення устаткування контролю можна підрозділити на універсальне і спеціалізоване. Суміщений контроль аналогових і цифрових ІМС через специфічні вимоги їх контролю не проводиться. Тому класифікація устаткування на універсальне і спеціалізоване відноситиметься тільки до однієї категорії ІМС (аналогових або цифрових).

Універсальне автоматичне устаткування контролю призначене для повного контролю (параметричного і функціонального) однієї категорії ІМС (наприклад, цифрових), різних за функціональною складністю та технологію виготовлення (ТТЛ, ЕСЛ, МОН, КМОН) як в корпусі, так і на пластині. Отже, воно повинне мати повністю програмовані в широкому діапазоні апаратні засоби (блоки вхідної дії, контролю, синхронізації і т.п.) і управлятися ЕОМ з великим набором периферійного устаткування та розвиненими засобами програмного забезпечення (дисковою операційною системою, мовою програмування високого рівня).

Такі системи мають великі аналітичні можливості: вони можуть вирішувати рівняння і проводити статистичні розрахунки під час контролю без переривання, перетворення оброблених даних в прості для читання графічні відображення (наприклад, карти напівпровідникової пластини, гістограми), що дозволяють інтерпретувати характеристики схем та процесів. Таким чином, універсальне устаткування призначене, в першу чергу, для детального контролю (паспортизації) заново розроблених ІМС, наладки технологічних процесів, управління їх якістю, вихідного контролю широкої номенклатури ІМС, що випускається невеликими серіями, або для будь-якої комбінації цих функцій.

Універсальні системи контролю складні і дорогі, причому витрати на програмне забезпечення в процесі їх експлуатації залишаються дуже великими. Следствием універсальності є менша надійність, в порівнянні зі спеціалізованим устаткуванням контролю, підвищені експлуатаційні витрати, велика площа.

Спеціалізоване устаткування контролю призначене для контролю певного типу мікросхем, отже, воно не повинне володіти універсальними програмними та апаратними засобами. Таке устаткування може управлятися від спеціалізованого процесора або ЕОМ чи сполучатися з ЕОМ для обробки даних.

Спеціалізоване устаткування контролю для різних типів схем однієї категорії будується за однією структурною схемою і має єдині засоби управління. Блок, що задає умови контролю конкретного типу ІМС, як правило, є змінним. До спеціалізованого устаткування контролю пред'являють підвищені вимоги по продуктивності; воно характеризується простотою експлуатації, малими габаритами, меншими витратами на програмне забезпечення в процесі експлуатації. Основне застосування – забезпечення виробництва ІМС даного типу та вхідний контроль у споживача.

Прикладом універсального устаткування контролю є система «Елекон СФ», призначена для функціонального та параметричного контролю цифрових ВІС, МОН- і біполярної технології. Прикладом спеціалізованого устаткування контролю є установка функціонального контролю ВІС ЗП «Елекон Ф-ЗУМ».

6.5 Пристрій програмного управління

Пристрій програмного управління (УУ) є невід'ємною частиною контрольно – вимірювального устаткування. Основне призначення УУ в системі контролю – забезпечення автоматизації процесу контролю ІМС. Внаслідок високої швидкості формування управляючих сигналів УУ забезпечує максимальну продуктивність контролю ІМС в системі. Окрім свого основного завдання УУ дозволяє проводити в системі контролю збір та обробку результатів контролю ІМС, метрологічну атестацію устаткування. Застосування в системі контролю сучасних міні- і мікро-ЕОМ для її управління розширює можливості системи внаслідок програмної реалізації складних режимів контролю та дослідження ІМС.

Розглянемо завдання, що виконуються пристроєм програмного управління в системі контролю ІМС:

1) Організація процесу контролю ІМС. Пристрій управління визначає готовність одного або декількох робочих місць до виконання контролю ІМС. За наявності такої готовності визначаються номер програми контролю і режими контролю, що задаються з перемикачів та кнопок управління робочого місця, після чого здійснюється пошук в ЗП пристрої управління необхідної програми і передача їй управління;

2) Виконання програми контролю ІМС. Рішення цієї програми здійснюється шляхом задання дій в пристрої і зчитування результатів контролю з пристроїв системи відповідно до програми контролю ІМС. В результаті виконання програми контролю формується результат контролю ІМС («годна – не годна»), а також група придатності або браку; ці дані видаються для індикації на пульт оператора робочого місця;

3) Накопичення результатів контролю ІМС та вимірних величин в ЗП;

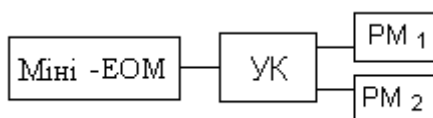
4) Статистична обробка накопичених результатів контролю ІМС та вимірних величин, побудова гістограм, діаграм, зон працездатності, зведених розрахунків;

5) Автоматизація розробки програм контролю ІМС на основі застосування мови програмування високого рівня;

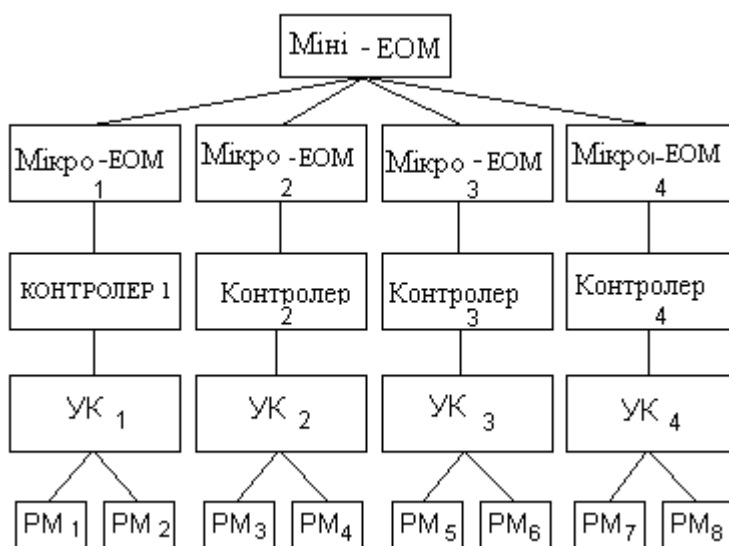
6) Автоматизація технічного обслуговування системи контролю ІМС в наслідок автоматизації процесів атестації, регулювання, контролю працездатності і діагностики несправностей.

УУ можуть бути виконані на основі міні- і мікро-ЕОМ, мікропроцесорів, спеціалізованих процесів, контролерів.

По структурі пристрою програмного управління можна підрозділити на два типи: однорівневі та багаторівневі.



Малюнок 6.5- Структурна схема однорівневого пристрою програмного управління системи контролю ІМС



Малюнок 6.6- Структурна схема багаторівневого пристрою програмного управління системи контролю ІМС.

У системі контролю з однорівневим пристроєм програмного управління (мал.6.5) міні -ЕОМ управляє установкою з двома робочими місцями, на яких проводиться контроль ІМС. При такій організації управління системою контролю управляюча міні -ЕОМ повинна забезпечувати як проведення процесу контролю ІМС, так і підготовку програм контролю. Під підготовкою програм контролю розуміють введення команд програми з алфавітно-цифрового дисплея, редагування, трансляцію і компоновку програм для отримання їх в машинних кодах. До недоліків системи контролю з однорівневим управлінням можна віднести те, що за наявності в цеху декількох однакових систем контролю ІМС кожна з них міститиме дорогу міні-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

ЕОМ, оснащену великою кількістю складних пристроїв введення-висновку: алфавітно-цифровим дисплеєм, накопичувачами на магнітних дисках та стрічках, пристроєм для друку та ін.

У системі контролю з багаторівневим контролем (мал.6.6) є одна міні -ЕОМ, що управляє чотирма мікро -ЕОМ, кожна з яких пов'язана з своїм контролером, а контролер управляє установкою контролю. Кожна з чотирьох установок контролю містить по два робочі місця. При такій організації управління кожний з пристроїв програмного управління вирішує певні задачі. Міні -ЕОМ забезпечує зберігання, підготовку програм контролю ІМС та статистичну обробку накопичених результатів ІМС.

Мікро -ЕОМ служить для організації завантаження з міні -ЕОМ в контролер програм контролю ІМС, накопичення і пересилки в міні -ЕОМ результатів контролю ІМС з метою подальшої їх обробки, контролер – тільки для виконання завантаженої в його запам'ятовуючій пристрій програми контролю. Контролер не містить яких-небудь пристроїв вводу-виводу інформації, а мікро -ЕОМ має алфавітно-цифровий дисплей та фотосчитувач з перфострічки. У системі, що містить чотири установки контролю, є одна міні -ЕОМ, оснащена складними периферійними пристроями вводу-виводу інформації. Надійність пристроїв програмного управління при такій організації вище, а вартість нижча, ніж при використанні чотирьох окремих міні-ЕОМ за схемою однорівневого управління.

6.6 Спеціалізовані процесори, контролери, інтерфейс

Спеціалізовані процесори знаходять застосування як пристрої управління в різних системах контролю ІМС, наприклад, в установках «Електрон Ф-ЗУМ», 14КПЛ300-2. Система команд спеціалізованих процесорів орієнтована на реалізацію функцій контролю ІМС і внаслідок цього дозволяє істотно збільшити продуктивність контролю.

Контролери застосовуються в установках контролю ІМС найчастіше для виконання програм контролю. Контролером називають пристрій управління, який здійснює обмін інформацією з іншими пристроями або посилає повідомлення для управління в них певними діями. Зв'язок пристроїв програмного управління з установками контролю здійснюється за допомогою інтерфейсних пристроїв.

Інтерфейс – погоджувача частина (блок, плата), розташована між пристроями системи або частинами одного пристрою, через який проходить обмін інформацією. У системах контролю ІМС застосовуються як стандартні, так і спеціалізовані інтерфейси.

6.7 Апаратні засоби контролю працездатності і діагностики несправностей системи контролю ІМС

Устаткування контролю ІМС включає безліч радіоелектронних елементів, загальна кількість яких в складних системах контролю ІМС може досягати декількох десятків тисяч. Через кінцеве значення надійності кожного елементу сумарна надійність системи контролю може бути дуже низькою. У зв'язку з цим великого значення набувають заходи щодо підтримки працездатного стану системи контролю ІМС.

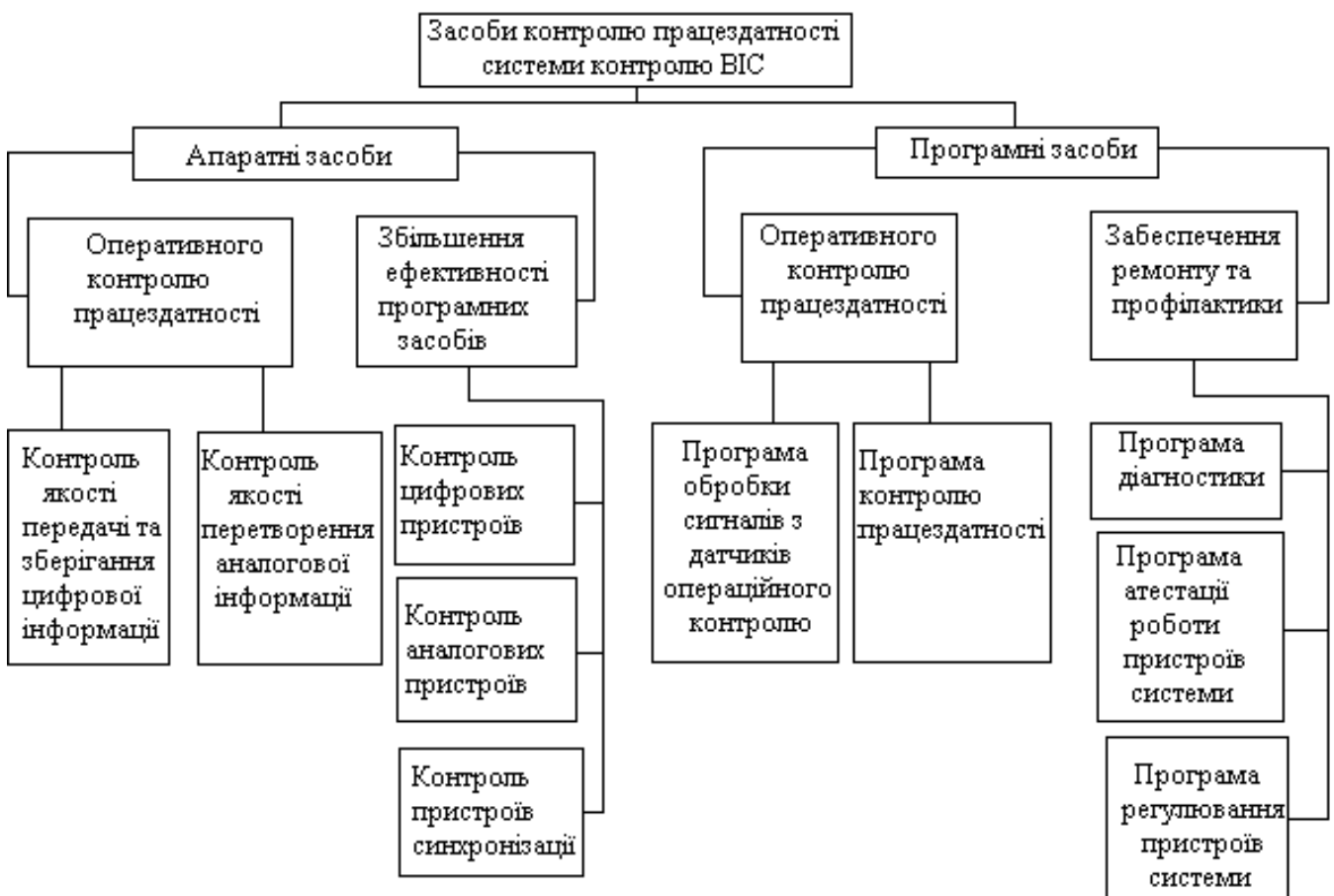
Для цього в системах контролю ІМС застосовують спеціальні методи і засоби контролю працездатності, а також автоматичну діагностику несправностей. Наявність таких засобів дозволяє вирішити завдання оперативного виявлення несправного стану системи і швидко локалізувати місце несправності.

Засоби контролю працездатності та діагностики несправностей, вживані в системах контролю ВІС, можна розділити на апаратні і програмні (мал.6.7).

Апаратні засоби забезпечують оперативне знаходження несправної роботи обладнання, а також розширюють можливості програмних засобів контролю працездатності і діагностики несправностей. Розширення можливостей програмного контролю досягається за рахунок введення додаткових контрольних точок та спеціальних

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників пристроїв контролю. В результаті спрощується розробка тестів для контролю та діагностуючих, а також забезпечується більш детальна локалізація несправностей.

Апаратні засоби контролю працездатності можна поділити на пристрої оперативного контролю працездатності та пристрої збільшення ефективності програмних засобів. Пристрої оперативного контролю працездатності призначені для контролю правильності передачі та зберігання цифрової інформації, а також для контролю правильності перетворення аналогової інформації. Пристрої збільшення ефективності програмних засобів дозволяють вирішити задачу програмного контролю цифрових і аналогових пристроїв та синхронізацію системи контролю ІМС.



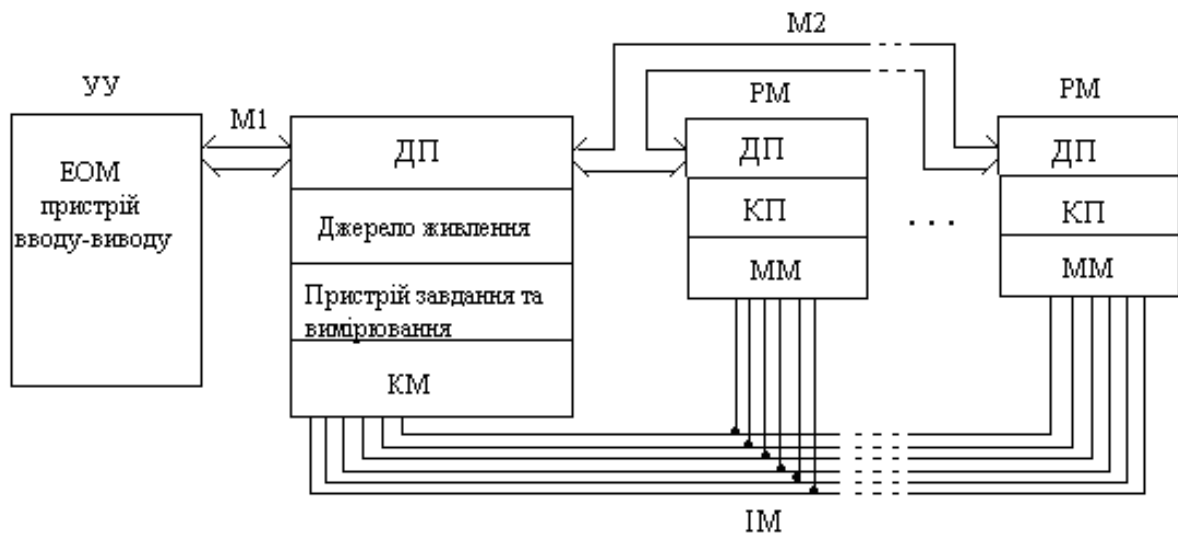
Малюнок 6.7-Засоби контролю працездатності системи контролю ВІС

Тема VII Методи контролю цифрових ІМС

У цифрових ІМС інформативним параметром сигналу звичайно є напруга. При цьому, зважаючи на складність одночасного контролю електричних параметрів ЦІМС, їх розділяють на статичні, вимірювальні або контрольовані в сталому режимі та динамічні, вимірювальні або контрольовані в ході перехідних процесів в ЦІМС.

7.1 Контроль статичних параметрів ЦІМС

ЦІМС мають виводи живлення (один з яких загальний), вхідні та вихідні виводи. У ВІС широко використовуються комбіновані виводи, які залежно від сигналів за іншими вхідними виводами, можуть міняти своє призначення з вхідного на вихідний або з вихідного на стан «вимкнено». Контроль статичних параметрів проводять, як правило, за всіма виводами і за всіма станами, в яких вони можуть знаходитися. В окремих випадках для прискорення процесу контролю застосовують груповий контроль вхідних струмів.



Малюнок 7.1- Структурна схема установки контролю статичних параметрів

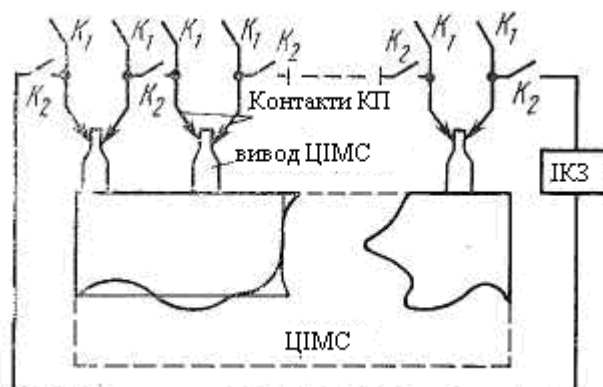
Установка (мал.7.1) складається з УУ, пристроїв завдання вхідних дій і вимірювання статичних величин (напруги та струму), комутуючих матриць КМ, декількох робочих місць (2-5) РМ. Ряд допоміжних пристроїв ДП служать для зв'язку з ЕОМ, управління РМ, зручності спілкування оператора з установкою, формування режимів її роботи, відображення інформації про хід контролю. Пристрої завдання та вимірювання статичних параметрів формують і вимірюють напругу і струм на виводах контрольованої ЦІМС, що знаходиться в контактуємому пристрої КП одного з робочих місць. Підключення пристроїв до виводів ЦІМС здійснюється через КП, вимірювальну магістраль ВМ та одну з мультиплексних матриць робочих місць ММ.

В установці увимірювальних ланцюгах прийнятий дводотовий зв'язок. Річ у тому, що провідники, що підводять, наприклад, напругу живлення $U_{ж}$ до виводів ЦІМС, а також реле КМ і пристрій контакту з виводами ЦІМС мають опір, що досягає в сумі 10-15 Ом. У результаті напруга, сформована в пристроях завдання вхідних дій з допустимою похибкою 1мВ , при однодротовому зв'язку з опором ланцюга R і струмом споживання I поступить на виведення ЦІМС з похибкою $\delta_U = RI$. При цьому струм I і опір R не є постійними величинами. Тому, окрім силового, паралельно проводять дріт зворотнього зв'язку (33), не навантажений струмом і як такий, що передає інформацію про сформовану на виводі напругу з метою її корекції. Для компенсації перешкод і термо -е.р.с. дроту (силового та зворотнього зв'язку) проводять ідентичними ланцюгами і в безпосередній близькості один від одного і замикають через виведення ЦІМС, що знаходиться в КП. Крім того, їх укладають в екран, потенціал якого підтримується на рівні напруги, що задається. Цей захід прийнятий для зменшення струмів витоку по ізоляції і підвищення швидкодії, оскільки знижує ефективну місткість ланцюга.

7.2 Основні операції до контролю статичних параметрів

1. Підключити ЦІМС до установки;
2. Перевірити якість контакту ЦІМС;
3. Підключити до ЦІМС джерела живлення, пристрою входних дій, додаткові елементи і навантаження;
4. Встановити ЦІМС в режим, необхідний для контролю чергового статичного параметра;
5. Провести операцію вимірювання або контролю чергового статичного параметра;
6. Оцінити результат вимірювання і контролю, ухвалити рішення про придатність ЦІМС.

Підключення ЦІМС до установки здійснюють за допомогою автоматичного зондового пристрою при контролі на пластині або контактуючого пристрою при контролі в корпусі.



Контроль контакту ЦІМС в корпусі проводять згідно схеми (мал.7.2).

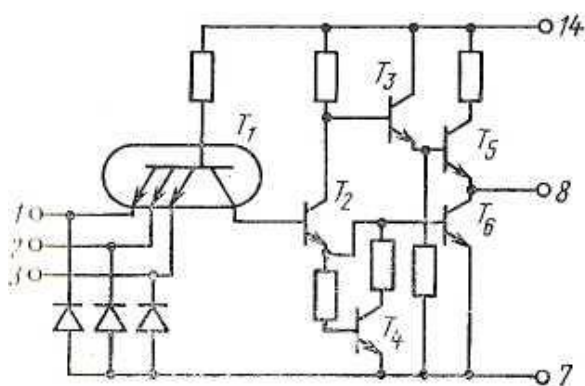
Малюнок 7.2-Схема контролю контактування ЦІМС

Всі контакти КП при розімкнених ключах К1 за допомогою ключів К2 з'єднуються в послідовний ланцюг з індикатором короткого замикання ІКЗ. За наявності

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників
розриву в ланцюзі індикатор подає сигнал для оператора або ЕОМ про неготовність робочого місця для контролю ЦІМС. Цим виключається бракування годної ЦІМС унаслідок несправності контактів КП.

Підключення до ЦІМС джерел живлення і пристроїв вхідних дій здійснюють за допомогою КМ. Реле КМ підключають за програмою пристрою задання та вимірювання до відповідних виходів, які вимірювальною магістраллю і мультиплексною матрицею РМ однозначно сполучені з виводами ЦІМС.

Розглянемо операції пп. 4,5,6 на прикладі контролю ТТЛ-ЦІМС (мал.7.3).



Малюнок 7.3-Електрична схема логічного елемента 3І-НІ

Струм споживання, мА. Норма <4 мА

$U_{дж}=5В$. На вивід логічний «0». Всі входи – логічна «1» .

Для контролю на вивід 7 потрібно подати нульову напругу з похибкою ± 10 мВ, на виводи 1-3 – напруга $U_{вх} = 2,4$ В з похибкою ± 10 мВ, вивід 8 залишити вільним, на вивід 14 підключити пристрій задання та вимірювання статичних параметрів, задаючи напругу рівну 5 В, вимірювати струм від 4 мА і менше. Якщо струм буде більше 4 мА, дану ЦІМС слід забракувати, якщо менше, то продовжити контроль за наступними параметрами.

Т.ч. для контролю струму споживання необхідні:

1) пристрій підтримки нульового потенціалу на загальному виводі ЦІМС, підключений до виводу 7;

2) програмне джерело напруги, підключене до виводів 1-3;

3) пристрій задання напруги та вимірювання струму, підключений до виводу 14.

Наступний параметр напруга логічної «1» сигналу вихідної інформації. Норма 2,4 В $U_{дж}=5$ В. Всі входи «0». Струм навантаження 0,5 мА.

Для контролю на вивід 7 потрібно подати нульову напругу, на виводи 1-3 – напругу $U_{вх} = 2,4$ В, на вивід 14 - напругу 5 В. До виводу 8 необхідно підключити пристрій задання струму та вимірювання напруги, задавши струм, рівний – 0,5 мА. Нормою придатності є перевищення вихідною напругою рівня 2,4 В.

Контроль напруги логічної «1» сигналу вихідної інформації починається з обнулення пристроїв і програмних джерел напруги. Далі проводять перекомутацію пристроїв і виводів ЦІМС. На виводі 7 залишається пристрій підтримки нульового потенціалу, до виводу 14 підключається програмне джерело напруги, до виводів 1-3 – друге програмне джерело напруги, до виводу 8 – пристрій задання струму та вимірювання напруги.

Подальші операції слідують в тому ж порядку, що і при вимірюванні першого параметра. Подальші параметри контролюють аналогічно.

Якщо ЦІМС, що підлягає контролю, містить елементи пам'яті, наприклад, тригер і необхідно перевірити виходи, пов'язані із станом даного тригеру, то в програмі передбачають установку тригера послідовними командами.

Після закінчення контролю всіх параметрів установка визначає групу придатності ЦІМС або бракує її. Результати контролю можуть бути використані для отримання статистичних даних.

7.3 Методи вимірювання динамічних параметрів

Існує велика кількість цих методів.

Охарактеризуємо принципи вимірювання тимчасових параметрів ЦІМС в наносекундному діапазоні.

Принцип тимчасових розгортки заснований на вимірюванні геометричної відстані між інтервальним і опорним імпульсами, пропорційного вимірюваному тимчасовому інтервалу при різних видах розгортки електронного променя на екрані ЕЛТ.

Неосцилографічний принцип полягає в прямому визначенні коротких імпульсів заповнення вимірюваних тимчасових інтервалів.

Стробоскопічний принцип базується на перетворенні вимірюваного імпульсу наносекундної тривалості в імпульс мілісекундної тривалості за допомогою короткого стробуючого імпульсу, який зміщується з кожним періодом вимірюваного імпульсу.

Інтегральний принцип заснований на інтегральних властивостях заряду ємності конденсатора заздалегідь розширеним імпульсом.

Принцип тимчасової трансформації заснований на тимчасовій трансформації калібрувального сигналу для порівняння з вимірюваним імпульсом.

Розглянемо методи стробоскопічного перетворення і старт-стопового перетворення.

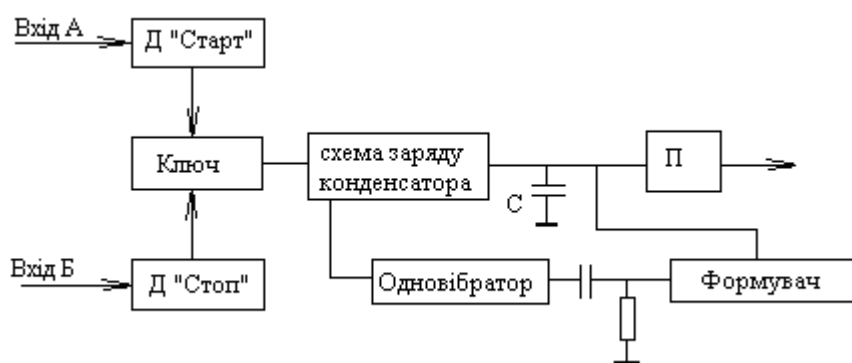
Метод стробоскопічного осцилографування полягає в зміні тимчасового масштабу вимірюваних широкосмугових сигналів, що повторюються, з метою відтворення на звичайному неширокосмуговому осцилографі. Вживане для цього стробоскопічне перетворення досліджуваного сигналу полягає в послідовному стробуванні

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників його коротким (стробуючим) імпульсом, зміщеним в кожному тимчасовому циклі на певну величину, і запам'ятовуванні «вибірок» амплітудних значень сигналу для відновлення форми вхідного сигналу. Кількість «вибірок» (крапок) визначає якість відтворення сигналу (звичайно береться до 1000 крапок).

Недоліки методу:

- великий час контролю;
- режим контролю, далекий від реального застосування схеми.

Метод старт – стопового перетворення здійснює вимірювання тимчасових інтервалів при одноразовій вхідній дії шляхом перетворення вимірюваного тимчасового інтервалу в амплітуду імпульсу такої тривалості, при якій його обробка легко виконується (мал. 7.4)



Малюнок 7.4-Структурна схема перетворювача час-амплітуда (метод старт-стопового перетворення)

У задані моменти часу спрацьовують амплітудні дискримінатори Д та виробляються імпульси «Старт» і «Стоп», які управляють зарядом конденсатора постійної ємності від джерела стабілізованого струму. Заряд конденсатора починається з приходом імпульсу «Старт» і закінчується з приходом імпульсу «Стоп». Напряга на

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників конденсаторі, що є мірою вимірюваного часу, перетвориться в амплітуду вихідного імпульсу тривалістю близько 1 мс, який легко може бути оброблений, тобто переведений в цифрову форму за допомогою перетворювача аналог – цифра.

7.4 Функціональний контроль цифрових ВІС

Функціональний контроль призначений для перевірки істинності логічних функцій, реалізованих в цифровій ВІС. Він полягає в заданні на входи ВІС вхідних послідовностей сигналів і порівнянні вихідних сигналів ВІС з еталонною.

Основні поняття функціонального контролю ВІС.

Тактовий інтервал – інтервал між попереднім і подальшим моментами дискретного часу, що визначає період тестових дій на контрольовану ВІС.

Вхідний набір сигналів – один або декілька логічних сигналів, що подаються на вхідні виводи ВІС в заданому тактовому інтервалі.

Вихідний набір сигналів – один або декілька логічних сигналів, що з'являються на вхідних виводах ВІС в заданому тактовому інтервалі.

Еталонний набір сигналів - один або декілька логічних сигналів, що з'являються на входах працездатної ВІС, аналогічної контрольованої, в заданому тактовому інтервалі.

Слово – сукупність вхідного і еталонного наборів сигналів в заданому тактовому інтервалі.

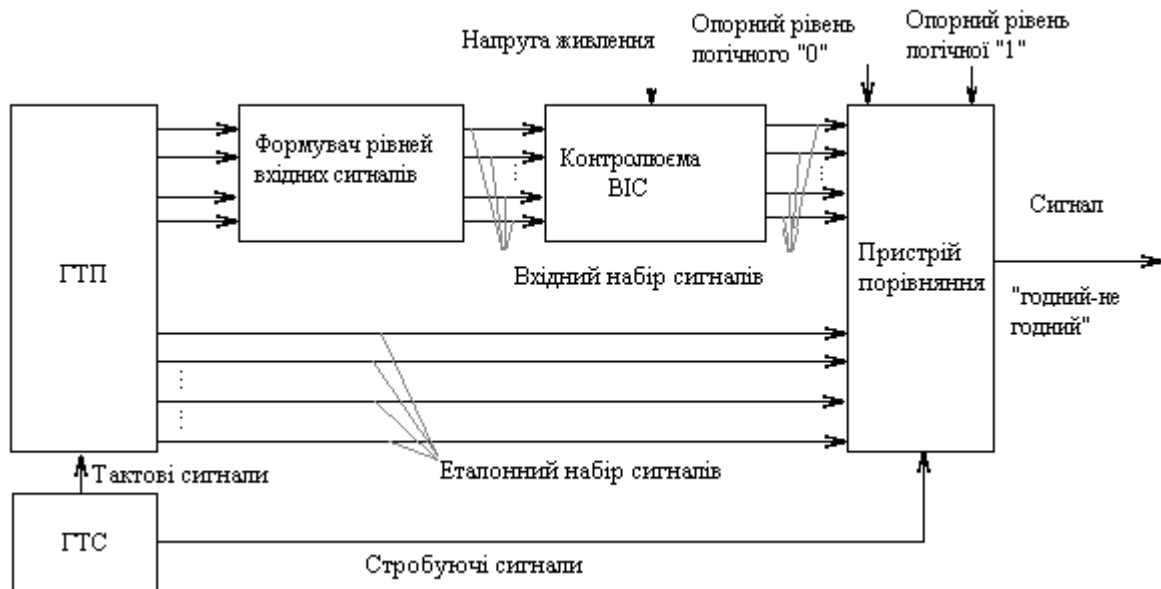
Тестова послідовність – послідовність наступних один за одним слів при функціональному контролі ВІС.

Функціональний тест – операція формування слова, подачі його на контрольовану ВІС, визначення вихідного набору і формування результату порівняння еталонного та вихідного наборів у вигляді сигналу «годний» або «не годний».

Режим функціонального контролю – сукупність параметрів електричних сигналів системи контролю, які не змінюються в процесі виконання функціональних тестів.

Функціональний контроль – операція формування тестової послідовності і виконання функціональних тестів в певному режимі.

Розглянемо схему проведення функціонального контролю (мал. 7.5)



Малюнок 7.5-Схема проведення функціонального контролю ВІС

Генератор тактових сигналів (ГТС) в процесі функціонального контролю формує тактові сигнали із заданим періодом і стробуючі сигнали із заданою затримкою щодо кожного тактового сигналу.

Генератор тестової послідовності (ГТП) в кожному тактовому інтервалі формує слово, частина якого поступає на входи формувачів рівнів вхідних сигналів, де ця частина слова перетворюється у вхідний набір, що містить М сигналів, у яких рі-

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників
вні логічних «0» і «1» відповідають логічним рівням сигналів контрольованої ВІС. З виходів контрольованої ВІС вихідний набір сигналів поступає на входи пристрою порівняння, де здійснюється порівняння вихідного та еталонного наборів, причому спочатку вихідний набір сигналів ВІС за допомогою опорних рівнів логічних «0» і «1» перетворюється у вихідний набір сигналів з рівнями логічних «0» і «1» систем контролю, після чого під час дії стробуючого сигналу відбувається порозрядне порівняння перетвореного вихідного набору з еталонним. В результаті на виході пристрою порівняння в кожному тактовому інтервалі формується сигнал «годний» або «не годний».

При отриманні першого сигналу «не годний» контроль припиняється і результат контролю видається на пристрій індикації. Якщо ж функціональний контроль відбувається до кінця тестової послідовності, то видається результат «годний».

Існує два основних типи генераторів тестової послідовності:

- Які містять запам'ятовуючий пристрій для зберігання тестової послідовності:
- Які виконують алгоритмічні формування тестової послідовності.

В генераторах тестової послідовності першого типу довжина видаваної тестової послідовності обмежується об'ємом ЗП, але при цьому в ЗП можуть заноситися тестові послідовності довільного виду. В алгоритмічних генераторах тестової послідовності довжина тестової послідовності може бути необмежена, але вона має регулярну структуру і не може мати вільний вигляд. Тому генератори першого типу використовують при функціональному контролі ВІС, мікропроцесорів і інших ВІС вільної логіки, а генератори другого типу - при функціональному контролі ВІС ОЗУ, для яких тестові послідовності мають більшу довжину, але постійну структуру.

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ ТРЕТЬОГО МОДУЛЯ

Лабораторна робота №7

Дослідження статичних параметрів логічних мікросхем ТТЛ та КМОН

Мета роботи: дослідити статичні параметри логічних мікросхем ТТЛ та КМОН.

Теоретичні відомості

До цифрових ІМС відносять такі МС, інформація в яких представлена у вигляді логічних одиниць і нулів. Статичними електричними параметрами цифрових ІМС називають сукупність параметрів, що характеризуються струмами і напругами, які визначають режим вимірювання. Ці параметри є параметрами постійного струму і визначаються за всіма виводами ІС. До них відносяться: вхідний і вихідний струми і напруги, струми живлення, струми короткого замикання, тощо.

Методи вимірювання основних електричних статичних параметрів цифрових ІМС представлено на мал.7.6 На малюнку 7.6.а зображена схема для вимірювання струму живлення. На ІС DD подають напругу живлення від джерела G2, а вхідна напруга-від джерела G1. Стан вхідних виводів ІС визначається технічними умовами. Струм живлення вимірюють за допомогою РА, звичайно, за падінням напруги на еталонному резисторі.

На мал.7.6.б показана схема для визначення вхідного струму низького і високого рівнів, тобто постійного струму, що протікає через заданий вхід ІС при заданій напрузі на вході, що подається від джерела живлення G1. Струм вимірюють за допомогою РА, звичайно, за падінням напруги на еталонному резисторі. Значення вхідного струму інших рівнів (G3) визначаються технічними умовами.

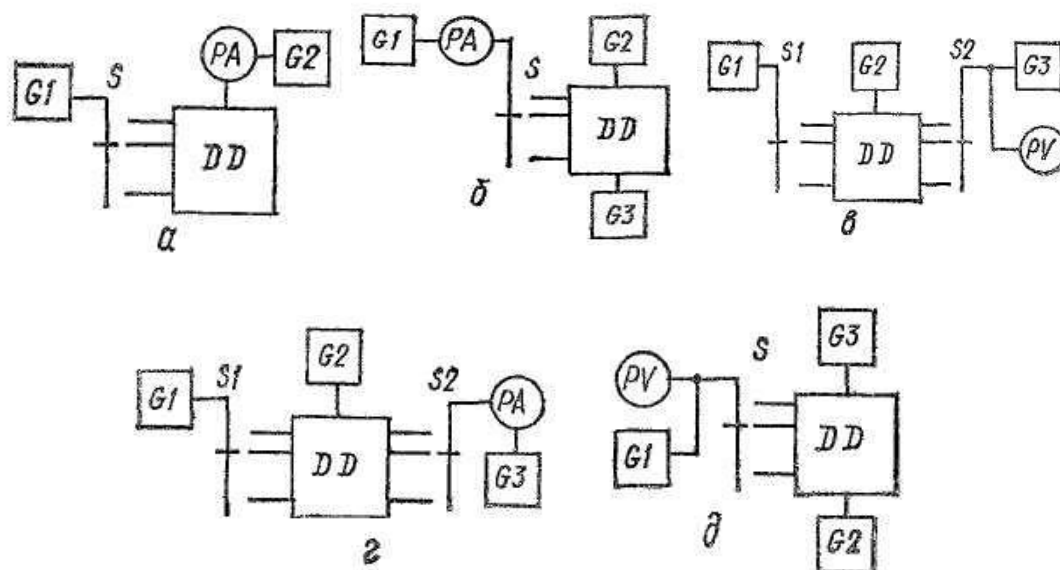
На мал.7.6.в зображена схема для вимірювання вхідної напруги низького і високого рівнів. Напругу живлення подають на ІС DD від джерела G2, вхідну напругу - від джерела G1, а виходи для перевірки МС навантажують струмом від джерела G3, значення якого встановлюється технічними умовами. Напругу вимірюють вимірювачем напруги PV.

На мал.7.6.г показана схема для вихідного струму високого рівня і струму вимкненого стану. На ІС DD подають напругу живлення від джерела G2, вхідну на

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників
 пругу - від джерела G1, а на вихід для перевірки МС напругу від джерела G3, значення якого встановлюється технічними умовами при визначеному рівні вхідного струму.

На мал.7.6.д показана схема для вимірювання напруги блокування. На ІС DD подають напругу живлення від джерела G3. Вхідну напругу підводять до усіх виводів ІС (окрім перевіряемого) від джерела G2. Вхід для перевірки навантажують струмом, значення якого встановлюється технічними умовами, і вимірюють напругу на вході за допомогою PV.

В технічних умовах до конкретного типу МС задаються послідовності подавання напруг та струмів на виводи ІС, порядок їх вимірювання, допустимі похибки і т.і.



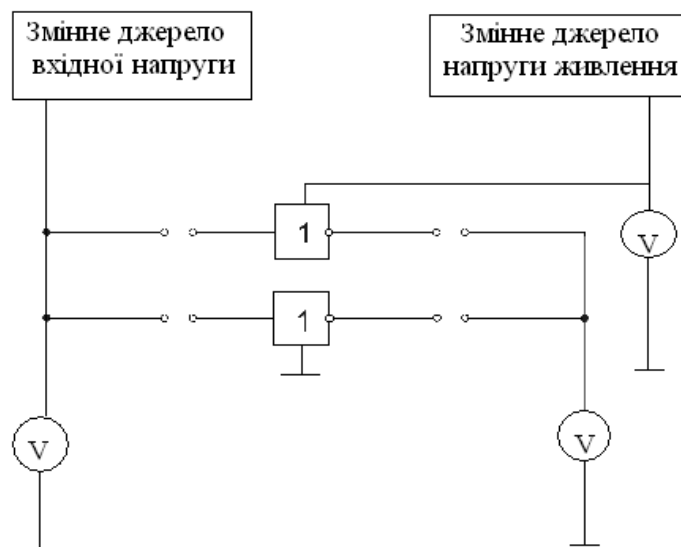
Малюнок 7.6-Методи вимірювання статичних електричних параметрів цифрових ІС

Для перевірки статичних електричних параметрів цифрових ІС необхідні засоби вимірювання, прилади і пристрої, що задовольняють вимогам стандартів, які пред'являються до методів вимірювання цих параметрів, а також технічним умовам ІС. Електричний режим повинен забезпечуватися з точністю, заданою технічними умовами ІС; повторюваність результатів вимірювання повинна відповідати точності

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників вимірювання електричних параметрів. У вимірювальні схеми вводять розв'язуючі, корегуючі та поєднуючі ланцюги, щоб уникнути наводок і генерації.

Порядок виконання роботи

1. Використовуємо стенд. Схема представлена на мал.7.7. Встановити дві перемички, підключивши вхідну і вихідну лінії першої мікросхеми до вольтметра.

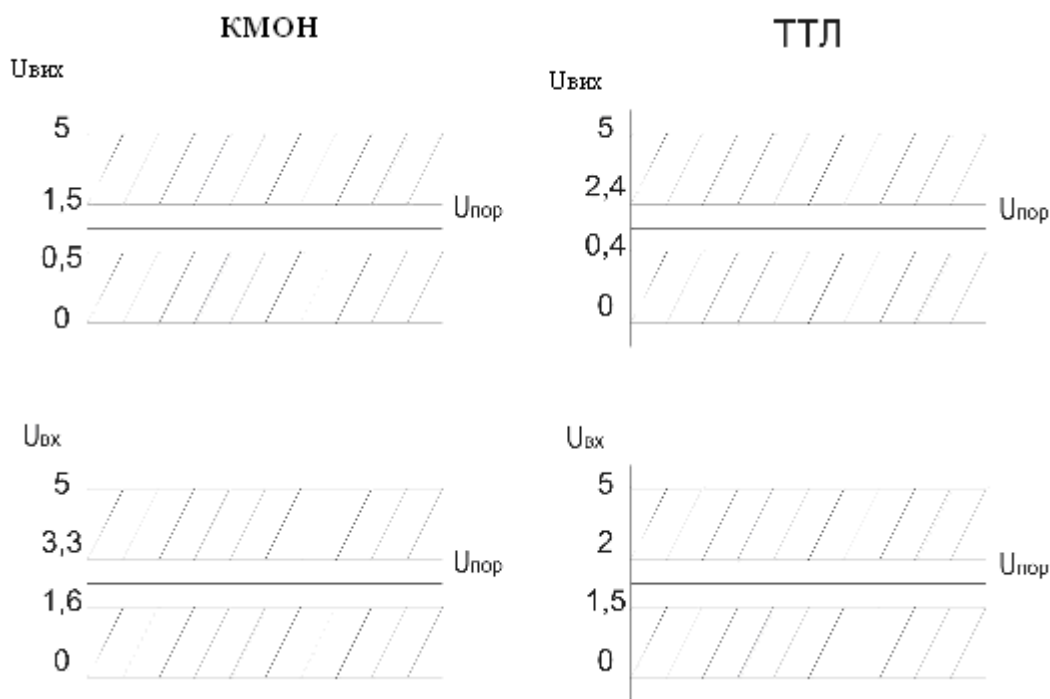


Малюнок 7.7- Схема для вимірювання статичних параметрів

2. Вибрати кнопкою Select режим відображення напруги живлення (повинен зажеврїти тільки правий індикатор Voltage).
3. Встановити резистором Simply Voltage +5V.
4. Переключитися кнопкою Select в режим відображення вхідної та вихідної напруги (повинні зажеврїти обидва індикатора).
5. Змінюючи напругу Voltage Input резистором Voltage Input (збільшуючи) провести вимірювання перехідної характеристики інвертора $U_{вих} = f(U_{вх})$ в повному діапазоні напруги $U_{вх}$ (поблизу границі переключення провести вимірювання з малим кроком).
6. Провести ті ж вимірювання, але змінюючи напругу від максимального до мінімального значень.
7. Провести аналогічні виміри для всіх 5-ти МС.

8. Побудувати перехідні характеристики $U_{вих} = f(U_{вх})$ для всіх МС (у прямому та зворотньому напрямках на одному графіку).

9. Виміряти діапазон $U_{вих}$ та $U_{вх}$ логічних «0» та «1» і за цими значеннями визначити тип МС –ТТЛ або КМОН, використовуючи діаграми мал.7.8.



Малюнок 7.8 – Діаграми значень рівнів логічних «0» та «1» для мікросхем ТТЛ і КМОН логіки

Зміст звіту

Звіт повинен включати тему, мету роботи, схему для вимірювання статичних параметрів, результати вимірів у вигляді таблиці, діаграми, графіки перехідних характеристик $U_{вих} = f(U_{вх})$ для усіх МС (у прямому та зворотньому напрямках)

Контрольні питання

1. Які параметри називаються статичними ?
2. Які параметри називають динамічними ?
3. Навести приклади статичних та динамічних параметрів ІМС.
4. Як виміряти статичні параметри ІМС ?
5. Яка методика проведення вимірювання?

Лабораторна робота №8

Дослідження статичних параметрів дешифраторів

Мета роботи: дослідити методи вимірювання статичних параметрів дешифраторів

Теоретичні відомості

В обчислювальній техніці та автоматичі дешифратори використовують для перетворення кодів чисел в сигнали. Реалізацію функціонального завдання дешифратора найбільш раціонально виконувати на елементах «И-НЕ», в основу яких покладено транзисторно-транзисторну логіку. В функціональній схемі дешифратора серії К 134 ИД6 використовують вісім одноходових і десять чотирьохходових клапанів «И-НЕ». Таблиця істиності має вигляд табл.7.1

Таблиця 7.1-Таблиця істиності дешифратора К134 ИД6

| Входи | | | | Виходи | | | | | | | | | |
|-------|---|---|---|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Кожний з вісімнадцяти клапанів дешифратора - є типовим елементом ТТЛ на відповідну кількість входів (мал.7.9).

Аналізуючи процеси роботи ТТЛ-схеми, приходимо до висновку, що, досліджуючи дешифратори серії К134ИД6, необхідно проводити вимірювання наступних статичних параметрів:

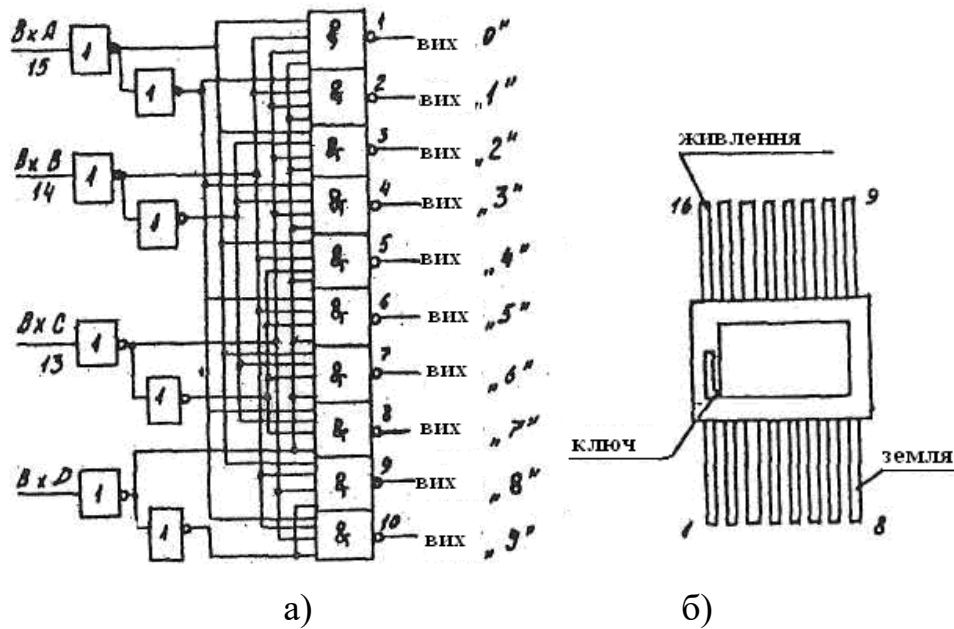
- вихідних напруг нуля і одиниці ($U^0_{вих}, U^1_{вих}$)
- вхідних струмів нуля і одиниці ($I^0_{вх}, I^1_{вх}$)

- струму короткого замикання ($I_{кз}$)
- струму споживання.

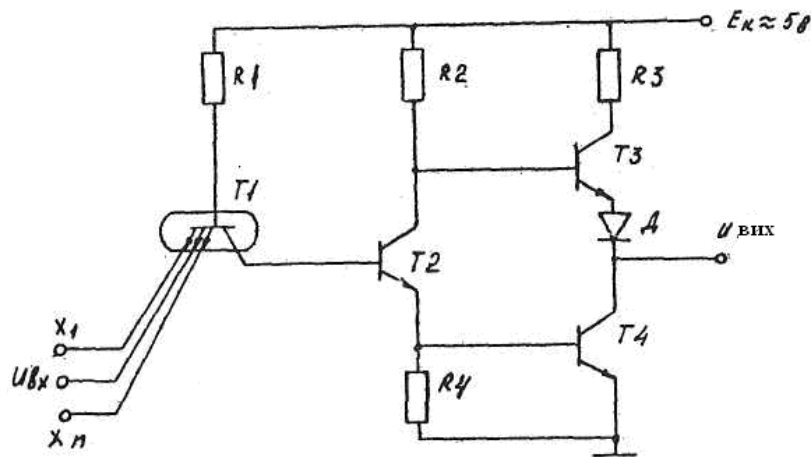
Крім того, оскільки дискретна інформація представляється двома потенційно рознесеними рівнями, необхідно визначитися в межах їх вимірювання. У разі ТТЛ -схем маємо:

рівень, логічного нуля $0 \ll U^0 \ll 0,4$ (В);

рівень логічної одиниці $2,4 \ll U^1 \ll F_{дж}$ (В)



Малюнок 7.9- Функціональна схема дешифратора - а) і схема розташування виводів - б)



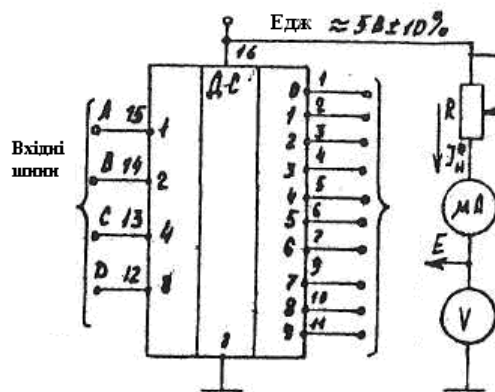
Малюнок 7.10-Типова схема ТТЛ - елемента

Вимірювання напруги логічного нуля $U_{\text{вих}}^0$

Оскільки питомий опір області колектора має більше значення, ніж питомий опір області емітера, то струм, що втікає в транзистор Т4, створює падіння напруги в колекторній області транзистора Т4 . В результаті, при збільшенні навантаження (тобто збільшенні струму, що втікає) спостерігається збільшення вихідної напруги.

Напругу $U_{\text{вих}}^0$ необхідно вимірювати при номінальному струмі, що втікає, який вибирається у відповідності з навантажувальною здатністю даного дешифратора. Для дешифратора серії К134ИД6 визначено значення $I_{\text{вх}}^0 = 180 \text{ мкА}$, а коефіцієнт розгалуження $m = 10$. Тоді номінальний струм схеми визначається як добуток $I_{\text{вх}}^0$ на коефіцієнт розгалуження по виходу ($I_{\text{н}} = 1,80 \text{ мА}$). Дешифратори, в яких при такому номінальному струмі $U_{\text{вих}}^0 \ll 0,4$, вважаються придатними для експлуатації.

На мал. 7.11 зображена схема вимірювання $U_{\text{вих}}^0$. За допомогою вольтметра V спостерігаємо вихідну напругу логічного нуля $U_{\text{вих}}^0$. Слід зазначити, що вхідний опір вимірювального вольтметра повинен бути не менше 500 КОм.



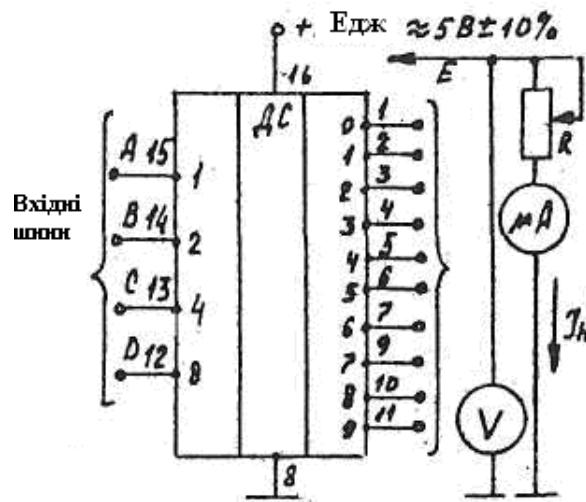
Малюнок 7.11- Схема вимірювання $U_{\text{вих}}^0$

Вимірювання напруги логічної одиниці $U_{\text{вих}}^1$

Згідно схеми на мал. 7.10, вихідний струм логічної одиниці $I_{\text{вих}}$ протікає через резистор R3, транзистор Т3 та діод Д і далі через підключене навантажен-

С.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників
 ня. На цих елементах в результаті протікання струму відбувається падіння напруги, оскільки їх опір має кінцеве значення. Тому вихідну напругу логічної одиниці також слід вимірювати при номінальному витікаючому струмі, який вибирається відповідно з навантажувальною здатністю даного дешифратора. Дешифратор серії К134ИД6 має вхідний струм логічної одиниці в межах $I_{вх}^1 = 12$ мкА при коефіцієнті розгалуження по виходу $m = 10$. Номінальний витікаючий струм визначається як добуток $I_{вх}^1 m$ ($I_n = 120$ мА). Дешифратори, в яких при номінальному струмі $U_{вих}^1 = 2,4$ В, вважаються придатними для експлуатації.

Вимірювальна схема $U_{вих}^1$ зображена на мал. 7.12. На вольтметрі V фіксуються значення вихідної напруги логічної одиниці при різному витікаючому струмі.



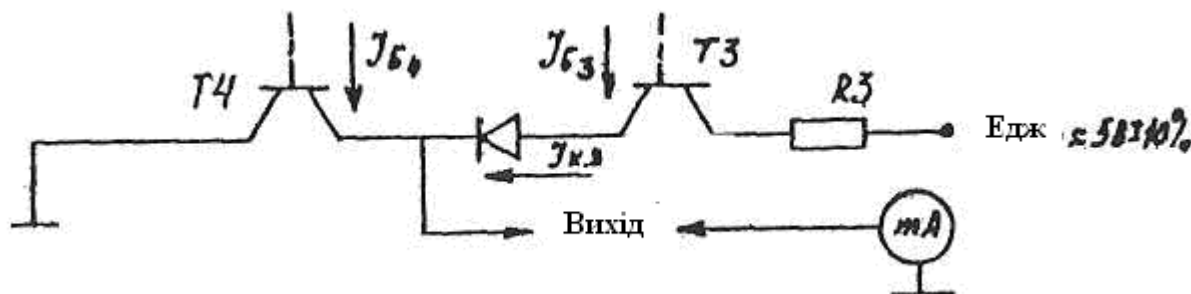
Малюнок 7.12- Схема вимірювання $U_{вих}^1$

Вимірювання струму короткого замикання $I_{кз}$

В процесі роботи, при переході з одного логічного рівня до іншого, протягом короткого проміжку часу всі транзистори ТТЛ-схеми (див. мал. 7.10) Т2, Т3, Т4 опиняються в активному режимі (наприклад, транзистори Т2 іТ4 відчинилися, а транзистор Т3 ще не встиг закритися). При цьому через два послідовно включені відчинені транзистори Т3 і Т4 (мал. 7.13) йде струм короткого замикання (КЗ), що досягає вельми великих значень (до 100 мА).

Ці особливості накладають істотні вимоги до номіналу резистора R3, оскільки в даному випадку струм КЗ обмежує тільки опір вказаного резистора (див.

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників
 мал. 7.13). Для визначення номіналу резистора R3 при випробуванні схем дешифраторів вимірюють $I_{кз}$ по схемі, вказаній на мал. 7.14.



Малюнок 7.13- Схема протікання струму

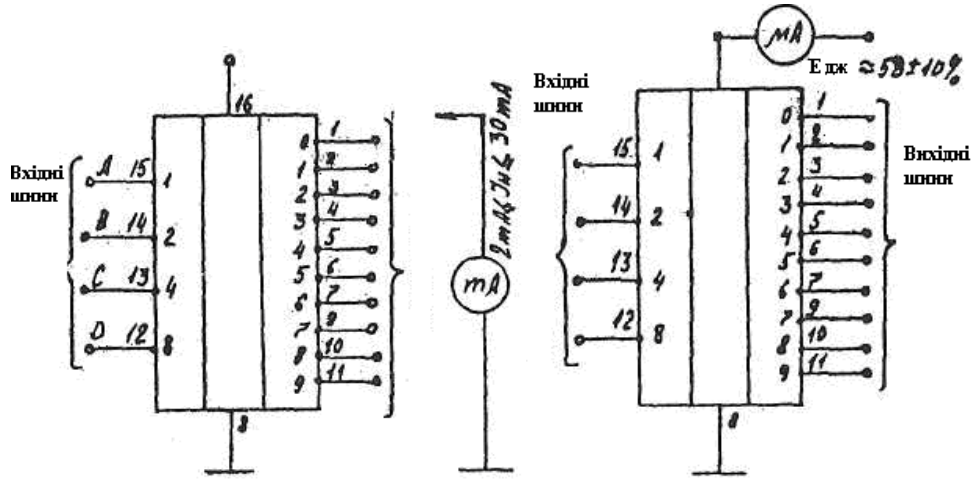
Дана вимірювальна схема вимагає режиму роботи ТТЛ-схеми (мал. 7.10), коли транзистор T5 відчинений, а транзистор T4 зачинений, який при підключенні до виходу схеми міліамперметра буде шунтуватися останнім (див. мал. 7.13). На міліамперметрі при даному режимі будуть показники, відповідні струму K3. Такий режим реалізується в присутності на виході логічної одиниці.

Опір резистора R3 визначається за формулою

$$R3 = \frac{E_{дж}}{I_{кз}}$$

Вимірювання струму споживання $I_{сп}$

Сьогодні розвиток мікроелектроніки спрямований на здійснення подальшої мініатюризації радіоелектронної апаратури, тобто при малому об'ємі, що займає ІС, і малому струмі, споживаному ІС, добиваються максимально можливого рішення функціональних задач. Отже, струм споживання є далеко не останнім по важливості, статичним параметром даної мікросхеми. У дешифраторі серії K134 ИДб струм споживання вимірюється за схемою, що зображена на мал. 7.15



Малюнок 7.14-Схема вимірювання Малюнок 7.15-Схема вимірювання

При вимірюванні струму споживання на всі входні шини дешифратора слід подати рівні логічної одиниці, оскільки струм споживання схеми ТТЛ максимальний в присутності на вході схеми високого потенціалу.

Опис експериментального стенду

Стенд (мал.7.16) призначений для вимірювань напруги логічного нуля, напруги логічної одиниці, вимірювання струму КЗ, виміру струму споживання дешифраторів серії К 134 ИД6.

За паспортними даними напруга живлення дешифраторів серії К134 ИД6 змінюється в межах $E_{дж} = 5 \text{ В} \pm 10\%$. Отже, коливання напруги живлення допустимі в межах від 4,5 до 5,5 В.

При вимірюванні вихідних напруг логічного нуля або одиниці напругу живлення слід вибирати мінімальною ($E_{дж} = +4,5 \text{ В}$). Ця вимога обумовлюється особливостями роботи використання в даних інтегральних схемах типових ТТЛ елементів, показаних на мал. 7.10

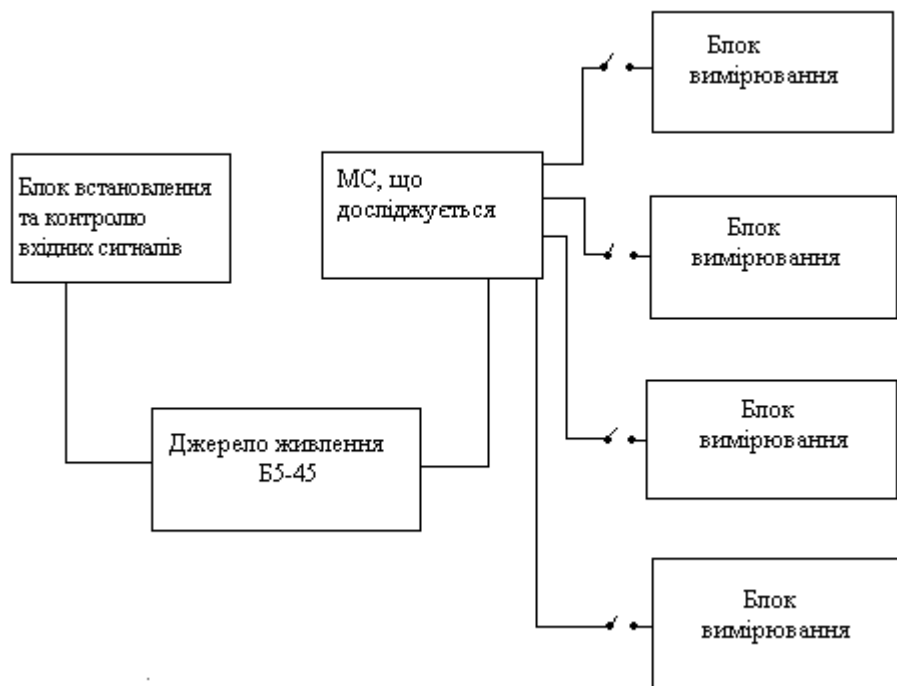
При вимірюванні статичного параметра - напруги виходу логічного нуля $U^0_{вих}$ - при зменшенні напруги живлення, як видно з мал. 7.10 може відбутися недонасиченість транзисторів Т2 і Т4 внаслідок того, що зменшення напруги живлення зменшить потенціал на базі транзистора Т1і, отже, струм бази.

В результаті на вихідній шині дешифратора напруга логічного нуля може перевищити гранично допустиме значення ($U^0_{\text{вих}} = 0,4 \text{ В}$). При вимірюванні статичного параметра - напруги виходу логічної одиниці $U^1_{\text{вих}}$ - при зменшенні напруги живлення, як видно з мал. 7.13, відбувається зменшення струму колектора транзистора ТЗ, підключеного через резистор R3 до джерела живлення. В результаті зменшиться струм емітера транзистора ТЗ, що є вихідним струмом і приведе до зменшення напруги виходу логічної одиниці до значення нижче гранично допустимого ($U^1_{\text{вих}} \gg 2,4 \text{ В}$).

При вимірюванні струму КЗ і струму споживання напругу живлення слід вибирати максимальною ($E_{\text{дж}} = 5,5 \text{ В}$).

При збільшенні напруги живлення, відповідно, збільшаться струм КЗ і струм споживання, оскільки значення цих струмів обмежується тільки опором резисторів (R2,R3,R4).

Отже, при вимірюванні вихідних напруг логічного нуля і одиниці повинно бути: напруга живлення $E_{\text{дж}} = 4,5 \text{ В}$, а при вимірюванні струму КЗ і струму споживання $E_{\text{дж}} = 5,5 \text{ В}$.



Малюнок 7.16- Структурна схема експериментальної установки для вимірювання статичних параметрів дешифраторів

Опис послідовності та порядок проведення лабораторної роботи

Клеми живлення лабораторного стенду підключити до джерела живлення (Б5-45). Встановити на джерелі напругу 4,5 В і струм 12 мА (такі струм і напруга відповідають режиму стабілізації по напрузі джерела). Включити джерело.

Резистором R1 за вольтметром V1 встановити вхідну напругу логічного нуля $U^0_{\text{вих}} = 0,3$ В. Резистором за вольтметром V2 встановити вхідну напругу логічної одиниці $U^1_{\text{вих}} = 2,6$ В.

Перемикачами П1...П4 подати на вхідні шини дешифратора відповідно до таблиці істиності рівні логічного нуля та одиниці. Перемикачем П5 включити блок вимірювання $U^0_{\text{вих}}$, що складається з міліамперметра А1, вольтметра V3 та змінного резистора R3 .

Вихід дешифратора ($\Gamma_{\text{н1}} \dots \Gamma_{\text{н10}}$), який має сигнал, що відповідає рівню логічного нуля (визначається за таблицею істиності) підключить однополюсною вилкою до блоку вимірювання.

Резистором R3 за міліамперметром А1 встановити номінальний струм схеми $I_{\text{н}} = 1,8$ мА.

За вольтметром V3 визначити $U^0_{\text{вих}}$. Виключити блок.

Перемикачем П6 включити блок вимірювання $U^1_{\text{вих}}$, який складається з мікроамперметра А2, вольтметру V4 та змінного опору R4.

Вихід дешифратора ($\Gamma_{\text{н1}} \dots \Gamma_{\text{н10}}$), який має сигнал, що відповідає рівню логічної одиниці (визначається за таблицею істиності) підключить однополюсною вилкою до блоку вимірювання.

Резистором R4 за мікроамперметром А2 встановити номінальний струм схеми $I_{\text{н}} = 120$ мкА.

Вольтметром V4 визначити $U^1_{\text{вих}}$. Виключити блок.

Для вимірювання $I_{\text{кз}}$ та $I_{\text{сп}}$ встановити на джерелі напругу 5,5 В і струм 16 мА.

Перемикачем П7 включити блок вимірювання $I_{кз}$, що складається з міліамперметра А3.

Вихід дешифратора ($\Gamma_{н1} \dots \Gamma_{н10}$), який має сигнал, що відповідає рівню логічної одиниці (визначається за таблицею істиності) підключить однополюсною вилкою до блоку вимірювання.

Міліамперметром А3 визначити $I_{кз}$. Виключити блок.

Для вимірювання струму споживання $I_{сп}$ перемикачами П1...П4 подати на вхідні шини дешифратора сигнал, що відповідає рівню логічної одиниці.

Перемикачем П8 включити блок вимірювання $I_{сп}$, що складається з міліамперметра А4.

За міліамперметром А4 визначити $I_{сп}$. Виключити блок.

Зміст звіту

Короткі теоретичні відомості. Замалювати схеми вимірювання параметрів. Записати в таблицю результати вимірювань: напруги логічного нуля, напруги логічної одиниці, струму КЗ, струму споживання. Проаналізувати результати вимірювань і зробити висновки.

Контрольні питання

1. Способи побудови дешифраторів і їх логічне проектування.
2. Функціональне призначення дешифраторів.
3. Методи вимірювання статичних параметрів дешифраторів.
4. Основні параметри дешифраторів серії К134 ИД6

Теми самостійної роботи до модуля 3

| № п\п | Тема | Зміст | Обсяг годин | |
|-------|-------------|--|-------------|---|
| | | | Д | З |
| 1. | Дешифратори | Способи побудови дешифраторів і їх логічне проектування. Функціональне призначення дешифраторів. Методи вимірювання статичних параметрів дешифраторів. Основні параметри дешифраторів серії К134 ИД6 | 5 | 6 |

Перелік питань до тестового контролю 3 модуля

- Переваги універсального автоматичного устаткування контролю:
 - Малі габарити
 - Простота експлуатації
 - Малі витрати на програмне забезпечення
 - Придатне до мікросхем, виготовлених за різними технологіями
- Контроль, реєструючий тільки факт існування дефектів за принципом «годний -не годний»
 - Діагностуючий контроль
 - Післяопераційний контроль
 - Пасивний контроль
 - Контроль готових ІМС
- Приклад спеціалізованого устаткування:
 - «Елекон СФ»

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

- «Елекон Ф-ЗУМ»
- «ФОДОС»
- «14 ПЛ 300-2»

• У систему контролю з багаторівневим пристроєм програмного управління входять:

- Міні - ЕОМ
- Максї -ЕОМ
- Контролер
- Декілька робочих місць

• Які з перерахованих дій не здійснює ЕОМ в автоматичному контрольно-випробуваному устаткуванні:

- Вимірювання статичних параметрів
- Вимірювання динамічних параметрів
- Управління процесом контролю
- Обробка даних за результатами контролю

• Універсальне устаткування призначене для:

- Забезпечення виробництва ІМС даного типу
- Вхідного контролю у споживача
- Детального контролю розробленої знову ІМС
- Відпрацювання технологічного процесу

• Категорії випробувань за типом дії діляться на:

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

- Попередні та приймальні
 - Кваліфікаційні, приймально – здавальні, періодичні
 - Державні, міжвідомчі
 - Кліматичні, механічні
-
- Вимірювання електричних величин в сталому режимі – це вимірювання:
 - Статичних параметрів
 - Експлуатаційних параметрів
 - Параметрів надійності
 - Динамічних параметрів
-
- Технічні засоби автоматичних систем вимірювання і контролю електричних параметрів ІМС повинні включати:
 - Інформаційну базу
 - Засоби метрологічного забезпечення
 - Засоби моделювання ІМС
 - Мову контролю та бібліотеку програм
-
- Пристрої програмного управління діляться на:
 - Однорівневі та багаторівневі
 - Двох- і трирівневі
 - Універсальні і спеціалізовані
 - Стаціонарні і портативні
-
- Категорії випробувань за видами готової продукції діляться на:

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

- Попередні, приймальні
 - Кваліфікаційні, приймально – здавальні, періодичні
 - Державні, міжвідомчі
 - Кліматичні, механічні
-
- Блок контролю та вимірювань в установці контролю:
 - Здійснює порівняння вихідного сигналу контрольованої ІМС з нормою
 - Задає вхідні параметри ІМС, включаючи джерело живлення
 - Визначає усі тимчасові співвідношення контролю
 - Виконує функції прийому, зберігання переліку команд і даних контролю, розподіл інформації в реєстри всіх блоків
-
- Контроль, що дозволяє дати оцінку якості матеріалів, напівфабрикатів тих, що поступають на операцію називається:
 - Фінішний
 - Післяопераційний
 - Вхідний
 - Пасивний
-
- Випробування, що проводяться для нової конструкції серійно - виготовлених приладів, називаються:
 - Періодичні
 - Кваліфікаційні
 - Приймально-здавальні
 - За спеціальною програмою

• Якщо випробування проводять на вибірці пристроїв, що накопичуються з різних партій, виготовлених за контрольований період, то вони називаються:

- Періодичні
- Кваліфікаційні
- Приймально-здавальні
- За спеціальною програмою

• Блок синхронізації в установці контролю:

- Здійснює порівняння вихідного сигналу контрольованої ІМС з нормою
- Задає вхідні параметри ІМС, включаючи джерело живлення
- Визначає всі тимчасові співвідношення контролю
- Виконує функції прийому, зберігання переліку команд і даних контролю, розподіл інформації в реєстри всіх блоків

• Неруйнуючим випробуванням піддають:

- Один пристрій
- Всю партію пристроїв
- Вибірку
- Всю партію пристроїв або вибірку

• Категорії випробувань за етапами їх розробки діляться на:

- Попередні, приймальні
- Кваліфікаційні, приймально – здавальні, періодичні
- Державні, міжвідомчі
- Кліматичні, механічні

- Пристрій управління в установці контролю:
 - Здійснює порівняння вихідного сигналу контрольованої ІМС з нормою
 - Задає вхідні параметри ІМС, включаючи джерело живлення
 - Визначає всі тимчасові співвідношення контролю
 - Виконує функції прийому, зберігання переліку команд і даних контролю, розподіл інформації в регістри всіх блоків

- Вимірювання часу перехідного процесу, обмеженого певним рівнем – це вимірювання:
 - Статичних параметрів
 - Експлуатаційних параметрів
 - Параметрів надійності
 - Динамічних параметрів

- Категорії випробувань за рівнем їх проведення діляться на:
 - Попередні, приймальні
 - Кваліфікаційні, приймально – здавальні, періодичні
 - Державні, міжвідомчі
 - Кліматичні, механічні

- Приклад універсального устаткування:
 - «Елекон СФ»
 - «Елекон Ф-ЗУМ»
 - «ФОДОС»
 - «14 ПЛ 300-2»

- Які з перерахованих дій не здійснює установка контролю в автоматичному контрольно-випробному устаткуванні:
 - Вимірювання статичних параметрів
 - Вимірювання динамічних параметрів
 - Управління процесом контролю
 - Обробка даних про результати контролю

- Устаткування, призначене, для повного контролю однієї категорії ІМС різної функціональної складності і технології виготовлення називається:
 - Спеціалізоване
 - Автоматизоване
 - Універсальне
 - Немає правильної відповіді

- Пристрої програмного управління в установці контролю можуть бути виконані на основі:
 - Трансформаторів
 - Контролерів
 - Мікропроцесорів
 - Генераторів

- Спеціалізоване устаткування призначене для:
 - Забезпечення виробництва ІМС даного типу
 - Вхідного контролю у споживача
 - Детального контролю внов розробленої ІМС
 - Відпрацювання технологічного процесу

- Контроль, який дає інформацію про природу дефектів, що дозволяє вносити корективи у виробничий процес називається:
 - Діагностуючий контроль
 - Післяопераційний контроль
 - Пасивний контроль
 - Контроль готових ІМС

- Контролер в системі контролю з багаторівневим пристроєм програмного управління служить для:
 - Накопичення і пересилки результатів контролю ІМС з метою подальшої обробки
 - Забезпечення зберігання, підготовки програм контролю ІМС
 - Статичної обробки накопичених результатів контролю
 - Немає правильної відповіді

- Щоб перевірити вхідну місткість ЦІМС малого ступеня інтеграції необхідно:
 - Перевірити таблицю істинності
 - Перебрати всю кількість вхідних сигналів і відповідних їм вихідних
 - Виміряти різницю напруг між виводом та однією з шин живлення
 - Немає правильної відповіді

- Контроль напівпровідникових ІМС щодо функціонування на неподіленій пластині називається:
 - Фінішний
 - Післяопераційний

- Вхідний
 - Пасивний
-
- Міні - ЕОМ в системі контролю з багаторівневим пристроєм програмного управління служить для:
 - Організації завантаження в контролер програм контролю ІМС
 - Накопичення і пересилки результатів контролю ІМС з метою подальшої обробки
 - Забезпечення зберігання, підготовки програм контролю ІМС
 - Статичної обробки накопичених результатів контролю
-
- Кількість ІМС, що перевіряються в одиницю часу – це:
 - Працездатність
 - Швидкодія
 - Надійність
 - Продуктивність
-
- Щоб перевірити функції перетворення і обробки сигналів ЦІМС малого ступеня інтеграції необхідно:
 - Перевірити таблицю істиності
 - Перебрати всю кількість вхідних сигналів і відповідних їм вихідних
 - Перевірити число входів і виходів ІМС
 - Перевірити струм споживання
-
- Контроль, що застосовується перед установкою ІМС в апаратуру:

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

- Діагностуючий контроль
 - Післяопераційний контроль
 - Пасивний контроль
 - Контроль готових ІМС
-
- Контроль, який здійснюється з метою оцінки якості проведення операції, називається:
 - Фінішний
 - Післяопераційний
 - Вхідний
 - Пасивний
-
- Переваги спеціалізованого автоматичного устаткування контролю:
 - Малі габарити
 - Простота експлуатації
 - Малі витрати на програмне забезпечення
 - Немає правильної відповіді
-
- Щоб перевірити вихідну напругу логічного «0» та вихідну напругу логічного «1» ІМС малого ступеня інтеграції необхідно:
 - Визначити різницю напруг між виводом та однією з шин живлення
 - Перевірити таблицю істинності
 - Перебрати всю кількість вхідних сигналів і відповідних їм вихідних
 - Визначити час затримки розподілу сигналу

- Руйнуючим випробуванням піддають:
 - Один пристрій
 - Всю партію пристроїв
 - Вибірку
 - Всю партію пристроїв або вибірку

- Випробування за виглядом дії підрозділяються на:
 - Постійні і тимчасові
 - Тривалі і короткочасні
 - Руйнуючі і неруйнуючі
 - Кваліфікаційні і приймально-здавальні

- Дефекти напівпровідникових приладів діляться на:
 - Відкриті і закриті
 - Явно виражені і приховані
 - Великі і маленькі
 - Прямі і непрямі

- Блок вхідних дій в установці контролю:
 - Здійснює порівняння вихідного сигналу контрольованої ІМС з нормою
 - Задає вхідні параметри ІМС, включаючи джерело живлення
 - Визначає всі тимчасові співвідношення контролю
 - Виконує функції прийому, зберігання переліку команд і даних контролю, розподіл інформації в регістри всіх блоків

- Процес виявлення явних і прихованих дефектів називається:
 - Діагностуючий контроль
 - Виробничий контроль
 - Пасивний контроль
 - Контроль готових ІМС

- Робоче місце в установці контролю:
 - Контактуючий пристрій і спеціальні схеми, необхідні для створення умов контролю
 - Задає вхідні параметри ІМС, включаючи джерело живлення
 - Визначає всі тимчасові співвідношення контролю
 - Виконує функції прийому, зберігання переліку команд і даних контролю, розподіл інформації в реєстри всіх блоків

- Якщо випробуванням піддають всю партію, що здається, то вони називаються:
 - Періодичні
 - Кваліфікаційні
 - Приймально-здавальні
 - За спеціальною програмою

- Способи підвищення продуктивності устаткування контролю:
 - Застосування ЕОМ
 - Поєднання контролю статичних і динамічних параметрів в одній установці контролю
 - Застосування пристрою контролю статичний параметрів ІМС, що працюють в мультиплексному режимі

- Застосування пристроїв контролю з паралельним контролем декількох ІМС

- Комутуюча матриця в установці контролю:
 - Здійснює порівняння вихідного сигналу контрольованої ІМС з нормою
 - Здійснює електричне з'єднання блоку вхідних дій і блоком контролю та вимірювання з виведенням контрольованої ІМС
 - Визначає всі тимчасові співвідношення контролю
 - Виконує функції прийому, зберігання переліку команд і даних контролю, розподіл інформації в регістри всіх блоків

- Устаткування, яке призначене для контролю ІМС певного типу та має, як правило, знімний блок, що задає умови контролю конкретного типу ІМС називається:
 - Спеціалізоване
 - Автоматизоване
 - Універсальне
 - Немає правильної відповіді

- Випробування на тривале зберігання називаються:
 - Періодичні
 - Кваліфікаційні
 - Приймально-здавальні
 - За спеціальною програмою

- Автоматизоване контрольно-випробне устаткування розділяється на:
 - Установка контролю і робоче місце
 - Робоче місце і контрольована ІМС
 - ЕОМ і ІМС
 - ЕОМ і установка контролю

- Щоб перевірити час затримки розподілу сигналу в ЦІМС малого ступеня інтеграції необхідно:
 - Перевірити таблицю істинності
 - Перебрати всю кількість входних сигналів і відповідних їм вихідних
 - Визначити різницю напруг між виводом та однією з шин живлення
 - Шляхом формування переходів від однієї комбінації входних сигналів до іншої виміряти час від моменту зміни сигналів на входах до моменту зміни сигналів на виходах

МОДУЛЬ IV. Курсовий проект

Курсовий проект з дисципліни «Діагностика, контроль та випробування напівпровідникових приладів» - закінчена навчальна комплексна робота, яка виконується під керівництвом викладача, та представляє собою самостійну розробку в галузі даного курсу, оформлена у вигляді пояснювальної записки з двома плакатами. До складу курсового проекту входять результати аналізу науково-технічної та патентної літератури, власні теоретичні та схемотехнічні рішення, які базуються на здобутих студентом спеціальних знаннях та практичних навичках у рамках дисципліни.

СТРУКТУРА ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

- Титульний лист (див. приклад)
- Завдання на курсовий проект заповнюється на стандартному бланку (див. приклад)
- Реферат-1 сторінка (див. приклад)
- Зміст -1...2 сторінки
- Перелік скорочень (при необхідності)
- Вступ -1...2 сторінки
- 1. Огляд науково-технічної та патентної літератури – 10 сторінок
- 2-3 Аналітично - схемотехнічна або спеціальна частини -10-15 сторінок
- Виводи -1сторінка
- Перелік літературних посилань -1...2 сторінки
- Додатки

Приблизний обсяг пояснювальної записки 30...35 сторінок

Титульний лист, завдання та реферат виконуються обов'язково на українській мові.

Реферат відповідно ДСТУ 3005-98 містить узагальнені відомості про роботу, кількості малюнків, таблиць та літературних посилань, перелік ключових слів тексту

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

записки. Ключові слова, в кількості 10 слів, повинні достатньо повно відображати специфіку та напрям досліджень. Потім складається узагальнене коротке викладення змісту та результатів курсового проекту за основними розділами записки.

Зміст включає усі заголовки розділів та параграфів пояснювальної записки з вказівкою сторінок, на яких вони розташовані.

Перелік посилань включається в записку, якщо число скорочень перевищує 20. В інших випадках розшифровка скорочень дається в тексті при їх першому згадуванні.

У вступі надаються відомості про стан та шляхи вирішення завдання, оцінюється його рівень, в порівнянні з відомими досягненнями, обґрунтовується актуальність проекту.

Огляд науково-технічної та патентної літератури за темою проекту є першим розділом пояснювальної записки. Викладення змісту цього розділу повинно супроводжуватися посиланнями на літературу, що приводяться в квадратних дужках за текстом.

Спеціальні частини курсового проекту повинні розкривати тему, де повинні бути представлені: обладнання для проведення випробувань за даною категорією, наведена мікросхема, принцип її роботи, електричні та експлуатаційні параметри, описана методика та побудована схема для випробування запропонованої в завданні мікросхеми.

Виводи представляються у вигляді конкретних пунктів, резюмуючи основні результати за розділами пояснювальної записки. Їх зміст повинен бути лаконічним, чітким та ясным.

Перелік посилань повинен включати усі використані при виконанні проекту джерела інформації. Відсутність посилань є плагіатом. Викладення основних розділів записки повинно супроводжуватися посиланнями на джерела інформації. Список літератури складається, відповідно, з порядком згадування посилань у тексті. Якщо одне й теж саме джерело згадується у тексті декілька разів, то у списку літератури він вказується один раз. Для курсового проекту список літератури повинен мати не менш ніж 10...15 джерел інформації.

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

Приклади оформлення бібліографічних посилань наведені у прикладі пояснювальної записки до курсового проекту.

ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальна записка виконується згідно з вимогами ГОСТу 2.105-95 та ДСТУ 3008-95.

Текст пояснювальної записки пишеться на одній сторінці листа білого паперу формату А4 (210×297 мм) ГОСТ 2ю301-68. Для оформлення пропонується використовувати формат Microsoft Word 97...2000; шрифт Times New Roman; розмір шрифту 14; інтервал між строками 1,5; відступ 5 знаків.

На папері оставляють поля: верхнє, лівє, нижнє –не менше 20 мм, правє –не менше 10 мм. Відступ від верхнього краю листа до заголовку повинен бути 35 мм, від заголовку розділу до параграфу -30 мм, від заголовку параграфу до першої строчки тексту -10 мм.

Нумерація сторінок повинна бути єдина протягом усього проекту, арабськими цифрами у верхньому правому куті. На титульному листі, завданні, рефераті та змісті номери не ставляться, але ці листи враховуються в загальну нумерацію сторінок.

Кожен розділ починається з окремої сторінки. Основні розділи позначаються порядковими арабськими цифрами. Після цифри крапка не ставиться. Підкреслювати, переносити слова у назвах розділів, параграфів і плакатів та ставити крапки не допускається.

Розділи включають підрозділи, пункти та підпункти, які позначаються арабськими цифрами: цифрою розділу, після якої крапка ставиться, а потім цифрою порядкового номеру підрозділу, після якого крапка не ставиться (наприклад: 2.1 другий розділ, перший підрозділ). Підрозділи, пункти та підпункти розташовуються за текстом, не вимагаючи нової сторінки. Не допускається розміщувати назву розділу, чи підрозділу в нижній частині сторінки, якщо після нього розташована тільки одна строчка тексту.

Буквені позначення фізичних, хімічних та математичних величин повинні відповідати вимогам стандартів та Міжнародній системі одиниць (СИ)

Формули виконуються у редакторі формул та нумеруються арабськими цифрами у межах розділу. Номер формули повинен включати номер розділу та порядко-

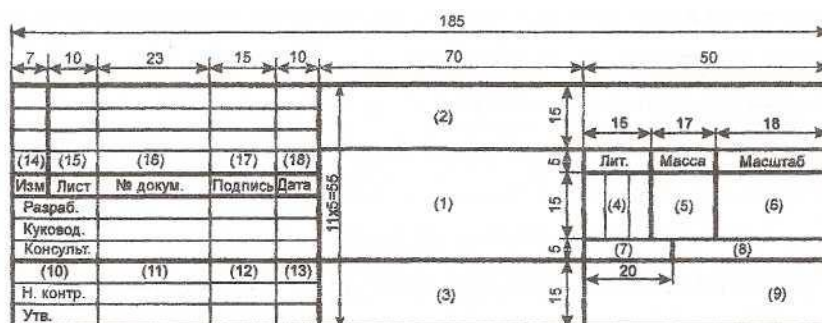
Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників
вий номер формули, розділених крапкою. Номер формули розміщують у круглих дужках та розташовують з правої сторони сторінки навпроти формули (приклад оформлення дивись у прикладі пояснювальної записки).

Таблиці повинні мати підпис з номером, який включає номер розділу та порядковий номер таблиці, розділених крапкою. Потім пишеться назва таблиці без крапки в кінці і наводиться сама таблиця. Таблиця розташовується зразу після тексту, де її згадують вперше, або на слідуючій сторінці.

Малюнки розташовують після посилання на них у тексті. Назва малюнку розміщується під малюнком. При необхідності між малюнком та підписом розміщують пояснення. Номер малюнку складається з номеру розділу та порядкового номеру малюнка, та починається зі слова «малюнок». Після номеру ставиться тире та з великої літери пишеться назва малюнку без крапки вкінці (наприклад: Малюнок 2.1-Установка для випробування мікросхем)

В додатки виносять матеріал, який не може бути послідовно розміщений в основній частині із-за великого обсягу або іншого формату. В додатки виносять схеми, таблиці, малюнки і т.і. Додаток повинен мати у верхньому куті листа підпис «Додаток». Якщо їх більше одного, то нумерація виконується літерами (наприклад: «Додаток А»).

До курсового проекту додаються два плакати формату А1 згідно з ГОСТ 2.301-68. На них відображають основні результати роботи. Не можна виносити на плакати інформацію, якої немає в пояснювальній записці. Назва плакату повинна бути короткою та відповідати змісту. Основний підпис розміщується на зворотньому боці плакату в нижньому правому куті.



В графі 1 – назва виробу, зображеного на кресленні;

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

в графі 2 - позначення креслення;

в графі 3 - позначення матеріалу деталі. В курсовому проекті не заповнюється;

в графі 4 - літера; в першій колонці - літеру К- для курсового проекту; в другій колонці - літеру Е - для ескізного проекту, Т - для технічного та Р - для робочого проекту; в графічних роботах розрахункового характеру літери не ставлять;

в графі 5 - вага виробу; якщо вага вказана в кілограмах, то "кг" не пишуть,

в інших випадках одиниці вказують;

в графі 6 - масштаб;

в графі 7 - порядковий номер листа;

в графі 8 – загальна кількість листів;

в графі 9 - найменування міністерства, інституту, кафедри і групи;

в графі 10 – посада виконавця, який підписав документ;

в графі 11- прізвища осіб, що підписали документ;

в графі 12 - підписи;

в графі 13 - дати підпису;

в графах 14-18 - зміни, що вносили в креслення; в навчальному закладі графі 14- 18 не заповнюють.

Приклад виконання курсового проекту наведено в методичних вказівках до курсового проекту з дисципліни «Діагностика, контроль та випробування напівпровідникових приладів» авторів Небеснюк О.Ю., Ніконова З.А., Ніконова А.О.

ЗАВДАННЯ НА КУРСОВИЙ ПРОЕКТ

1. Обладнання і технологія проведення контролю параметрів ІМС 580 (контролю клавіатури ВВ55).
2. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією К-15 мікросхем серії К 176 ЛИ 3.
3. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією П-1
4. Контроль на працездатність ІС малого ступеню інтеграції К155ИД9.
5. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією К-9.
6. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією П 5 мікросхеми серії 565.
7. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією К 4.
8. Технологія випробування мікросхеми К 155 ЛА 3 за категорією П 3.
9. Технологія випробування мікросхеми К 155 ЛА 4 за категорією К 9.
10. Технологія випробування мікросхеми МС 133 ЛА 3 за категорією К 5.
11. Технологія випробування мікросхеми МС К155ЛА 7 за категорією К 5.
12. Технологія випробування мікросхеми К155 ЛН-1 за категорією П 4,
13. Технологія випробування мікросхеми К 564 ЛА 7 за категорією К 9.
14. Технологія випробування мікросхеми МС К 155 ЛА 7 за категорією П-6.
15. Технологія випробування мікросхеми 564 ЛН-2 за категорією К-4.
16. Технологія випробування мікросхеми К-155ЛА 1 за категорією П-2.
17. Перевірка зовнішнього вигляду та маркування ІМС.
18. Обладнання і технологія виявлення дефектних р-п переходів та дослідження їх ВАХ.
19. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією К-4.
20. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією К 10.
21. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією П 2.
22. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією П 3
23. Випробувач цифрових ІС Л 2-60.
24. Обладнання і технологія проведення випробувань за категорією К-3.

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

25. Контроль ІМС К 155-ЛА-2 за категорією К-10.

26. Контроль ІМС К 155 ЛЕ-2 малого ступеню інтеграції.

27. Контроль МС серії 500 за категорією К-10.

28. Контроль 155 серії за категорією К 3.

Література

1. Степаненко І.П. Основи мікроелектроніки. – М.: Рад. радіо, 1980 – 424 с.
2. Гершунський Б.С. Основи електроніки та мікроелектроніки.-К.: Вища. шк., 1987.-422с.
3. Докучаєв М.И., Козирєв И.Я., Онопко Д.И. Випробування і вимірювання інтегральних мікросхем.- М.: Вид. МИЭТ, 1978. 260 с
4. Курносів А.И., Юдін В.В. Технологія виробництва н/п приладів і ІМС.- М: Вища шк, 1986.
5. Чистяков Ю.Д., Райнова Ю.П. Фізико-хімічні основи технології мікроелектроніки. – М.: Металургія, 1979.
6. Довідник по радіоелектронним пристроям /. Під ред. Д.Г.Лінде.-М.: Енергія, 1978, с. 400-401, 403-405.
7. Гусєв В.В і ін. Основи імпульсної і цифрової техніки. -М.: Рад. радіо, 1975, с. 133-138, 377-379. .
8. Вавілов М.С. Мікроелектроніка в цифровій техніці. - М.: Знання, 1977. с. 23-26.
9. Алексеєнко А.Г. Основи мікросхемотехніки. -М.: Рад. радіо, 1977, с. 58-65.
10. Довідник по інтегральних мікросхемах / Під ред. Б.В.Тарарина. - М.: Енергія, 1977.
11. Вимірювання і контроль в мікроелектроніці / Під ред. А.А.Сазонова. - М.: Висш. шк., 1984. - С. 85-87.
12. Батавін В. В. Контроль параметрів напівпровідникових матеріалів і епітаксійних шарів. - М.: Рад. радіо ,1998
13. Малишева І.А. «Технологія виробництва інтегральних мікросхем», М., Радіо і зв'язок 1991.
14. Курносів А.І. «Технологія виробництва напівпровідникових приладів і інтегральних мікросхем» М., 1979.
15. www.asic.ru/pdf/5503xml_tu.pdf
16. www.asty-dog.narod.ru/Chapter_6_CLIMATIC_TESTS
17. www.lalls.narod.ru/NTD/GOST/gost23213-84.pdf

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

18. www.ruscable.ru/doc/documentation/gost/03-10348-80

19. www.standards.ru

20. www.bys.rus-portal.ru

21. www.ukkm.ru

22. www.mte.ru

23.Ефимов И.Б., Козырь И.Я., Горбунов Ю.И. Микроэлектроника. Физические и технологические основы, надежность.- М.: Высш. школа, 1986.- 364 с.

24. Эйдулас Д.Ю. и др. Измерение параметров цифровых интегральных микросхем. - М: Радио и связь, 1982. - 325 с.

25. Микросхемы интегральные. ОТУ ГОСТ 18725 - 83.

26. Цифровые и аналоговые интегральные схемы: Справочник / Под ред.СВ. Якубовского. - М: Радио и связь, 1989. - 496 с.

27. Копыл Г.Ф. Основы технологии и оборудования производства микроэлектронных устройств.- К: Вища шк..1992.

28. Аронов В.Л., Федотов Я.А. Испытание и исследование полупроводниковых приборов.-М: Высш.шк., 1975.

29. Малышева И.А. «Технология производства интегральных микросхем», М.,Радио и связь 1991.

30. Швець Е.Я., Дмитриева Л.Б. Методические указания для выполнения дипломных работ и проектов.- Запорожье: РИО ЗГИА, 1998

31. Новицкий П.В. Основы информационной теории измерительных устройств.-Л.: Энергия, 1988

32. Байда Л.И., Добротворский Н.С., Душин Е.М. Электрические измерения.-Л.: Энергия, 1990

33. Барканов Н.А., Якубовский С.В., Кудряшов Б.П. Аналоговые и цифровые ИС.-М.: Советское радио, 1980

34. Дедов Ю.А., Островский М.А., Песелев К.В. Малые ЭВМ и их применение.- М.:Статистика,1990

35. Богородицкий Л.А., Попов П.С., Гаврилов Ю.В. Опыт и результаты внедрения и эксплуатации оборудования для контроля динамических параметров ИС- Электронная техника

Є.Я. Швець, О.Ю.Небеснюк, З.А.Ніконова., А.О.Ніконова .Діагностика, контроль та випробування напівпровідників

№7, 200

36. Андреев В.П., Баранов В.В., Бекин Н.В. Полупроводниковые запоминающие устройства и их применение.-М: Радио и связь, 2001