

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 приладів 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 весь 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 чотиріполюсника, вимірювані за допомогою малого сигналу;

в) параметри фізичної еквівалентної схеми;

г) імпульсні параметри;

д) теплові параметри;

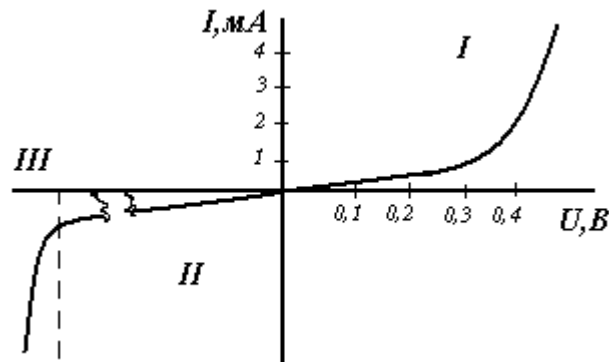
е) параметри генераторних приладів;

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.):

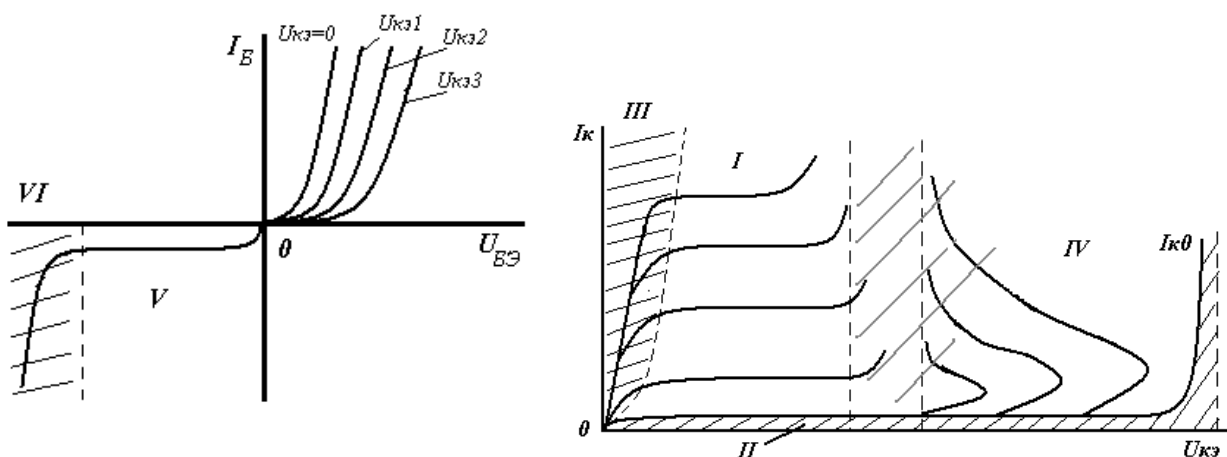


Малюнок 1.1-Система визначення статичних параметрів діодів

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

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

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

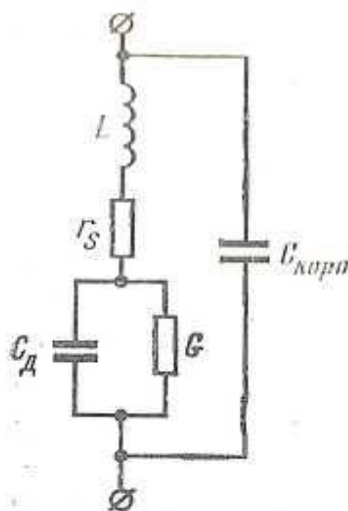
При прикладенні до приладу малих (в порівнянні з постійними складовими) струмів і напруг нелінійність характеристик напівпровідникового приладу стає неіс-

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 p-n переходу і вимірюваного послідовного опо-

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

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 всі 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.

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, по можливості 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 відповідність 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	вibraції		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 маркування 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.

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:

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

Для оцінки середньої довговічності великої сукупності приладів використовується середній час безвідмовної роботи $t_{ср}$, 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, зв'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 $\lambda(t)dt = -\frac{dP}{P}$ $\int \lambda(t)dt = -\int \frac{dP}{P}$

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

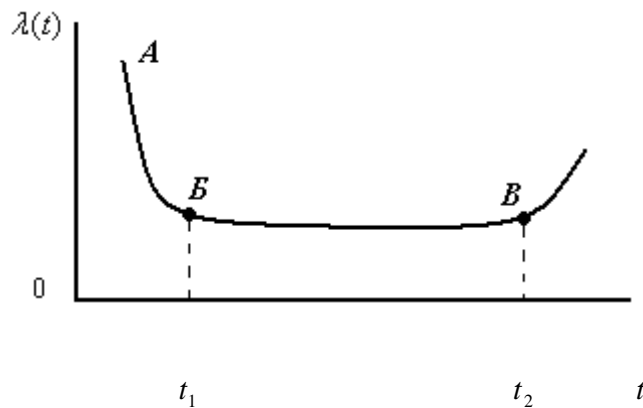
$$\boxed{P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(\tau) d\tau}}; \quad (2.7)$$

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

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

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 АВ 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 ВВ 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 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-n - переходів;
- пробивні напруги різних переходів $U_{ке}$ $U_{кб}$ $U_{еб}$;
- коефіцієнт підсилення за струмом в схемі із загальним емітером h_{21e} ;
- 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
Застосування	Утворення “вусів” на металізації, корозія	КЗ, О
	Проникнення вологи	О, Д
	Дія статичної електрики	КЗ, О, Д
	Перевищення допустимих електричних режимів	КЗ, О, Д

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.

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 частку 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;

- 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 короткочасних 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 кожну 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, в які 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^x до 400^x . 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 - не-

ликі 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 відповідають 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 , широкий температурний діапазон - від 30 до декількох сотень градусів, висока швидкість спрацювання - одиниці мкс, не руйнуюче 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-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.

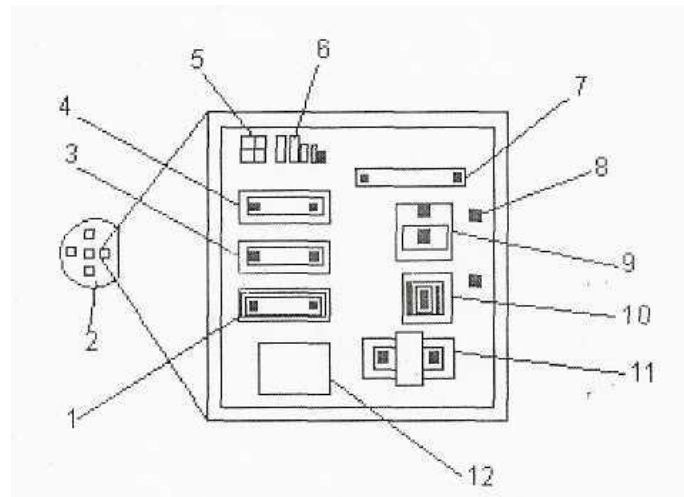
Застосування тестових мікросхем і кристалів дозволяє організувати ефективний технологічний контроль виробництва ІМС і скоротити трудомісткість при проведенні випробувань на надійність ВІС, особливо на етапі відпрацювання технології.

З підвищенням функціональної складності інтегральних мікросхем різко зростає трудомісткість і складність операцій контролю їх параметрів. Практично неможливо перевірити інтегральну мікросхему без автоматизованих контрольних - 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, які 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 переписується 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 структури 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 виконуються 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 розходиться, 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
Задирки	Неправильний зазор матриця-пуансон, Погана центрівка, погана заточка ріжучих кромek пуансона і матриці
Подряпини, поздовжні риси	Забруднення смуги, недостатня поліровка витяжного штампу матриць і пуансонів Слабкий прижим матеріалу у витяжно-

Обрив країв деталі, виникнення складок	му штампі
Обрив дна деталі, виникнення тріщин	Дуже великий прижим матеріалу у втяжному 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 характеризується 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 перетворює 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

Вакуум рідинний метод заснований на реєстрації 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 забракування є погіршення електричних параметрів унаслідок проникнення вологи в корпуси. Проте в камерах тепла і вологи відбраковуються ІМС тільки з грубою течею. Крім того, камера не дозволяє оперативно виявляти негерметичність ІМС з добре захищеними структурами. Проникнення вологи в корпус таких ІМС вияв-

О.Ю.Небеснюк, З.А. Ніконова, А.О.Ніконова Діагностика, контроль та випробування н/п приладів ляється 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 при дії 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 типомінал 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 виробничу 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 контрольною – 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 підрозділяють 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 по 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.

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 завершуючому етапі виготовлення ІМС фінішний контроль співпадає з контролем якості готових ІМС.

Контроль якості готових ІМС здійснюють шляхом вимірювання електричних параметрів, що характеризують функціональну приналежність 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 повинен 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

дається з похибки завдання рівня та похибки вимірювання часу i , 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:

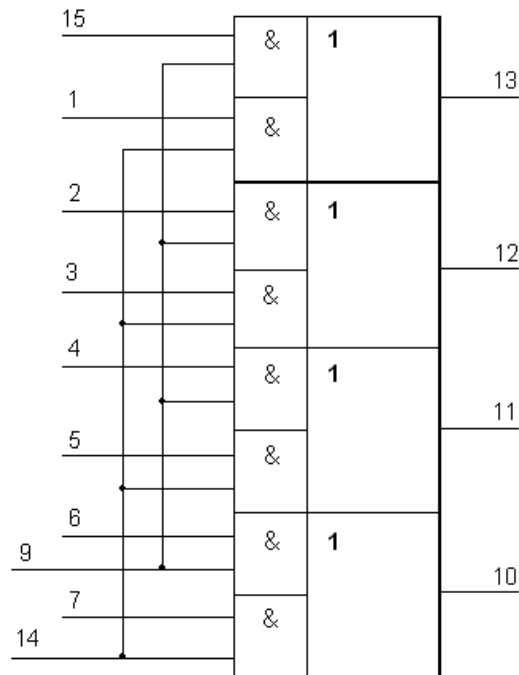
- 1) поєднанню вихідних сигналів в сталому режимі відповідає однозначний стан вихідних сигналів не залежно від їх попереднього стану вихідних сигналів.
- 2) вказана відповідність вихідних сигналів вхідним формується через деякий час після вимірювання вхідних сигналів, який називається часом розповсюдження 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	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	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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

на виводах 9 і 14 ≤ 12

на виводах 1-7, 15 ≤ 8

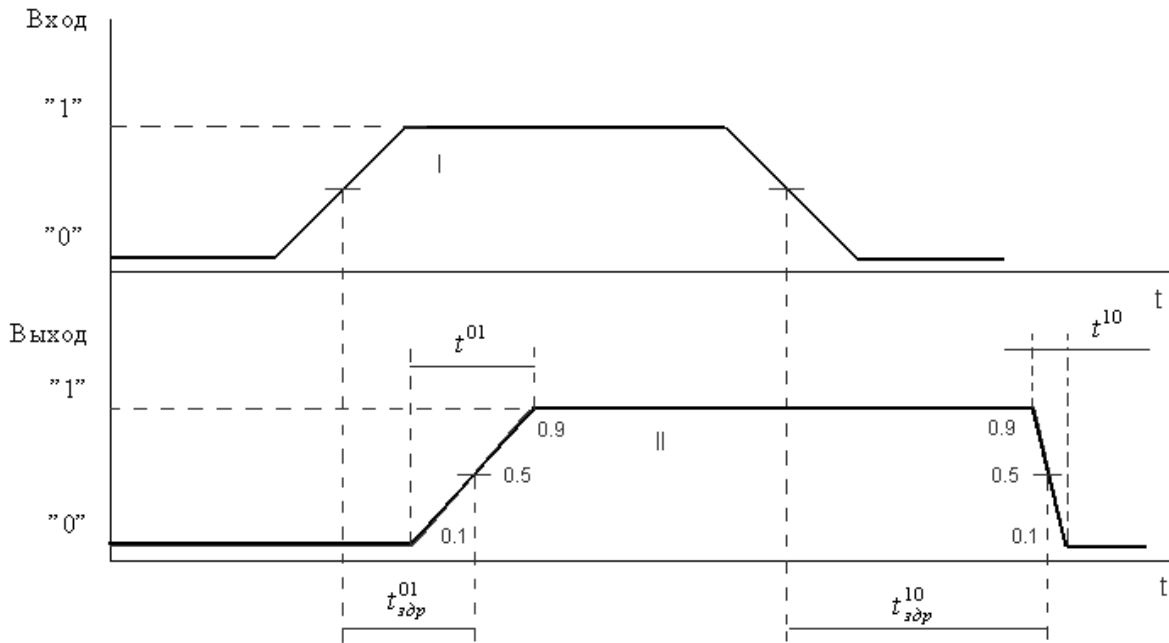
10. Напруга джерела живлення, В 3-15

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.

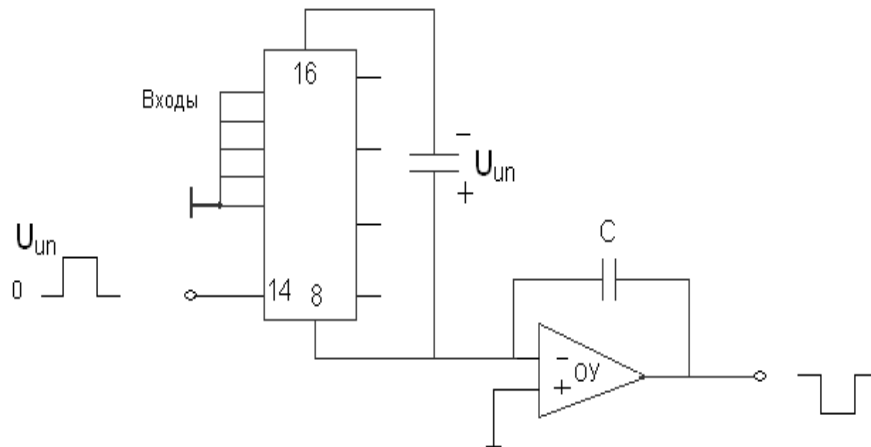
Параметр п. 8 є динамічним і його перевіряють шляхом формування переходів від однієї комбінації вхідних сигналів до іншої (наприклад, від позиції 5 таблиці істинності до позиції 6 і назад) і вимірюванні часу від моменту зміни сигналів на входах до моменту зміни сигналів на виходах, тобто між моментами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



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

При переході від позиції 5 до позиції 6 таблиці істинності вимірюється час затримки розповсюдженні 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

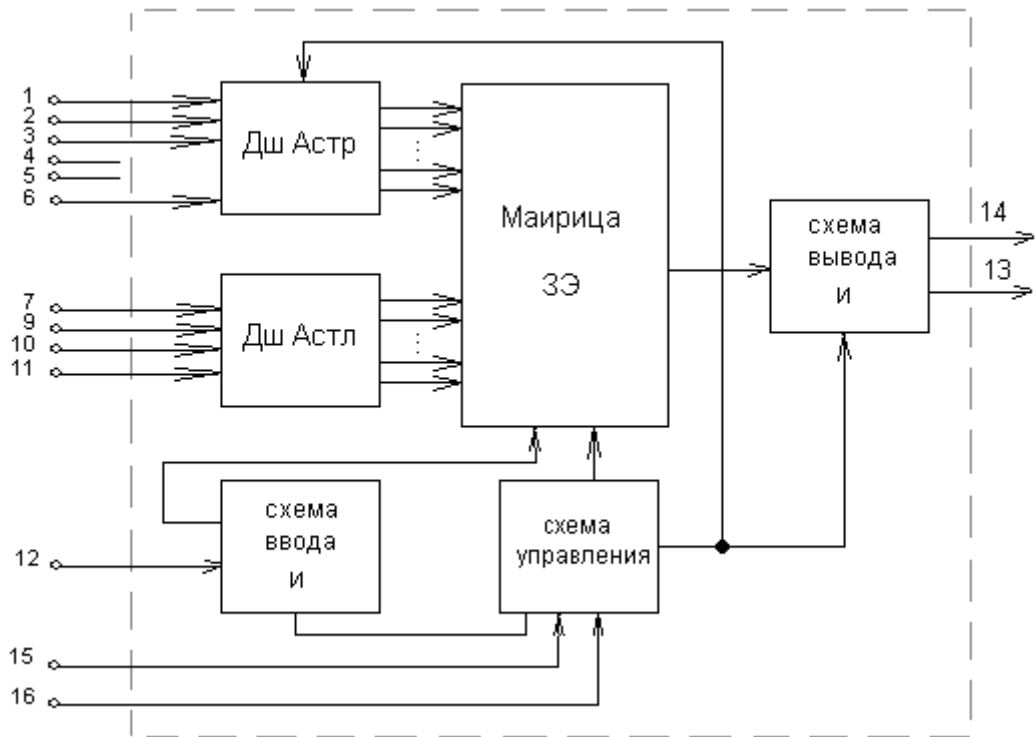
Через вхідну місткість $C_{вх}$ виводу 14 при кожному переході вхідного сигналу від нуля до $U_{дж}$ або від $U_{дж}$ до нуля на вхід ОП проходить заряд, рівний $C_{вх} U_{дж}$ або $-C_{вх} U_{дж}$, викликаючи на виході ОП відповідно зміну напруги на $-U$ або на U , при цьому $U = C_{вх} U_{дж} / C$, 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 А_{стр} та адреси стовпців Дш А_{стл}. 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).

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

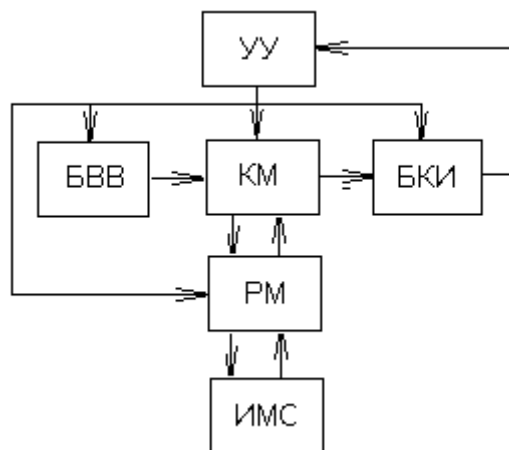
Автоматичне контрольно-випробувальне обладнання (КВО) ІМС підрозділяється на

- 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 БВВ для контрольованої ІМС, включаючи джерела живлення;

4) блок контролю і вимірювання БКИ, 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 БВВ і БКИ до виведень контрольованої ІМС;

6) робоче місце РМ (вимірювальна головка, пост), що включає контактуючий пристрій КУ 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).

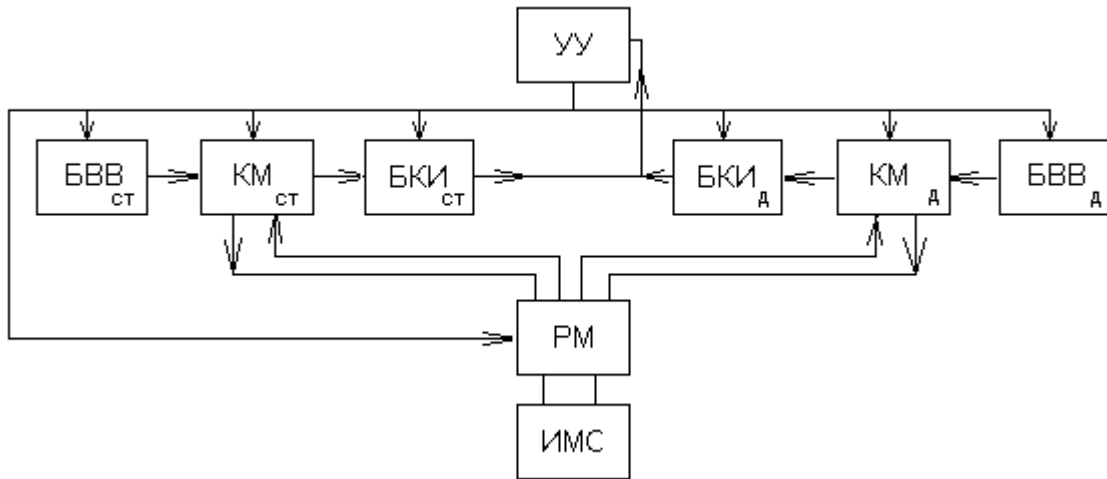
Для підрахунку продуктивності необхідно визначити час контролю однієї ІМС, який є сумою часів контакту ІМС і власне контролю (час на тест, помножений на число тестів). Час контакту залежить від способу контакту ІМС в корпусах або від швидкодії автоматичної зондової установки.

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 .

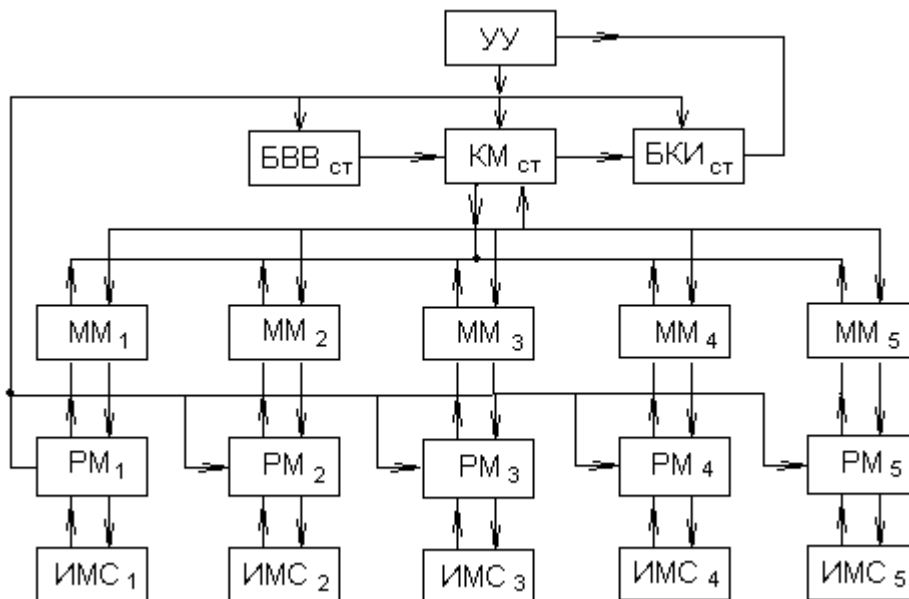
Способом подальшого підвищення продуктивності установки контролю є «розділення» устаткування контролю між декількома робочими місцями. На контроль однієї ІМС витрачається час, рівний часу контакту цієї схеми (часу T_M здійснення механічного контакту виведень ІМС і клем КП) і часу, власне, контролю T_K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



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:

$$n = (ТМ + ТК) / ТК = (ТМ / ТК + 1)$$



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.

Приведемо 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.

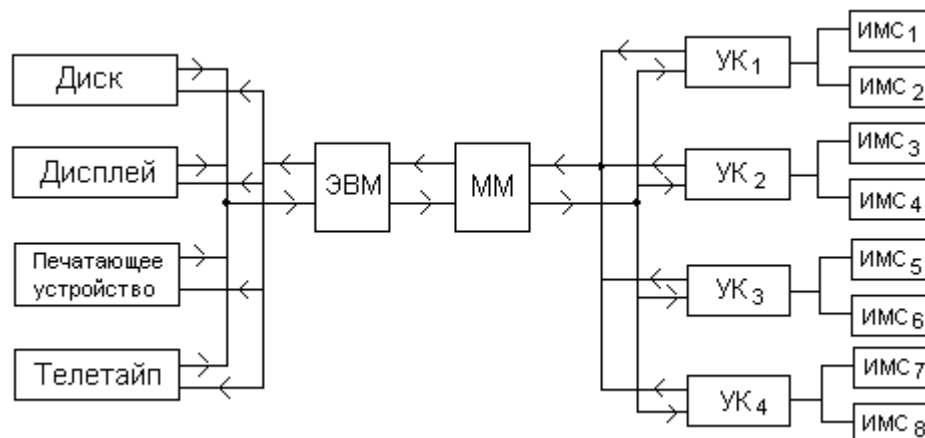
6.3 Еволюція контрольно-вимірювального обладнання для ІМС.

Контрольно-вимірювальне обладнання (КВО) першого покоління контролювало ІМС малому 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-

О.Ю.Небеснюк, З.А. Ніконова, А.О.Ніконова Діагностика, контроль та випробування н/п приладів ління перевершує 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 функції 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;

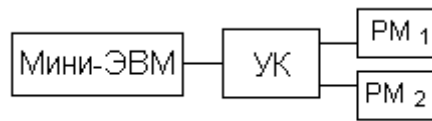
4) Статистична обробка накопичених результатів контролю ІМС та вимірних величин, побудова гістограм, діаграм, зон працездатності, зведених розрахунків;

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

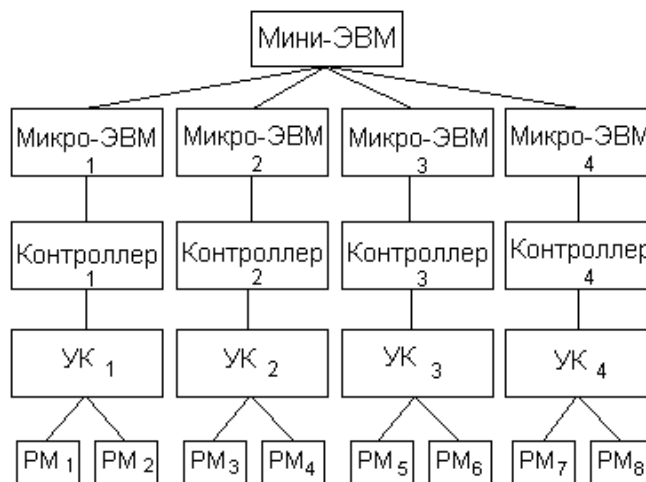
6) Автоматизація технічного обслуговування системи контролю ІМС в наслідок автоматизації процесів атестації, регулювання, контролю працездатності і діагностики несправностей.

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-

О.Ю.Небеснюк, З.А. Ніконова, А.О.Ніконова Діагностика, контроль та випробування н/п приладів 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 – погоджуючи 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 підрозділити 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

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



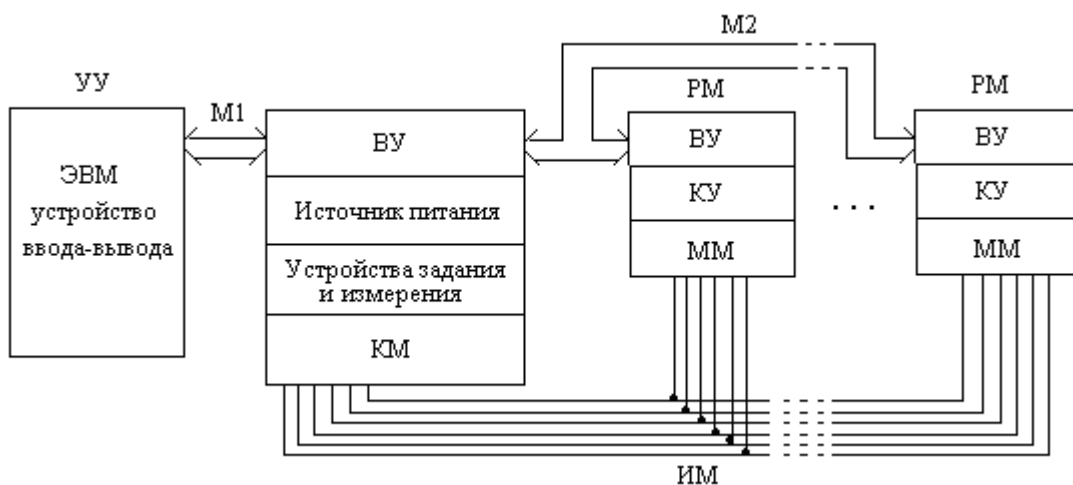
Малюнок 6.7-Засоби контролю працездатності системи контролю ВІС

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 ВУ служить 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 КУ одного з робочих місць. Підключення пристроїв до виводів ЦІМС здійснюється через КУ, вимірювальну магістраль ІМ та одну з мультиплексних матриць робочих місць ММ.

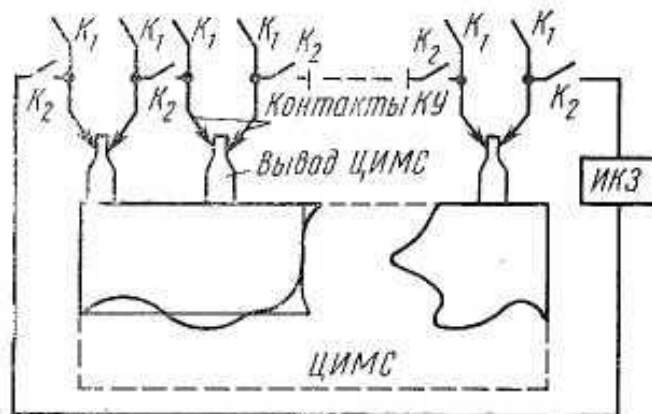
В установці увимірювальних ланцюгах прийнятий дводротовий зв'язок. Річ у тому, що провідники, що підводять, наприклад, напругу живлення $U_{ж}$ до виводів ЦІМС, а також реле КМ і пристрій контакту з виводами ЦІМС мають опір, що досягає в сумі 10-15 Ом. У результаті напруга, сформована в пристроях завдання вхідних дій з допустимою похибкою $1mV$, 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 (ОС), 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 КУ. 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 вхідних 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).



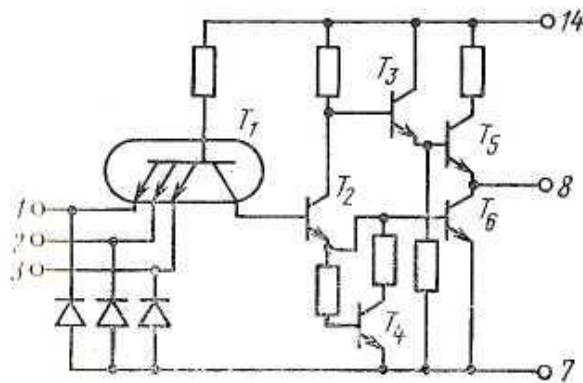
Малюнок 7.2-Схема контролю контактування ЦІМС

Всі контакти КУ при розімкнених ключах К1 за допомогою ключів К2 з'єднуються в послідовний ланцюг з індикатором короткого замикання ІКЗ. За наявності розриву в ланцюзі індикатор виробляє сигнал для оператора або ЕОМ про него-

О.Ю.Небеснюк, З.А. Ніконова, А.О.Ніконова Діагностика, контроль та випробування н/п приладів товність робочого місця для контролю ЦІМС. Цим виключається бракування годної ЦІМС унаслідок несправності контактів КУ.

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 магистраллю 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 3И-НЕ

Струм споживання, мА. Норма <4 мА

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

Для контролю на вивід 7 потрібно подати нульову напругу з похибкою $\pm 10\text{ мВ}$, на виводи 1-3 – напруга $U_{вх} = 2,4\text{ В}$ з похибкою $\pm 10\text{ мВ}$, 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 тригера, 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.

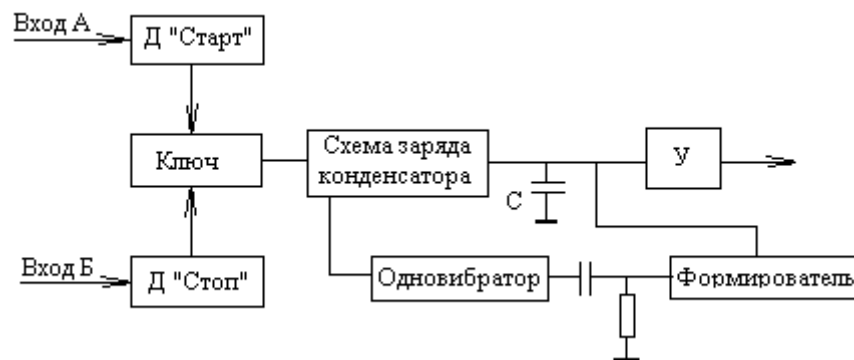
Метод стробоскопічного осцилографування полягає в зміні тимчасового масштабу вимірюваних широкосмугових сигналів, що повторюються, з метою відтворення на звичайному неширокосмуговому осцилографі. Вживане для цього стробоскопічне перетворення досліджуваного сигналу полягає в послідовному стробуванні

О.Ю.Небеснюк, З.А. Ніконова, А.О.Ніконова Діагностика, контроль та випробування н/п приладів 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». Напруга на конденсаторі, що є мірою вимірюваного часу, перетвориться в амплітуду вихідного

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

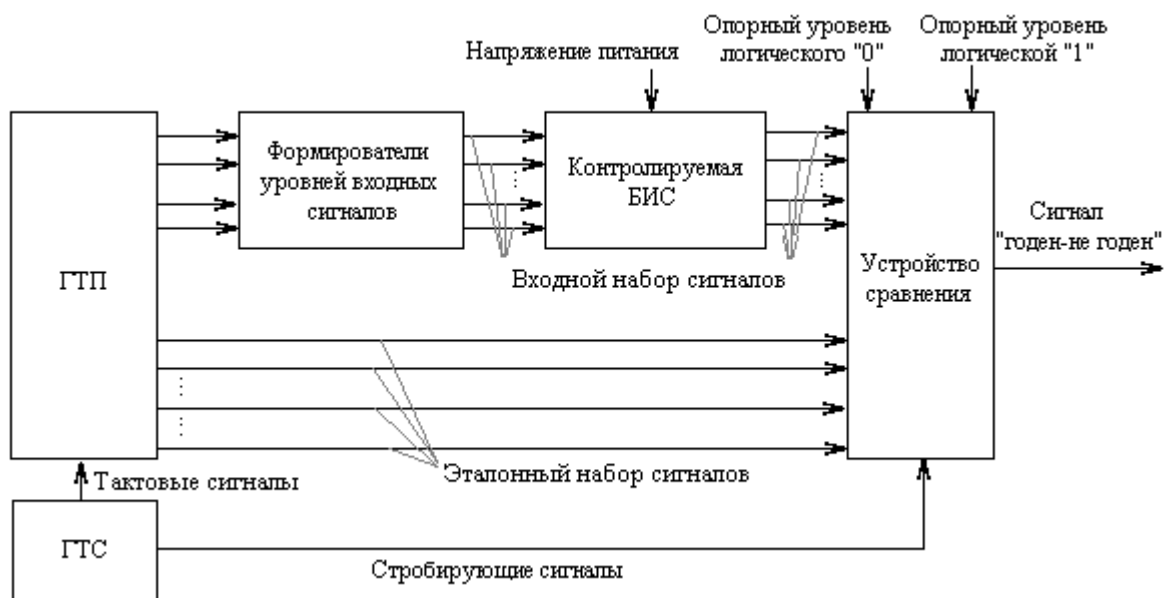
Тестова послідовність – послідовність наступних один за одним слів при функціональному контролі ВІС.

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 входних сигналів, де ця частина слова перетворюється у вхідний набір, що містить М сигналів, у яких рівні логічних «0» і «1» відповідають логічним рівням сигналів контрольованої ВІС. З

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

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

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. Швец 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

О.Ю.Небеснюк, З.А. Ніконова, А.О.Ніконова Діагностика, контроль та випробування н/п приладів
№7, 200

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