

629.73
1154

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
Державний аерокосмічний університет
ім. М.С. Жуковського
"Харківський авіаційний інститут"

ПЕРЕОБЛІК 2006р.

В.А. Дергачов, І.В.Чумаченко, А.М. Анікін, А.С. Савельєв

ПЕРЕОБЛІК 1999р.

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ
ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Навчальний посібник

до курсового та дипломного проектування

Научно-техническая
библиотека
"ХАИ"



mt0044200

44200 м



ХАРКІВ "ХАІ" 1999

УДК 629.735.083:620.179

Методи контролю працездатності елементів виміривально-обчислювальних комплексів/ В.А. Дергачов, І.В. Чумаченко, А.М. Анікін, А.О. Савельєв.-Навч. посібник. - Харків: Держ. аерокосмічний ун-т "Харк. авіац. ін-т", 1999. - 61с.

Викладено основні поняття, задачі, методи та способи діагностування технічного стану об'єктів. Описано методи контролю працездатності та пошуку місця відмови. Розглянуто моделі об'єктів, що діагностуються, методи оптимізації тестів, особливості діагностування цифрових обчислювальних пристроїв і способи забезпечення контролюпридатності на стадії проектування.

Для студентів технічних спеціальностей при виконанні курсових і дипломних проектів.

іл. 17. Табл. 4. Бібліогр.: 10 назв

Рецензенти: канд. техн. наук, доц. В.М. Шипкін,
канд. техн. наук О.О. Жалило

ВСТУП

Ефективність повітряного транспорту визначається головним чином безпекою польотів, їх регулярністю, собівартістю перевезень. Безпека польотів залежить від таких чинників, як надійність авіаційної техніки і правильне її використання в процесі експлуатації. У свою чергу, надійність техніки в процесі експлуатації, регулярність польотів і собівартість перевезень значною мірою залежать від якості технічного обслуговування і ремонту, продуктивності праці, тривалості простоїв авіаційної техніки (АТ), в тому числі й авіаційного обладнання.

Незважаючи на систематичне збільшення надійності елементної бази систем, безперервне зростання обсягу і складності авіаційного пристосування все ж таки є однією з головних причин виникнення випадкових відмов в його системах. Тому скорочення тривалості простоїв авіаційної техніки може бути досягнуто також зменшенням часу визначення працездатності об'єктів авіаційного обладнання і пошуку місця відмови в них. Цю проблему можна вирішити шляхом розробки і впровадження в експлуатацію прогресивних методів і засобів контролю технічного стану АТ.

Однак метою технічного обслуговування і ремонту є не тільки відновлення об'єктів, що відмовили, але й максимальне скорочення числа самих відмов за рахунок їх своєчасного попередження. Попередження відмови (дефекту) об'єкта можливе лише при використанні методів прогнозування його технічного стану.

1. ЗАДАЧІ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТУВАННЯ

1.1. Основні означення

Скорочення тривалості простоїв авіаційної техніки можна досягти за рахунок скорочення часу визначення працездатності об'єктів авіаційного обладнання і пошуку місця відмови в них. Ця проблема може бути вирішена шляхом досліджень, розробки і впровадження в експлуатацію прогресивних методів і засобів контролю технічного стану авіаційного обладнання.

Проте метою технічного обслуговування і ремонту є не тільки відновлення об'єктів, які відмовили, але й максимальне скорочення числа самих відмов за рахунок їх своєчасного попередження. Воно можливе лише при проведенні профілактичних робіт і використанні методів прогнозування його технічного стану. Таким чином, проблема забезпечення високої ефективності АТ, авіаційного обладнання в процесі експлуатації значною мірою визначається ефективністю методів і засобів контролю та прогнозування технічного стану цієї техніки.

Технічний стан об'єкта - сукупність схильних до зміни в процесі виробництва або експлуатації властивостей об'єкта, яка характеризується в певний момент часу ознаками, встановленими технічною документацією на цей об'єкт.

Ознаками технічного стану можуть бути певні області значень якісних і кількісних характеристик властивостей об'єкта. Розрізняють такі види технічних станів об'єктів:

1. Справний стан, при якому об'єкт відповідає всім вимогам, установленим нормативно-технічною документацією.
2. Несправний стан, при якому об'єкт не відповідає хоча б одній з вимог нормативно-технічної документації.
3. Працездатний стан, при якому об'єкт здатний виконувати задані функції, зберігаючи значення заданих вихідних основних параметрів в межах, установлених нормативно-технічною документацією. При цьому неосновні характеристики об'єкта можуть не відповідати вимогам (наявність корозії, порушення пофарбування,

неправильне контрування тощо). Отже, працездатний об'єкт може бути несправним. Справний об'єкт завжди працездатний.

4. Непрацездатний стан, при якому значення хоча б одного заданого параметра, який визначає здатність об'єкта виконувати задані функції, не відповідає вимогам нормативно-технічної документації. Перехід виробу із працездатного в непрацездатний стан у заданих умовах застосування називається відмовою.

При одному й тому ж об'єктивно існуючому технічному стані об'єкт може бути працездатним в певних умовах застосування і непрацездатним - в інших. Наприклад, авіаційний двигун після переходу до непрацездатного стану на літаку використовується як джерело механічної або теплової енергії в установках наземного використання.

Кожний об'єкт у загальному випадку може знаходитися в багатьох працездатних і непрацездатних станах. Проте далі припускається, що об'єкт має тільки один працездатний стан, а число непрацездатних станів об'єкта визначається числом можливих відмов елементів та їх з'єднань і залежить від докладності контролю, яка приймається.

Стан правильного функціонування означає, що об'єкт в поточний момент часу виконує приписаний алгоритм функціонування. Об'єкт може знаходитися в такому непрацездатному стані, в якому він правильно функціонує в одних режимах роботи і неправильно - в інших. Працездатний об'єкт правильно функціонує у всіх режимах роботи.

Граничним станом називають такий, при якому його подальше застосування за призначенням неможливе або відновлення справного чи працездатного стану неможливе або недоцільне.

Для визначення технічного стану виробу призначено контроль цього стану, під яким розуміють визначення виду технічного стану об'єкта.

У загальному випадку контроль технічного стану об'єкта є сукупністю операцій для перевірки працездатності, локалізації та прогнозування відмов об'єкта. Окладовими елементами контролю у цьому випадку є вимірювання параметрів об'єкта, які контролюються, аналіз одержаних даних з метою розпізнання виду стану та місця відмови із заданою докладністю, керування процесом кон-

тролю.

Аналіз одержаних завдяки контролю даних для розпізнавання виду стану та місця відмови називається технічним діагностуванням, яке сформульоване як "процес визначення технічного стану об'єкта діагностування з певною точністю".

Ступінь деталізації, який вказує, до якої складової частини об'єкта визначається місце відмови, називається глибиною пошуку дефекту. Дефект - конкретне найменування несправності.

Процедура діагностування включає цілу сукупність операцій контролю, які виконуються в певній послідовності. Будь-який виріб, стан якого підлягає контролю, називається об'єктом контролю. Виріб та його складові частини, технічні стани яких підлягають визначенню, називаються об'єктом діагностування.

Об'єкт діагностування завжди є також об'єктом контролю, оскільки технічне діагностування є складовою (необов'язковою) частиною процесу контролю. Але об'єкт контролю у певних умовах може не бути об'єктом діагностування.

Сукупність засобів та об'єкта контролю (діагностування) і за необхідності - виконавців, які взаємодіють з об'єктом, називається системою контролю, або системою технічного діагностування.

Галузь знань, яка досліджує технічні стани об'єктів контролю, розробляє методи їх визначення, а також принципи побудови й організації використання систем діагностування, називається технічною діагностикою. Таким чином, технічне діагностування є однією із задач технічної діагностики.

1.2. Класифікація методів контролю та діагностування

Залежно від глибини контролю розпізнають контроль працездатності та контроль з пошуком місця відмови (діагностування). Залежно від природи контрольованих параметрів і способів їх контролю розрізняють фізичні та параметричні методи контролю.

Фізичні методи прийнято називати методами неруйнівного контролю. Вони базуються на використанні різних фізичних явищ, су-

путних працездатним і непрацездатним станам об'єктів.

У неробочих станах об'єкта фізичні методи контролю забезпечують визначення наявності (відсутності) прихованих механічних пошкоджень та дефектів у деталях об'єктів (поява прихованих наскрізних і ненаскрізних мікротріщин, внутрішніх раковин і сторонніх вкраплень, надломів тощо). З цією метою широко використовуються оптичний, капілярні, магнітні, струмовихрові, ультразвуковий, радіаційні методи.

Фізичні методи для контролю об'єктів в їх робочих станах забезпечують виявлення недопустимих зносів і пошкоджень в опрацьованих рухомих деталях механізмів (підшипниках, кривошипних і тому подібних механізмах). До таких методів відносяться теплові та акустичні методи статичної обробки випадкових коливань вихідних параметрів об'єктів контролю.

Параметричні методи контролю працездатності ґрунтуються на вимірюванні, яке відповідає функціональному перетворенню, та оцінці вихідних і внутрішніх параметрів об'єктів контролю. Ці методи забезпечують контроль об'єктів у їх неробочих станах, у статичних та динамічних режимах роботи. До параметричних відносяться методи контролю працездатності окремих елементів електричних схем об'єктів - резисторів, реактивних опорів, контактів, ізоляції електричних елементів тощо. Як правило, ці елементи контролюються в неробочих станах об'єктів.

Залежно від способу ініціювання контрольованих параметрів об'єкта розрізняють методи тестового та функціонального контролю (діагностування).

При тестовому технічному діагностуванні на об'єкт подаються спеціальні тестові впливи від засобів діагностування. При цьому звичайно об'єкт не використовується за прямим призначенням, а працює тільки для його контролю (рис.1.1).

Функціональне діагностування здійснюється в період застосування об'єкта за призначенням, коли на об'єкт надходять тільки робочі впливи, передбачені алгоритмом функціонування об'єкта. Таке діагностування дає можливість негайно реагувати на порушення правильності функціонування об'єкта і тим самим шляхом заміни вузлів, які відмовили, вмикання резерву, повторних виконань операцій переключення режиму роботи дозволяє забезпечити

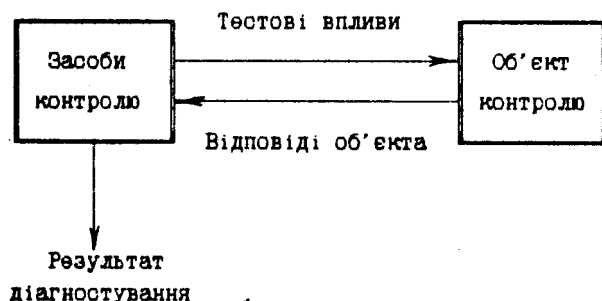


Рис. 1.1. Схеми тестового діагностування

нормальне або допустиме виконання об'єктом його функцій, підвищити безпеку польоту. Недоліком даного виду діагностування є те, що робочі впливи не можуть вибиратися з умов оптимальності процесу контролю і не завжди забезпечується необхідна глибина діагностування (рис. 1.2).

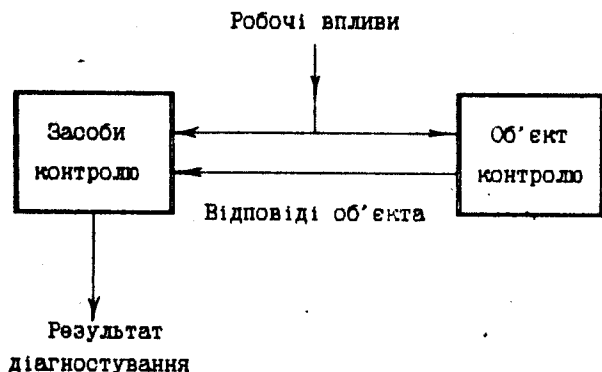


Рис. 1.2. Схеми функціонального діагностування

Ополучення окремого тестового (або робочого) впливу на об'єкт і відповіді, що знімається з об'єкта, називається елементарною перевіркою об'єкта. При одному тестовому впливі одночасно можуть контролюватися декілька незалежних точок, тому що

знімається декілька відповідей об'єкта контролю. В цьому випадку кількість елементарних перевірок визначається кількістю контрольованих відповідей. Наявна сукупність елементарних перевірок, яка забезпечує діагностування, називається тестом діагностування, або тестом.

Залежно від часових характеристик контрольованих параметрів розрізняють діагностичні та статичні методи діагностування.

Визначення технічного стану об'єкта контролю на наступний інтервал часу називається прогнозуванням технічного стану.

Мета прогнозування - визначення інтервалу часу, протягом якого повинен зберігатися працездатний стан об'єкта.

1.3. Задачі, що вирішуються

Можна виділити два напрями в задачах, що вирішуються технічною діагностикою і прогнозуванням: теоретичний і практичний. Ці напрями нерозривно взаємозв'язані один з одним. До теоретичного напрямку відносяться такі основні задачі:

- розробка методів побудови логічних моделей об'єктів діагностування, які відображають істотні логічні зв'язки між прийнятими до розпізнавання технічними станами і ознаками станів об'єктів;

- розробка методів побудови математичних моделей об'єктів діагностування, які забезпечують формальний опис взаємозв'язку між технічними станами та їх ознаками;

- розробка методів побудови оптимальних діагностичних тестів для розпізнавання працездатного стану і пошуку місця відмови (дефекту) об'єкта діагностування;

- побудова оптимальних програм діагностування;

- розробка методів прогнозування працездатного стану на заданий період часу роботи об'єкта;

- розробка методів визначення оптимальної періодичності перевірок об'єкта контролю;

- розробка методів і визначення попереджувачих допусків на вихідні параметри за умов прогнозування безвідмовної роботи

об'єкта.

До практичного напрямку відносяться такі основні задачі, що вирішуються на основі використання методів теоретичного напрямку:

- вивчення об'єкта контролю при його нормальному функціонуванні;
- визначення необхідного переліку найвірогідніших непрацездатних станів, тобто відмов елементів та їх комбінацій в об'єкті, які потрібно розрізнати в процесі діагностування;
- визначення виду алгоритму діагностування об'єкта;
- побудова логічної та математичної моделей об'єкта контролю;
- вибір і оптимізація обсягу вхідних впливів та ознак технічних станів об'єкта контролю;
- аналіз технічних можливостей контролю вибраних ознак стану;
- побудова оптимального алгоритму діагностування;
- прогнозування міжпрофілактичних періодів для об'єкта контролю і визначення попереджувачих допусків на дані, що контролюються;
- збирання й обробка статистичних даних про витрати, пов'язані з перевірками об'єкта в процесі експлуатації.

2. КОНТРОЛЬ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ

2.1. Характерні відмови електрорадіоелементів

Вихід з ладу радіоелектронних пристроїв зумовлений недостатньою надійністю елементів, помилками, що вкралися при проектуванні та виробництві, а також неправильною експлуатацією. В більшості випадків відмова радіоапаратури трапляється через відмову одного або декількох елементів, що входять до її складу. Отже, гарантування надійності апаратури зводиться головним чином до забезпечення надійної роботи цих елементів. Розглянемо основні причини відмов електрорадіоелементів, з яких конструюють пристрої промислової електроніки.

Відмови контактних і пасивних елементів. Резистори складають 30 - 45% від загального числа елементів радіоапарата, а на них припадає приблизно 13 - 20% відмов.

Рихід з ладу резисторів трапляється найчастіше через перегорання та обрив резисторного шару, що пропускає струм, а також через порушення контакту між зовнішнім виводом і названим шаром. Іноді спостерігається різка зміна опору резистора. Перевагу з точки зору надійності мають об'ємні резистори перед плівковими, низькоомні - перед високоомними. Відмови плівкових резисторів найчастіше відбуваються через обрив виводу.

Дротові резистори змінного опору більш надійні, ніж недротові, відмови яких найчастіше настають через порушення ковзного контакту повзунок - провідний шар.

Конденсатори, як і резистори, досить широко застосовуються в радіоапаратурі. Однак відмови конденсаторів відбуваються значно рідше, ніж резисторів, здебільшого - через пробій діелектрика. Причиною таких відмов є недоліки в конструкції та приховані виробничі дефекти, наприклад, повітряні вкраплення, що сприяють розвитку йонізаційних процесів. Це призводить до зменшення електричної міцності конденсатора. Причиною відмови конденсатора може бути порушення герметичності.

Електролітичні конденсатори мають невисоку надійність. Дуже негативно реагують вони на коливання температури (перегрівання, переохолодження) та перенавантаження.

Відмови трансформаторів і дроселів трапляються внаслідок обриву або перегорання проводів, а також через зменшення електричної міцності ізоляції. Основними причинами таких відмов є погане кріплення трансформатора, недбала намотка, поганий захист від вологи, важкий тепловий режим.

Реле звичайно виходять з ладу через обрив обмоток, пробій ізоляції, обгорання контактів. І хоча питома вага реле в радіоапаратурі невелика (крім пристроїв автоматики), висока інтенсивність їх відмов змушує розробників і конструкторів особливо старанно підходити до питань забезпечення правильного робочого режиму і установлення їх в апараті.

Різного роду перемикачі, розшивні панелі, штепсели відмовляють головним чином через порушення контактів або механічні по-

шходження.

Відмови напівпровідникових приладів. Раптові відмови напівпровідникових приладів (як у дискретному, так і в інтегральному виконанні) зумовлені головним чином недоліками конструкції або порушеннями технологічного процесу. Поступові відмови є наслідком недоліків і порушень технології виготовлення таких приладів.

Зовнішні проявлення раптових відмов інтегральних мікросхем, транзисторів, тиристорів, силових двохарових діодів відбуваються у вигляді обривів зовнішніх і внутрішніх виводів, пробоя та короткого замикання р-п-переходів, тріщин кристалів.

Причинами обривів або перегорань внутрішніх виводів можуть бути або неоднорідності товщини дроту, що з'єднує електроди із зовнішніми виводами, або порушення режиму паяння чи термокомпресії виводів всередині корпусу з р-п переходами. Короткі замикання між електродами напівпровідникових приладів є наслідком попадання всередину корпусу сторонніх металевих часток через вищипування металу, коли зварюють ніжки приладів з корпусом.

Відмінність температурних коефіцієнтів лінійного розширення германію, кремнію, арсеніду галію й електродних матеріалів при термоциклюванні та роботі в умовах негативних температур призводить до утворення мікротріщин у кристалах і, як наслідок, до різкого збільшення зворотного струму і зменшення напруги пробою.

Поступові відмови напівпровідникових приладів спостерігаються значно частіше, ніж раптові. Повільне погіршення параметрів напівпровідникових приладів (дрейф параметрів) пов'язано зі змінами стану поверхні кристала напівпровідника, а також з порушенням умов нормальної тепловіддачі.

Проникнення в корпус і через шар лаку молекул кисню та води в результаті порушення герметизації призводить до зміни поверхневої провідності кристалів. Це викликає збільшення зворотних некерованих струмів і струмів втрат. Змінюється коефіцієнт передачі за струмом транзистора. Тиристори можуть вмикатися без надходження сигналу керування.

Недостатня чистота і точність обробки тепловідвідної поверхні, погане змочування припоєм поверхні кристала спричиняє до

погіршення умов нормальної тепловіддачі. В результаті можливі перегрів р-п-переходу навіть при невеликих потужностях розсіювання, що в кінцевому підсумку призводить до теплового пробоя.

Наявність сторонніх вкраплень у кристалічних ґратах викликає відмови такого ж роду, як і погана герметизація, однак ефект їх значно слабший.

Вивчення причин відмов різних електронних пристроїв, а також розробка заходів щодо зменшення частоти відмов - головна задача науки про надійність.

2.2. Фізичні способи контролю

Фізичні способи контролю базуються на використанні різноманітних фізичних явищ.

Оптичний спосіб контролю оснований на застосуванні оптичних приладів для огляду зовнішніх і внутрішніх поверхней деталей та агрегатів. При цьому виявляються корозія, раковини, тріщини, прим'ятини, місцевий наклеп, підгари, ерозія деталей електричних та інших пристроїв.

Оптичний контроль здійснюється за допомогою різних луп, дзеркал, технічних ендоскопів. Для огляду окремих деталей у лабораторіях можуть застосовуватися мікроскопи (монокулярні та бінокулярні).

Капілярні способи базуються на капілярному проникненні спеціальних індикаторних рідин у поверхні та наскрізні порожнини об'єктів контролю та реєстрації слідів, що утворюються візуально або за допомогою спеціального проявника.

Магнітний спосіб контролю - один з найпоширеніших із неруйнівних способів дефектоскопії. Він застосовується для визначення наявності чи відсутності порожнин у феромагнітних деталях механізмів. Цей спосіб контролю оснований на вияві магнітних полів розсіювання деталей, що виникають над дефектами. Якщо на шляху магнітних силових ліній зустрічається дефект (тріщина, раковина, немагнітне вкраплення), то у цьому місці силові лінії змінюють форму. Магнітне поле можна виявити за допомогою магнітного порошка, ферозонда та інших способів магнітних вимірювань.

Ультразвуковий спосіб базується на властивості ультразвукових коливань поширюватися у матеріалі деталі у вигляді спрямованих променів, відбиватися як від меж розділу середовищ від протилежної поверхні деталі, від внутрішніх дефектів та ін. За допомогою цього методу можна виявити не тільки дефекти, але й певні їх розміри та координати.

Радіаційні способи контролю основані на використанні променів, що проникають, наприклад рентгенівських променів. Дефекти у матеріалах деталі визначаються мірою ступеня послаблення інтенсивності випромінювання при проходженні їх через деталь. Радіаційний контроль є порівняно складним і трудомістким процесом.

Теплові способи контролю електричних пристроїв застосовуються при робочих режимах цих пристроїв і базуються на аналізі теплового (інфрачервоного) випромінювання елементів, деталей або всього пристрою. Справний пристрій має певну картину випромінювання. Її зміна свідчить про зміну режиму роботи, технічного стану елементів пристрою.

Акустичні способи основані на оцінці технічного стану різних механізмів і машин за такими параметрами, як шум і вібрація у процесі роботи. Кожному стану машини відповідає певний акустичний сигнал, що розпізнається у цьому процесі.

2.3. Параметричні методи

Контроль при вимкнених об'єктах дозволяє перевірити працездатність лише окремих елементів їх схем. Багато які з цих елементів підлягають індивідуальній перевірці лише при установленні їх в об'єкт замість тих, що відмовили (резистори, конденсатори, напівпровідникові та інші електронні пристрої). При цьому, як правило, перевіряються основні паспортні параметри елементів за допомогою звичайної штатної вимірювальної апаратури. Для вимірювань опорів резисторів і потенціометрів використовують омметри, опорів контактних переходів - мікроомметри, опорів ізоляції проводів мережі та електричних пристроїв - мегаометри.

Для вимірювання індуктивностей і ємностей застосовують, як

правило, компенсаційні методи, а також мостові схеми з магазинами зразкових індуктивностей та ємностей. Може використовуватися і непрямий метод вимірювання - за допомогою схеми, зібрано з ватметра, амперметра і вольтметра.

Контроль працездатності окремих електронних ламп, напівпровідникових приладів проводиться за допомогою спеціальних штатних випробувальних пультів, що забезпечують визначення всіх основних характеристик приладів.

Контроль за статичними характеристиками базується на тому, що невідповідність будь-кого з них допустимому діапазону значень в заданих умовах свідчить про непрацездатний стан об'єкта контролю.

Розрізняють контроль працездатності демонтованих з борту агрегатів і механізмів і контроль їх на борті. У першому випадку об'єкти контролюють, як правило, поза бортовою системою, як окремі агрегати, або в системі з лабораторним комплексом, призначеним спеціально для перевірки та настройки окремих блоків бортової системи. У другому випадку контролюють бортову систему загалом. При цьому не завжди є можливість оцінити працездатність кожного агрегату системи нарізно. Глибина контролю працездатності кожного агрегату на борті звичайно менше, ніж в лабораторних умовах.

Перелік основних вихідних параметрів, що контролюються, і характеристик викладено нижче по групах авіаційного обладнання.

У лабораторних умовах працездатність джерел електроенергії контролюють визначенням зовнішніх (вольт-амперних) і регульовальних характеристик при мінімальній робочій та максимальній частотах обертання для генераторів постійного струму і номінальній частоті обертання та навантаження для генераторів змінного струму. Контролюється також опір ізоляції обмоток машини. За наявності засобів акустичного контролю перевірі підлягає стан підшипників без розбирання машини.

Стан підшипників працюючих електричних машин можна перевірити також шляхом аналізу коливань їх вихідної напруги (для генератора) і споживаного струму (для електродвигуна). Суть такого контролю полягає в такому. Коли в підшипниках машини немає ознак зносу або руйнування, то відсутнє ковзання їх кульок від-

носно вала машини, тобто частоти обертання внутрішньої та зовнішньої обойм підшипника однакові. При виникненні певного зносу робочих доріжок обойм і кульок з'являється радіальний люфт вала в підшипниках. Цей люфт виявляється при випадкових або періодичних змінах повітряного зазора між ротором і статором і тому при відповідних змінах магнітного потоку в зазорі. У результаті виникають нові складові у випадкових коливаннях вихідного напруження (струму) машини. Методика й способи аналізу цих параметричних коливань аналогічні розглянутим вище для випадку акустичних методів контролю.

Працездатність бортових акумуляторних батарей в лабораторних умовах контролюють визначенням їх ємності та зняттям зовнішніх характеристик у зарядженому стані. На борту працездатність батарей перевіряють за їх напругою при короточасному вмиканні певного навантаження.

Пристрій регулювання (стабілізації) напруги, частоти, розподілу потужностей між генераторами, способи захисту систем електропостачання контролюють в лабораторії на спеціальних електроенергетичних стендах або за допомогою установок, що імітують умови роботи енергосистеми. Контролю підлягають всі паспортні характеристики об'єктів.

На борті літака генератор, його системи регулювання, захисту і керування перевіряються як єдине ціле. Однак при цьому попутно перевіряється працездатність і деяких окремих блоків системи. У процесі контролю задаються або імітуються певні режими роботи, що забезпечують перевірку точності та стійкості регулювання напруги і частоти струму, спрацювання апаратів захисту і правильності функціонування пристроїв керування системою.

Працездатність електромеханізмів у лабораторних умовах перевіряється за їх вихідними характеристиками: осьовим зусиллям на вихідному штоці, механічною характеристикою, споживаним струмом (потужністю). На борті їх, як правило, перевіряють за шумовою дією. У деяких випадках контролюють також (приблизно) споживані струми і швидкості руху вихідних валів.

З обладнання систем запуску в лабораторних умовах перевіряють працездатність автоматичних панелей запуску (АПЗ, АПД та ін.) - виконання програми видачі сигналів керування. Працездат-

ність системи на борту контролюють в процесі безпосередніх запусків авіадвигунів. При цьому спеціальна вимірювальна апаратура, як правило, не використовується.

Прилади контролю режимів роботи авіадвигунів підлягають обов'язковій періодичній перевірці в лабораторії за допомогою спеціальної контрольно-вимірювальної апаратури. При цьому контролюють точність їх показань у всьому робочому діапазоні вимірювань. Виняток становлять вимірники температури газів, що виходить, для датчиків яких в лабораторії не завжди є джерела високих температур. На борту працездатність приладів перевіряється лише суб'єктивно - екіпажем та інженерно-технічним складом.

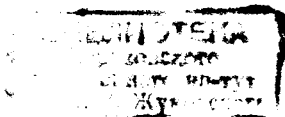
Для контролю працездатності демонтованих блоків систем вимірювання кількості та керування витратою палива є спеціальні апаратурні засоби: вони контролюють ємності датчиків, точність витратомірів, вимірювальних систем топливомірів, програми роботи системи управління виробленням палива. На борті працездатність перевіряють за допомогою вбудованих засобів контролю.

Пілотажно-навігаційні прилади і системи є великими відповідальними для гарантування безпеки польотів, тому оцінці їх працездатності приділяється особлива увага. Для всіх цих приладів і систем в лабораторії періодично контролюють точність вимірювань на всіх режимах роботи за допомогою спеціальної апаратури. При підготовках до польотів перевіряється їх працездатність вбудованими засобами контролю, спрощеними переносними установками, для навігаційних автоматів задається рішення контрольних навігаційних задач. У гіроскопічних агрегатах звичайно вбудовуються "детектори відмови", які видають сигнал відмови у разі завалу гіроузла.

На сучасних літальних апаратах (ЛА) великого поширення набули дво-, три- і чотирикратне резервування найвідповідальніших агрегатів і ділянок схем бортових систем.

Так, на літаку TU-154 датчиками кутів крену і тангажа є три гіровертикалі МГВ, що працюють паралельно й одночасно.

Вихідний сигнал кожного каналу вимірювання (каналу кутів крену і каналу кутів тангажа) є середнім значенням сигналів усіх трьох гіровертикалей.



Для осереднення значень вихідних сигналів датчиків можуть використовуватися кворум-елементи. Можливу структурну схему кворум-елемента при n однотипних датчиках параметра, що вимірюється, показано на рис. 2.1. Тут на входи кожного з n суматорів $S_1, S_2, \dots, S_n$ подаються виміряні датчиками значення сигналів $X_1, X_2, \dots, X_n$ і результат X осереднення цих сигналів, що одержується на виході суматора O . На виході кожного з суматорів $S_1, S_2, \dots, S_n$ формуються значення $E_i = X_i - X$, які надходять на підключач Π_i .

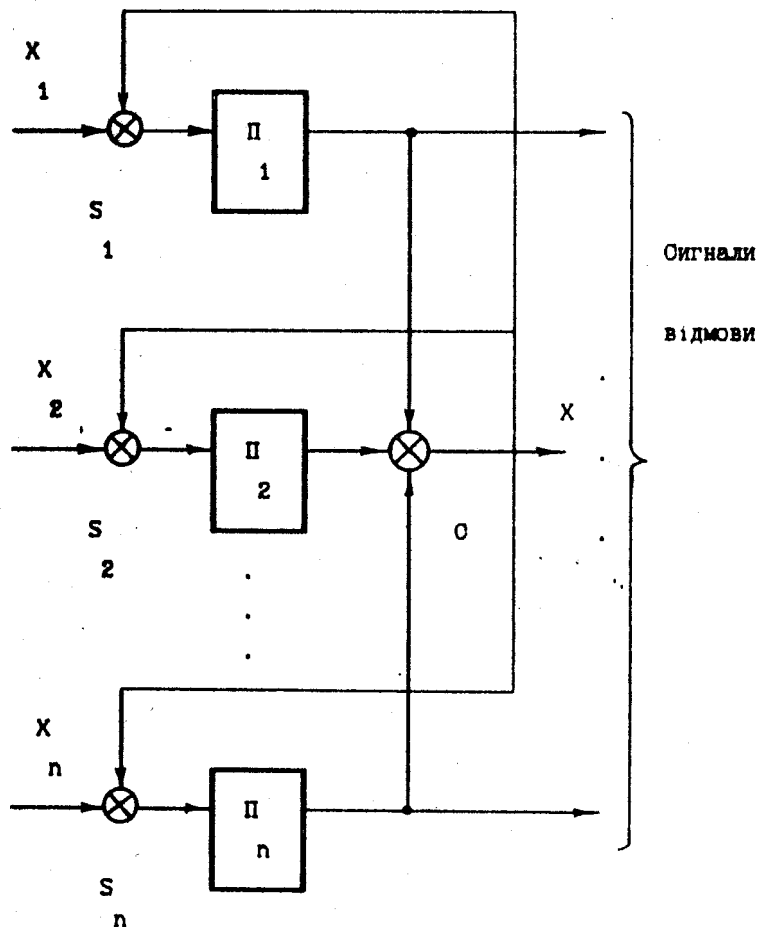


Рис. 2.1. Структурна схема кворум-елемента

Неважко довести, що розглянута схема забезпечує на виході середнє значення виміряних сигналів. Якщо всі n датчиків сигналу працездатні, то значення E_i знаходяться в межах допуску. Якщо ж один з датчиків переходить в непрацездатний стан, то відповідне значення перевищує допустимі межі. Характеристика E_i використовується для сигналізації про це та відмикання датчика, що відмовив. Цілком обгрунтоване припущення, що одночасно може відмовити тільки один датчик, тобто ймовірність одночасної відмови двох і більшого числа датчиків досить мала. Тому після відмови та вимкнення j -го датчика кворум-елемент продовжує контроль працездатності $n-1$ датчиків, що залишилися. Працездатність декількох датчиків одного й того ж типу і призначення можна контролювати доти, доки в схемі залишаться лише два датчика, а інші будуть вимкнені в зв'язку з їх відмовами. З цього моменту кворум-елемент контролює працездатність не кожного з датчиків, а системи з двох датчиків.

При відмові будь-якого з них видається сигнал про відмову всієї системи, оскільки кворум-елемент не може відрізнити несправний елемент від працездатного.

Кворум-елементи можуть використовуватися для контролю не тільки датчиків параметрів, але й резервних ділянок каналів передачі інформації, положень вихідних валів (штоків) виконавчих механізмів.

Сучасні автоматичні бортові системи керування польотом (АБСК) являють собою складну, багатоконтурну систему керування, навігації та контролю, яка вирішує складні задачі: навігаційні обчислення, оптимальне автоматичне пілотування, оптимізацію роботи авіадвигунів, автоматичний контроль працездатності системи, автоматичне перемикання на резервний режим роботи при відмові основного об'єкта. Контроль працездатності цих систем у польотах, при підготовках до них і при проведенні профілактичних робіт має особливо важливе значення, оскільки від технічного стану вказаних систем залежать безпека і регулярність польотів.

Періодично АБСК проходить глибокий контроль технічного стану в лабораторних умовах. З цією метою основні блоки її демонтують з борту ЛА і встановлюють на стенд з комплектом спеціальної

контрольно-вимірювальної апаратури.

Контролю підлягають всі статичні характеристики кожного блоку системи, її реакції на еталонні тест-сигнали. Для більш повного наземного контролю працездатності систему з'єднують з аналоговою або цифроаналоговою моделлю ЛА. За допомогою спеціального інформаційно-логічного вимірювального комплексу для системи створюють динамічний режим типового автоматичного польоту, близький до реального. При цьому можуть бути враховані всі основні випадкові фактори, що діють на ЛА і систему керування в польоті. У процесі такого контролю перевіряються не тільки працездатність, але й характеристики якості роботи системи.

При підготовках до польотів проводиться автоматичний контроль системи керування за допомогою системи вбудованого контролю, яка забезпечує видачу інформації про відмову окремих змінних блоків АБСК. У польоті автоматично контролюється працездатність системи за допомогою вбудованих засобів, що здійснюють відключення пристроїв, що відмовили, і включення резервних пристроїв системи, видачу інформації екіпажу про необхідність перемикання і відключення в системі.

Вортові засоби контролю АБСК виконуються у вигляді або окремих блоків, або пристроїв, вбудованих у схему і блоки системи. Для контролю працездатності АБСК одночасно можуть застосовуватися різні методи, вибір яких визначається особливостями резервування, вхідних і вихідних характеристик ділянки, що контролюється, або блока системи.

Контроль за допуском на параметр передбачає вимірювання внутрішніх або вихідних параметрів, що визначають працездатність об'єкта в режимі, що розглядається. На пристроях порівняння визначаються відхилення параметрів від заданих значень і видається сигнал відмови об'єкта контролю (рис. 2.2).

Контроль внутрішніх контурів із зворотним зв'язком полягає в такому. У системах автоматичного керування можуть бути внутрішні контури, часи перехідних процесів в яких значно менше таких для основного (зовнішнього) контуру керування. Тому можна вважати, що незалежно від характеру зміни вхідного сигналу у системі у внутрішньому контурі сигнал X має бути практично завжди

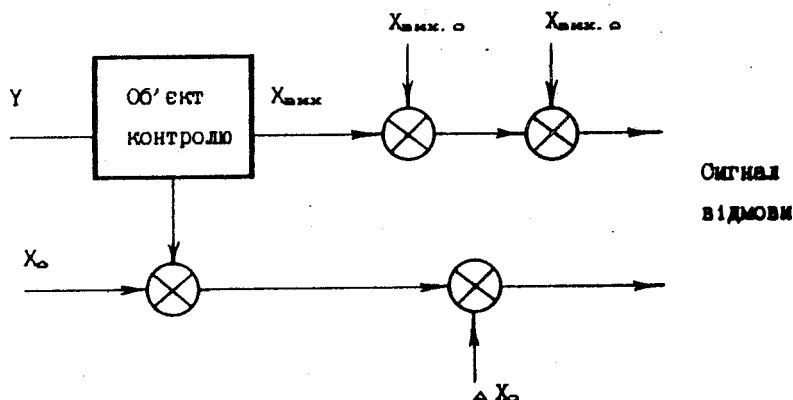


Рис. 2.2. Схема контролю за допуском на параметр

рівним нулю. За критерій працездатності такого внутрішнього контуру можна прийняти розташування сигналу $X(t)$ в межах допусків і тривалість перехідного процесу $x(t)$, меншу від заданого допустимого значення.

На рис. 2.3 показано схему контролю працездатності пристрою, що розглядається. На порівняльному пристрої 1 виділяється похибка, яка порівнюється з допустимою на пристрої 2. Пристрій затримки (ПЗ) забезпечує затримку на заданий час, не менший, ніж час перехідного процесу.

Контроль порівнянням входних сигналів двох об'єктів застосовується за наявності двох взаємно резервуючих об'єктів ОК (рис. 2.4). Вихідні параметри X_1 і X_2 об'єктів порівнюються. Якщо їх різниця перевищує допустиме значення, то видається сигнал відмови. Пристрій тимчасової затримки не допускає видачі відмови сигналу при короточасних перевищеннях допустимих значень в перехідних режимах.

Логічний контроль може бути оснований на зіставленні знаків входних і вихідних сигналів, на виділенні певних областей входних сигналів, в яких з'являється (або зникає) входний сигнал для пристроїв з істотно нелінійними характеристиками.

На рис. 2.5 показано структурну схему логічного контролю, що забезпечує зіставлення знаків входних Y і вихідних X сигналів

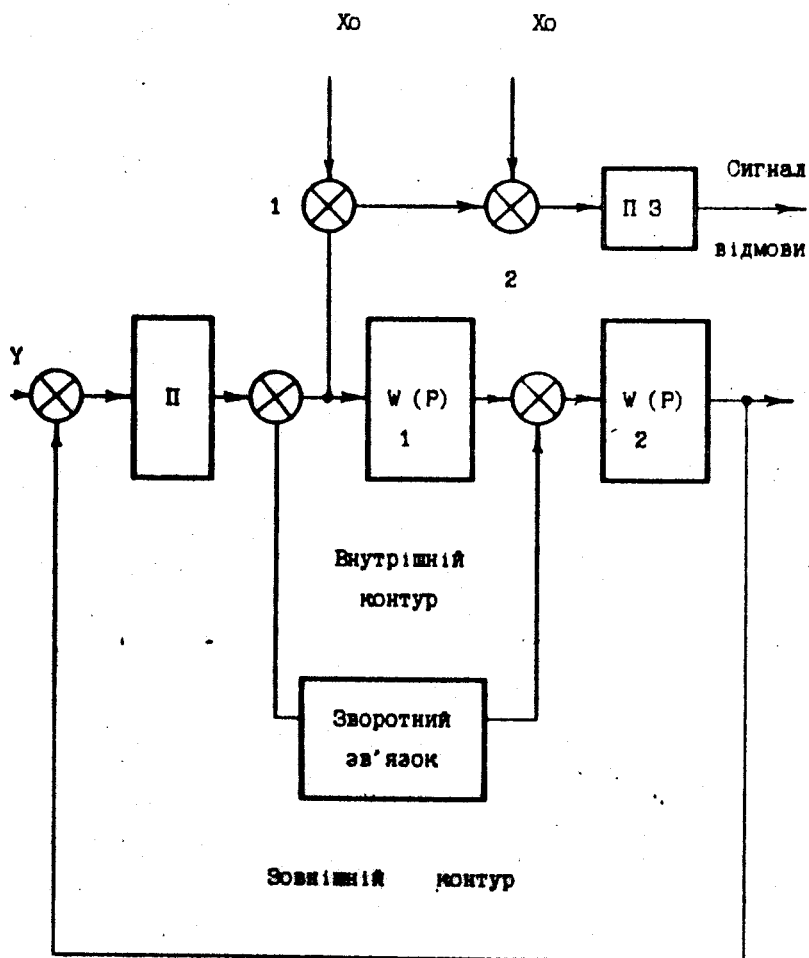


Рис. 2.3. Схема контролю внутрішніх контурів

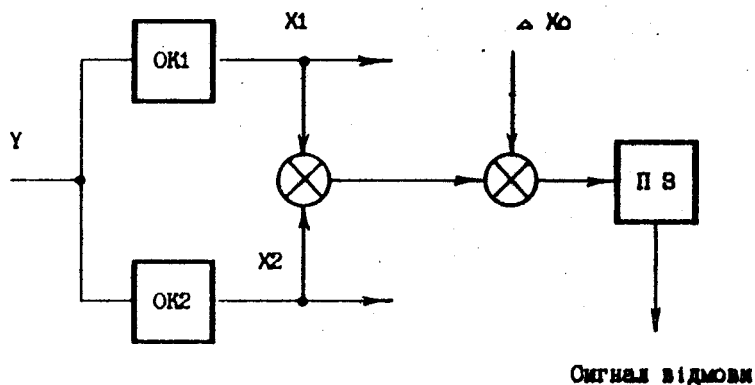


Рис. 2.4. Схема контролю порівнянням вихідних сигналів двох об'єктів

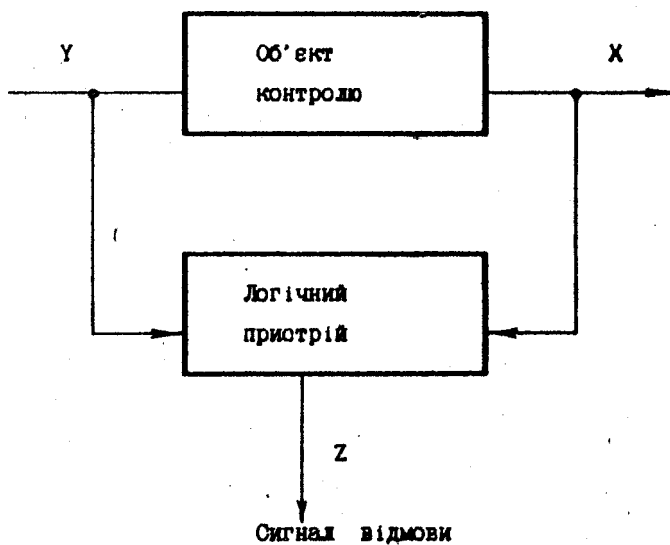


Рис. 2.5. Схема логічного контролю

об'єкта. Логічний пристрій (ЛП) видає сигнал про відмову, якщо з'являється невідповідність між знаками вхідного і вихідного сигналів. До складу логічних функцій можуть входити вихідні сигнали, їх перші та другі похідні.

Контроль порівнянням з моделлю об'єкта доцільний для нерезервованих або однократно резервованих об'єктів. Структурну схему контролю нерезервованого об'єкта показано на рис. 2.6.

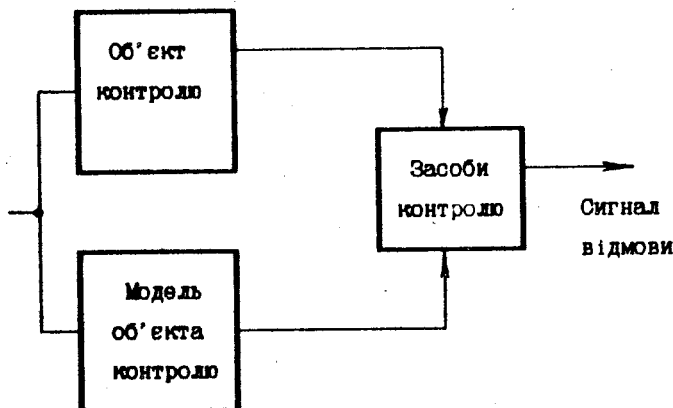


Рис. 2.6. Схема контролю порівнянням з моделлю об'єкта

Для бортових умов як моделі об'єкта використовуються статичні аналогові пристрої, що описують спрощені передавальні функції частини системи, що контролюється. Отже, контролюючі пристрої мають значно більшу надійність, ніж реальні об'єкти контролю.

Контроль за реакцією на тест-сигнал (рис. 2.7) застосовується для передпольотної перевірки працездатності систем. У цьому випадку на входи об'єкта контролю і пристрою порівняння подається тест-сигнал Y , що формується у спеціальному пристрої. Сигнал X з виходу об'єкта контролю порівнюється з тест-сигналом. З пристрою порівняння видається сигнал відмови доти, доки сигнал з виходу об'єкта контролю не скомпенсує тест-сигнал. Після цього сигнал відмови знімається.

Контроль динамічних характеристик об'єктів значно збільшує

обсяг інформації про їх працездатність. У багатьох випадках

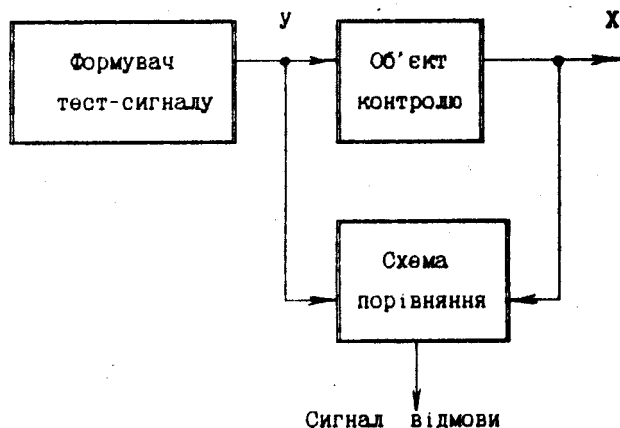


Рис. 2.7. Схема контролю за реакцією на тест-сигнал

висновок про працездатність об'єкта можливий лише за результатами контролю як статичних, так і динамічних його характеристик. Більше того, для певних структурних схем об'єктів за статичними характеристиками взагалі неможливе діагностування, якщо не змінювати ці схеми спеціальним чином на час процесу контролю. Для визначення ознак працездатності елементів схеми необхідно виміряти відповідні параметри в певні дискретні моменти часу і порівняти результати вимірювань з областю допустимих значень. У деяких випадках при наземному контролі виявляється доцільним розірвати ланцюг зворотного зв'язку. Тоді швидкість переміщення виконавчого органу в постійному режимі буде пропорційна вхідному ступінчастому сигналу.

При контролі працездатності відповідальних систем керування (регулювання) в польоті за умовами безпеки польотів не можна на їх входи подавати ступінчасті тестові сигнали. Необхідно для цих цілей використати робочі сигнали. Однак для систем керування з досить інерційним виконавчим приводом з метою безперервного динамічного контролю системи, за винятком приводу, може використовуватися частотний метод. На вхід об'єкта контролю пода-

ється сигнал з частотою, вищою за частоту пропускання приводу об'єкта. Аналізатор частотних характеристик здійснює безперервну оцінку амплітуди і фази вихідного сигналу, запас стійкості системи. Подібний метод безперервного динамічного контролю застосовується, наприклад, в деяких автопілотах.

2. 4. Мажоритарна комплексна оцінка параметрів

При синтезі комплексних систем закони розподілу похибок вимірників у процесі експлуатації заздалегідь невідомі. Єдиною початковою інформацією є результати вимірювань $y[i]$. При законах розподілу, які відрізняються від нормального, похибка при осередненні оцінок може істотно відрізнятись від помилок оптимальних оцінок. Найефективнішими в цьому випадку є оцінки, основані на загальному алгоритмі

$$x = \sum_{i=1}^n a[i] (y[1], y[2], \dots, y[n]) y[i]$$

з ваговими коефіцієнтами $a[i]$, що залежать не від номерів датчиків, а від номерів результатів вимірювань в упорядкованій послідовності $y[1], y[2], \dots, y[n]$, яка, за умови $y[1] < y[2] < \dots < y[n]$, називається варіаційним рядком результатів. Алгоритм оцінки має вигляд

$$x = \sum_{i=1}^n c[i] * y[i],$$

де $y[i]$ - порядкові статистики. Можливі будь-які варіанти вибору вагових коефіцієнтів $c[i]$.

Розглянемо алгоритми оцінки.

1. Алгоритм вибору медіани - середнього члена варіаційного ряду: $x = \text{med.}(y[1], y[2], \dots, y[n])$.

При $n = 2k + 1$

$$x = y[k+1]; \quad c[i] = \begin{cases} 1 & \text{при } i = k + 1, \\ 0 & \text{при } i = k + 1; \\ & i = 1, 2, \dots, n. \end{cases}$$

При $n = 2k$

$$x = 0.5 * (y[k] + y[k+1]) ; c[i] = \begin{cases} 0.5 & \text{при } i = k, k+1, \\ 0 & \text{при } i < k, i > k+1; \\ & i = 1, 2, \dots, n. \end{cases}$$

Оцінка у вигляді медіани варіаційного ряду оптимальна за мінімумом суми модулів відхилення:

$$\sum_{i=1}^n |x - y[i]| = \min.$$

2. Алгоритм осереднення ($n - 2r$) середніх членів варіаційного ряду з однаковими ваговими коефіцієнтами:

$$x = \frac{1}{n - 2r} \sum_{i=r+1}^{n-r} y[i], \quad n = 2k + 1.$$

Відкидання по r членів з кінців варіаційного ряду підвищує надійність перетворення, тому що зменшує ймовірність обліку показань датчика, який відмовив. Підвищення надійності компенсує зниження точності перетворення через зменшення числа осереднених показників вимірювачів. У граничних випадках цей алгоритм відповідає вибірковому середньому при $r = 0$ і мажоритарному при $r = k$.

Найширше з поданих вище алгоритмів використовується мажоритарний - вибір медіани варіаційного ряду.

Мажоритарне перетворення можна виразити через логічні операції диз'юнкції та кон'юнкції, які для безперервних величин еквівалентні вибору максимального і мінімального значень відповідно:

$x = \text{med}(y_1, y_2, \dots, y_n) = \min(u_1, u_2, \dots, u_t),$
де t - число сполучень із $n = 2k + 1$ по $k + 1$;

$$u_1 = \max(y_1, y_2, \dots, y_{k+1});$$

.....

$$u_t = \max(y_{k+1}, y_{k+2}, \dots, y_{2k+1}),$$

або $x = \text{med}(y_1, y_2, \dots, y_n) = \max(u_1, u_2, \dots, u_t),$
де t - число сполучень із $n = 2k + 1$ по $k + 1$;

$$u_1 = \min(y_1, y_2, \dots, y_{k+1});$$

.....

$$u_t = \min(y_{k+1}, y_{k+2}, \dots, y_{2k+1}).$$

3. МЕТОДИ ПОШУКУ МІСЦЯ ВІДМОВИ

3.1. Алгоритми і тести діагностування

Якщо контроль працездатності об'єкта дає негативний результат, то виникає задача визначення місця відмови із заданою точністю до знімного блока, знімної плати в блоці, окремого елемента в схемі. Як правило, процес пошуку місця відмови має велику тривалість та трудомісткість, потребує спеціальних засобів діагностування. Вони залежать від того, наскільки добре побудовано цей процес, яким вибрано алгоритм діагностування.

Алгоритмом діагностування називається сукупність приписів про порядок проведення діагностування. Він задає сукупність елементарних перевірок, послідовність їх реалізації та правила обробки результатів контролю. Якщо в послідовності перевірок вибір чергової з них залежить від результату попередньої, то алгоритм діагностування називається умовним. Якщо ж послідовність перевірок задана і не залежить від результатів елементарних перевірок, то алгоритм діагностування є безумовним.

Якщо видача результатів діагностування здійснюється тільки по завершенні всіх елементарних перевірок, то має місце алгоритм з безумовною зупинкою. В багатьох випадках фактичний стан об'єкта може бути визначено перш ніж будуть реалізовані всі елементарні перевірки, передбачені алгоритмом. У цьому випадку після виявлення стану об'єкта доцільно припинити подальшу реалізацію алгоритму діагностування. Алгоритм, в якому передбачено видачу результатів діагностування після реалізації кожної елементарної перевірки або певної групи перевірок і закінчення перевірок при виявленні технічного стану об'єкта контролю, називається алгоритмом з умовною зупинкою.

Алгоритм може складатися з ряду діагностичних тестів. Діагностичний тест (або скорочено - тест) - певна сукупність перевірок і послідовності їх виконання. Тест для перевірки справності або працездатності об'єкта називається перевірним, або контрольним.

Тест діагностування, який забезпечує пошук відмови (дефекту), називається тестом пошуку відмови (дефекту).

Число можливих станів об'єкта контролю визначається числом k елементів, з яких складається об'єкт. Один із цих станів - працездатний, а решта - непрацездатні. При цьому приймається, що кожний з елементів може знаходитися тільки в двох станах - працездатному та непрацездатному.

Передбачити автоматичне визначення великого числа станів або розробити алгоритми їх ручного пошуку неможливо. Для вирішення задачі автоматичного або ручного алгоритмічного пошуку місце відмови доцільно зробити певні обґрунтовані припущення. Одним з них є те, що на практиці малоімовірні випадки відмов більш ніж одного елемента в одному й тому ж об'єкті контролю. Тоді, в припущенні тільки одного елемента, який відмовив в об'єкті, число можливих станів об'єкта стає $k+1$ (k непрацездатних та один - працездатний). Проте й це число виявляється великим. Для подальшого зменшення числа станів, що діагностуються, можна використовувати експериментальні дані про ймовірність відмов елементів. Стани, які мають відносно малі ймовірності, виключаються з переліку тих, що діагностуються.

І все ж таки для складних об'єктів і в цьому випадку число ймовірних станів виходить великим. Тому на практиці замість визначення відмови з точністю до елемента часто приймають глибини пошуку відмови з точністю до знімного блока об'єкта.

Досвід експлуатації складних систем показує, що час пошуку несправності значно більший, ніж час її ліквідації. Тому найбільша увага приділяється вибору оптимальних методів організації процесу визначення місця відмови, тобто оптимальних методів діагностування об'єктів. Вони поділяються на методи послідовного діагностування, половинного розбиття елементів системи та комбінаційний метод.

3.2. Методи діагностування

При простій послідовності перевірок послідовно перевіряється працездатність кожного з елементів об'єкта діагностування. Ймовірність відмов та інші фактори тут не враховуються. Максимальне число перевірок n до визначення елемента, який відмовив, дорівнює числу елементів без одного:

$$\Pi = N - 1.$$

У такій формі цей метод практично не використовується, за винятком зовнішнього огляду об'єкта. При послідовній перевірці в порядку зменшення ймовірності відмови спочатку перевіряється елемент, ймовірність відмови якого максимальна. Якщо він справний, то перевіряється наступний, і т. д. В цьому випадку середнє число та час перевірок значно скорочуються. Метод інтуїтивно використовується техніками і механіками на практиці при ручному пошуку несправності. Наприклад, при відмові аеронавігаційного вогню спочатку перевіряється лампочка, далі - запобіжник, а потім - вимикач.

Перевірка з урахуванням ймовірності відмови і часу її пошуку може забезпечити скорочення часу пошуку місця відмови. Нехай маємо систему, яка складається з N елементів, один з яких несправний. Ймовірності їх відмов і час перевірок кожного елемента дорівнюють, відповідно, q_i і t_i , де $i=1, 2, \dots, N$.

Якщо вибирається послідовність перевірок елементів відповідно до їх нумерації, то математичне сподівання часу пошуку за цієї програмою

$$M_1 = q_1 t_1 + q_2 (t_1 + t_2) + \dots + \\ + q_N (t_1 + t_2 + \dots + t_N).$$

Якщо вибрано іншу послідовність перевірки, наприклад, $2, 1, 3, 4, \dots, N$, то математичне сподівання часу

$$M_2 = q_2 t_2 + q_1 (t_1 + t_2) + \dots + \\ + q_N (t_1 + t_2 + \dots + t_N).$$

Перша програма буде ефективніша за другу, якщо $M_1 - M_2 < 0$, тобто $q_2 t_1 < q_1 t_2$, або $(q_2 t_1 < q_1 t_2)$. Таким чином, побудувавши послідовність перевірок відповідно до нерівності

$$(q_1/t_1) > (q_2/t_2) > (q_3/t_3) > \dots > (q_N/t_N),$$

одержимо мінімальне математичне сподівання часу перевірок.

При простому половинному розбитті кола послідовно з'єднаних елементів (рис. 3.1) на виході схеми сигнал може бути відсутнім. При цьому перевіряється наявність сигналу в точці, яка поділяє систему навпіл. Якщо тут сигналу немає, то перевіряється точка d_2 (або d_6). А якщо сигнал у точці d_2 є, то перевіряється точка d_4 і т.д. (перевірки у вказаних точках є елементарними). При такому методі перевірок їх число не перевищує $\Pi < \log_2 N$. Проте такий пошук виправдовується, якщо всі елементи системи рівнозначні. Він досить зручний для пошуку несправності в електричних мережах.

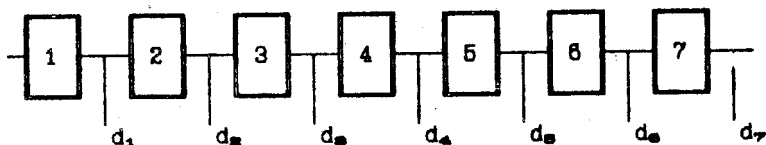


Рис. 3.1. Метод контролю за допомогою простого половинного розбиття кола з'єднаних елементів

Поділ системи на дві частини з рівними ймовірностями відмов забезпечує зменшення середнього часу пошуку відмови. Нехай маємо коло із $N=7$ елементів з умовними ймовірностями відмов g_i (рис. 3.2).

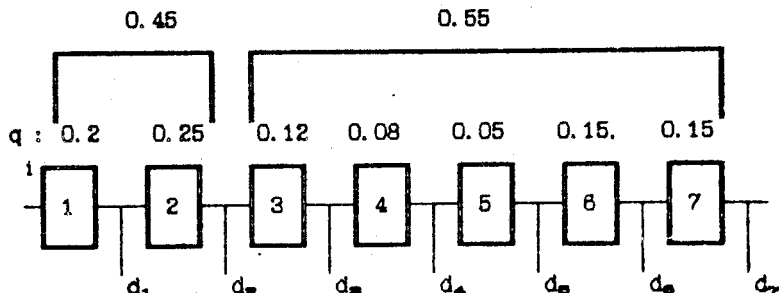


Рис. 3.2. Поділ системи на дві частини з рівними ймовірностями відмов

При цьому

$$q_i = \frac{q_i}{\sum_{i=1}^N q_i}; \quad \sum_{i=1}^N q_i = 1.$$

Перша елементарна перевірка проводиться в точці, яка поділяє систему на дві частини, суми ймовірностей відмов елементів яких рівні або близькі до 0.5. Якщо тут сигнал - не в допуску, то проводиться перевірка в точці, яка поділяє ліву частину системи на дві частини з близькими ймовірностями відмов, і т. д. Число перевірок при цьому

$$1 < \Pi < N - 1.$$

Подібний метод контролю доцільно використовувати для об'єктів з послідовним з'єднанням блоків: демпферів коливань літака, дистанційних компасів, електричних мереж.

У багатьох випадках структура об'єктів контролю подається не у вигляді послідовного з'єднання блоків, а досить складними, розгалуженими схемами (рис. 3.3). Об'єкт має по декілька входів і виходів. Вхідні впливи позначені через y_1, y_2, y_4 , а вихідні сигнали (елементарні перевірки) - через d_1 .

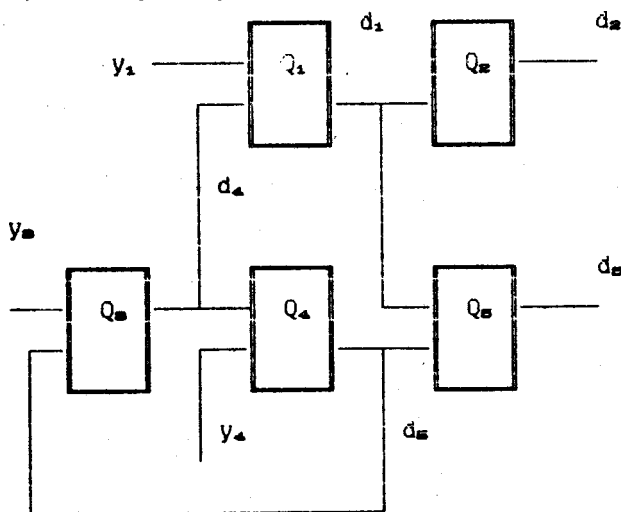


Рис. 3.3. Схема об'єкта контролю

Для визначення працездатного стану можна контролювати не якийсь один, а всі ознаки при подачі певного входного впливу. Так, при подачі впливу y_4 сигнал пройде через усі блоки Q_1 . Звідси випливає, що працездатність характеризується кон'юнкцією

$$F_0 = y_4 d_1 d_2 d_3 d_4.$$

Проте для оцінки працездатності, як виявляється, достатньо контролювати тільки ознаки d_2 та d_4 . При цьому функція працездатності має вигляд $F_0 = y_4 d_2 d_4$.

Аналогічно й різні непрацездатні стани характеризуються різними комбінаціями ознак у функції кон'юнкції.

Якщо кожний конкретний стан об'єкта контролю характеризується певною, властивою тільки для цього стану комбінацією ознак, то має місце комбінаційний метод діагностування. Він може дати значний виграв у кількості контрольованих ознак станів порівняно з розглянутими вище простими методами послідовного пошуку.

3.3. "Дерево" пошуку відмов

При половинних розбиттях елементів об'єктів і комбінаційному методі діагностування алгоритм діагностування зручно подати у вигляді "дерева" пошуку відмови.

Якщо перевірка виходу об'єкта (див. рис. 3.2) показала, що об'єкт знаходиться у непрацездатному стані, то процес послідовного проведення елементарних перевірок можна подати у вигляді графа - "дерева" пошуку відмови (рис. 3.4). Тут результати елементарних перевірок позначені стрілками з цифрами 1 або 0. Якщо перевірка показує, що контрольований параметр в допуску, то результату присвоюється цифра 0, а якщо ні, - то 1. Самі перевірки позначені літерами d з індексами.

Перша перевірка показує, що стани об'єкта належать підмножині $S_1 \dots S_7$, якщо результат дорівнює 0, або підмножині $S_4 S_5$, якщо - 1.

Якщо після d_1 перевіряється d_2 , то підмножина ділиться на дві: $S_1 S_7$, якщо $d_2=0$, та $S_4 S_5$, якщо $d_2=1$. Процес перевірки здійснюється доти, доки в підмножинах залишиться тільки по одному стану. В результаті побудови всіх можливих шляхів визначення ста-

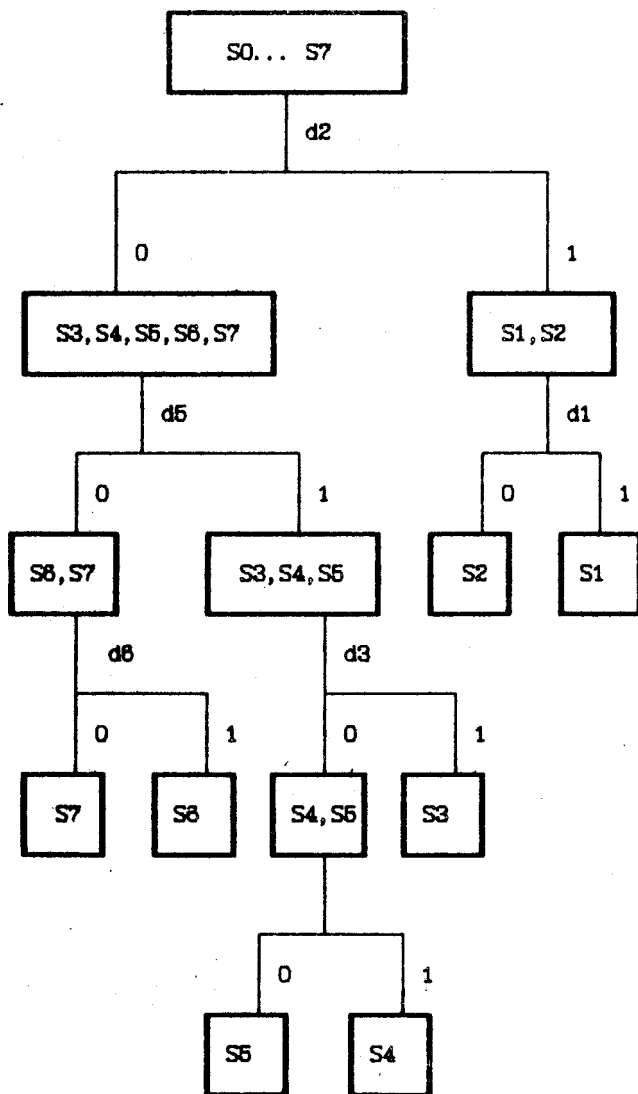


Рис. 3.4. "Дерево" пошуку відмов

нів одержуємо граф пошуку відмов, або "дерево" пошуку відмов (рис. 3.4). Початкове положення графа називається "коренем дерева". "Гілки дерева" закінчуються висячими вершинами, тобто знайденими станами. При комбінаційному методі діагностування множина станів, які визначаються, може включати крім шуканих відмов також і працездатний стан.

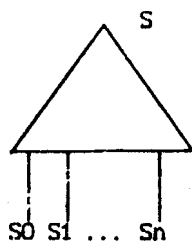
3.4. Організація процесів діагностування

Існує три способи організації процесу діагностування. При першому способі застосовується загальний алгоритм діагностування, який розв'язує задачі перевірки працездатності об'єкта і пошуку його відмови (рис. 3.5,а). Трикутником тут зображено "дерево" визначення стану. Зверху вказано вихідну множину станів S , яка стоїть у "корені дерева", а під основою "дерева" - стани, що розрізняються, включаючи працездатний.

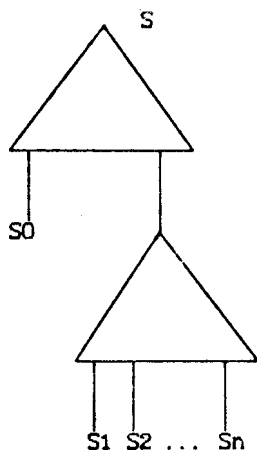
Застосування загальних алгоритмів доцільне тоді, коли ймовірності працездатного технічного стану об'єкта та його непрацездатних станів мало відрізняються між собою, а також у тому випадку, коли процес визначення працездатності об'єкта за тривалістю близький до середнього часу діагностування непрацездатного об'єкта. Іншими словами, якщо в процесі контролю працездатності об'єкта автоматично, без додаткових витрат часу, йде і процес діагностування, то доцільне застосування загального алгоритму діагностування.

Якщо ймовірність працездатного стану об'єкта набагато більше ймовірності його непрацездатних станів, а час визначення працездатного стану малий порівняно з пошуком місця відмови, то може бути вигідним відокремити процес перевірки працездатності в д.д. процесу пошуку відмови в об'єкті (рис. 3.5, б).

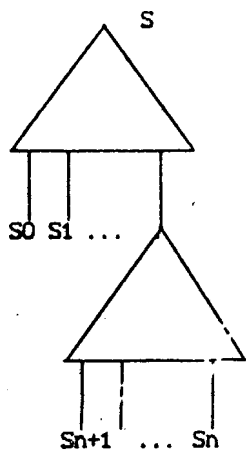
Процес діагностування можна організувати також за змішаним варіантом (рис. 3.5, в), коли частина стану відмов визначається в процесі контролю працездатності, а частина, що залишилася, - за спеціальним алгоритмом пошуку. Другий і третій способи організації в процесі діагностування зручні при об'єднанні функціонального і тестового діагностування.



а



б



в

Рис. 3.5. Схеми організації процесів діагностування

4. МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ, ЩО ДІАГНОСТУЮТЬСЯ, ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕСТІВ

4.1. Діагностичні моделі

Моделювання - це один з інструментів дослідження складних систем на всіх стадіях життєвого циклу. Загальновизнане поняття моделі (як і системи), на жаль, не опрацьоване. Але з інженерно-технічної точки зору, а тим більше з наукової, означення "модель об'єкта" має семантичний (смысловий) зміст.

Модель об'єкта або процесу уявляється такою формалізованою суттю (наприклад, безліччю параметрів та їх взаємозв'язків), що характеризує які-небудь певні властивості реального об'єкта (процесу), подані в зручній і наочній формі. Між об'єктом і моделлю існує зв'язок - модель відображає реальність об'єкта і дозволяє в певних межах імітувати деякі властивості об'єкта, що викликають у нас аналогічні відчуття і оприйняття.

Діагностичні моделі (ДМ) - це моделі об'єктів і процесів діагностування, тобто їх формалізовані описи, які є початковими для визначення та реалізації алгоритмів діагностування. ДМ потрібно розглядати як сукупність методів побудови математичної моделі, що зумовлює, в свою чергу, методичку формування опосередкованих та алгоритмів визначення технічного стану об'єкта.

Явна модель - це сукупність формальних описів справного та працездатного об'єкта і всіх його несправних і непрацездатних станів.

Неявна модель - який-небудь формальний опис об'єкта, математичні моделі його фізичних несправностей і правила одержання за цими даними всіх інших описів, що характеризують інші стани.

Класифікація моделей об'єктів пов'язана з їх структурами і поділяє моделі на такі групи:

1. Безперервні моделі, що описують об'єкт і перебіг процесів у часі. ДМ безперервних об'єктів - це більшою частиною алгебраїчні або диференціальні лінійні та нелінійні рівняння, включаючи передатні функції.

2. Дискретні моделі, що визначають стан ОД дискретного типу для послідовності значень часу, як правило, без урахування їх

рактору перебігу процесів у проміжках часу. Ці моделі використовуються для опису цифрових та імпульсних пристроїв.

3. Гібридні моделі, що описують реальні об'єкти, і містять як пристрої безперервної дії, так і імпульсні (цифрові) пристрої.

4. Спеціальні моделі, що характеризують велику групу моделей, побудова яких визначається специфікою об'єктів та особливостями діагностичного забезпечення. До цієї групи можуть бути віднесені функціональні моделі, моделі характеристик, інформаційних потоків та інші методи подання взаємозв'язків між станом об'єкта, його елементами і параметрами вихідних сигналів.

Методи побудови моделей дозволяють поділити їх на функціонально-логічні, аналітичні, графоаналітичні, інформаційні та спеціальні.

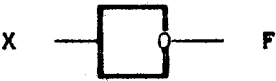
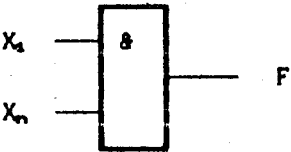
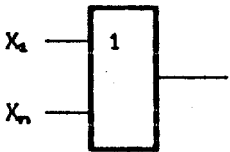
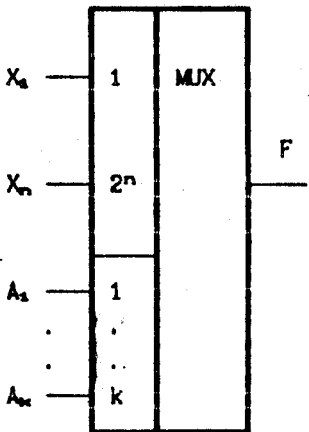
Орієнтовані графи будуються безпосередньо за функціональною схемою пристрою. Будь-яка функціональна (принципова) схема може бути зображена логічною структурною схемою формування і проходження сигналів, в якій закладено інформацію про стан пристрою. Таким чином, первинним виглядом діагностичної моделі є структурна, або функціональна схема.

Функціонально-логічні моделі, що характеризують форму, подання пристрою як об'єкта діагностування, лежать в основі складання діагностичних моделей. Діагностичних моделей може бути декілька на різних рівнях опису системи. Вони спрощують (в розумних межах) наші уявлення про складну залежність і процеси, дозволяють з мінімальними витратами вирішувати проблеми діагностичного забезпечення експлуатації. Функціонально-діагностична модель на базі функціональних схем пристроїв і систем є представником цієї моделі. У табл. 4.1 наведено приклади моделей логічних елементів, які використовуються при побудові діагностичних програм.

Найпоширенішою є таблиця діагностичних моделей. Позначимо множину технічних станів об'єкта контролем символом A . Нехай a_0 означає працездатний стан, а a_i - його i -й непрацездатний стан, $i=1 \dots n$, де n - загальне число відмов, визначені для розпізнавання в процесі діагностування.

Кожному i -му непрацездатному стану відповідає відмова a_i з

Таблица 4.1

Логічний елемент	Модель
	$F = 1 - X$
	$F = X_1 \star X_2 \star \dots \star X_n$
	$F = 1 - (1 - X_1) \star \dots (1 - X_n)$
	$F = X_m$ $X_m = \sum_{i=1}^n A_i \star 2^{i-1}$

множини A та навпаки. При цьому під непрацездатністю розуміють окремі та кратні відмови блоків логічної моделі. Відмова є одиничною, коли відмовляє один блок моделі, і кратною - коли одночасно відмовило будь-яке з'єднання блоків моделі.

Побудуємо прямокутну таблицю стану (табл. 4.2), у рядках якої - відповідні допустимі елементарні перевірки, тобто ознаки g_i , у контрольних точках об'єкта, а в стовпцях - технічні стани a_i об'єкта із множини A .

Таблиця 4.2

$G \setminus A$	a_0	a_1	a_2		a_n
g_1	0	R_{11}	R_{12}		R_{1n}
g_2	0	R_{21}	R_{22}		R_{2n}
.					
g_k	0	R_{k1}	R_{k2}		R_{kn}

У клітині таблиці, яка розташована на перехресті рядка g_i і стовпця a_j , проставляються результати елементарної перевірки g_i об'єкта, які знаходяться у стані a_j . Якщо при перевірці ознаки g_i остання - в допуску для об'єкта, який знаходиться в стані a_j , то результатів перевірки надається значення $R_{ij} = 0$. Якщо ознака g_i з'являється не в допуску, то $R_{ij} = 1$.

У наведеній таблиці у стовпці a_0 проставлено всі результати перевірок, що дорівнюють 0, тому що цей стовпець відповідає працездатному стану об'єкта.

4.2. Методи оптимізації контрольних тестів

При побудові мінімального контрольного тесту (МКТ) виходимо з таких припущень:

1. У кожний фіксований момент часу несправним може бути тільки один елемент пристрою (схеми).

2. Неправність елемента носить стійкий характер. Нехай вивчається деякий пристрій (схема), що має N входних сигналів

$$x_1, \quad x_2, \quad x_3, \quad . \quad . \quad . \quad , \quad x_{N-1}, \quad x_N$$

і M елементів

$$a_1, \quad a_2, \quad a_3, \quad . \quad . \quad . \quad , \quad a_{M-1}, \quad a_M$$

для яких побудовано матрицю неправності.

Найпростіший для данного пристрою - повний тест, тобто послідовна перевірка правильної роботи входних змінних на всіх наборах. Але такий тест є надмірним, тому що елементи перевіряються багаторазово при різних входних наборах. У цьому випадку виникає задача визначення такої мінімальної кількості входних наборів, на яких кожний елемент перевіряється не менше як один раз.

Множину наборів входних змінних можна подати в такому вигляді:

$$x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad . \quad . \quad . \quad x_{N-1} \quad x_N = G_0 ;$$

$$x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad . \quad . \quad . \quad x_{N-1} \quad x_N = G_1 ;$$

$$x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad . \quad . \quad . \quad x_{N-1} \quad x_N = G_{2M-2} ;$$

$$x_1 \quad x_2 \quad x_3 \quad . \quad . \quad . \quad x_{N-1} \quad x_N = G_{2M-1} .$$

Вхідні набори множини G і елементи, які перевіряються на цих наборах, зв'язано деякою функцією

$$Bg_0 = A_0, \quad Bg_1 = A_1, \quad Bg_{2M-1} = A_{2M-1},$$

де

$$A_0 * A_1 * A_2 * . \quad . \quad . \quad * A_{2M-1} \in A;$$

" * " означає логічне множення (кон'юнкцію).

Підмножина елементів, що перевіряються на наборах, може бути записана так: -

$$A_i = \{ a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{ik} \}.$$

Властивістю підмножини A_i є наявність як перетинних, так і неперетинних підмножин.

У цьому випадку задачу складання МКТ можна сформулювати таким чином. У множині B необхідно знайти підмножину T найменшої потужності, де для будь-якого $a_j \in A$ знайдеться таке $g_i \in T$, що $a_j \in Bg_i$.

У такій постановці ця задача зводиться до задачі про мінімальне покриття таблиці та розв'язується за допомогою такого алгоритму. Складається булівський добуток

$$P_1 * P_2 * \dots * P_m,$$

де

$$P_i = g_{i1} + g_{i2} + \dots + a_{ik};$$

" + " означає логічну суму (диз'юнкцію), а підмножина наборів відповідно складає

$$Bg_{i1} = A_{i1}, \quad Bg_{i2} = A_{i2}, \quad Bg_{ik} = A_{ik},$$

причому

$$A_{i1} * A_{i2} * \dots * A_{ik} = A_i$$

і A_i складається з одного елемента a_i . Іншими словами, знаходимо якусь сукупність наборів

$$\{ g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{ik} \},$$

за якою перевіряється елемент a_i .

Одержаний вираз зводимо до диз'юнктивної нормальної форми з подальшим вибором додатка з мінімальною кількістю членів. Цей додаток (один або декілька) і буде мінімальним контролюючим тестом.

При перетворенні використовуються такі правила алгебри логіки:

$$X * X * \dots * X = X;$$

$$X + X + \dots + X = X;$$

$$X + X * Z = X;$$

$$X * (X + Z) = X,$$

де " * " означає кон'юнкцію (логічне множення), а " + " - диз'юнкцію (логічну суму).

При конструюванні МКТ не враховувалися ймовірності виникнення несправностей, і питання про послідовність перевірок приладів не ставилися. Виходи з ладу елементів приладу є незалежними випадковими подіями рівної ймовірності, тому кожен елемент одного блока виконується в основному з початкових деталей, які мають однаковий гарантійний строк служби.

Таким чином, якщо прилад, що має M елементів, випробовується на наборі, що перевіряє тільки M_1 елементів, ймовірність виявлення несправного елемента складає

$$P_1 = M_1 / M$$

Середня кількість випробувань, які необхідно виконати до виявлення несправного елемента, дорівнює

$$MSI = 1 * p_1 + 2 * p_2 + \dots + i * p_i,$$

де MSI - математичне сподівання середньої кількості випробувань S ;

n - довжина мінімального контрольного тесту;

i - порядковий номер випробування (вхідного набору) в МКТ.

Спрощений алгоритм вибору упорядкованого контрольного тесту складається таким чином.

Рядок МКТ з найбільшою кількістю одиниць вибирається першим в упорядкованому тесті. Далі викреслюються одиниці у всіх стовпчиках, в яких знаходилися одиниці в раніше вибраному рядку, і вибирається рядок з максимальною кількістю одиниць. Процедура пошуку триває доти, доки всі набори МКТ не будуть вибрані.

Для доведення ефективності впорядкування досить розрахувати величину MSI упорядкованого МКТ, порівняти її з величиною середньої кількості випробувань для виявлення несправності для будь-якого невпорядкованого тесту.

4.3. Методи оптимізації діагностичних тестів

Множина T перевірок, яка є діагностичним тестом, повинна мати властивість виявлення будь-якого непрацездатного стану й розпізнання всіх непрацездатних станів з множини A .

Властивість виявлення означає, що для будь-якого непрацездатного стану a , $a \in A$ знайдеться хоча б одна елементарна перевірка g , $g \in T$, при якій результат перевірки покаже, що об'єкт непрацездатний, тобто $R_{1j} = R_{10}$.

Властивість розрізнення всіх станів із A означає, що для будь-якої пари станів $a_j, a_m \in A$, ($j \neq m$) знайдеться хоча б одна елементарна перевірка g , $g \in T$, при якій результат перевірки покаже $R_{1j} \neq R_{1m}$.

Наявність у множині T властивості виявлення стану відмови еквівалентно тому, що стовпець a_0 відрізняється від кожного з решти стовпців таблиці. За наявності властивості розрізнення всі стовпці таблиці попарно розрізнені.

Нехай в результаті аналізу логічної діагностичної моделі або безпосередньо електричної схеми об'єкта контролю одержано таблицю станів.

Відсутність однакових стовпців у таблиці свідчить, що взятий набір ознак (елементарних перевірок) забезпечує розрізнення всіх станів. Проте часто виявляється, що початково взятий набір ознак надмірний. Наявність великої надмірності ознак станів призводить до ускладнення об'єкта і засобів контролю, підвищення вартості та часу контролю. Тому в процесі дослідження виробів як об'єкта контролю необхідно вирішити задачу знаходження мінімальної або близької до мінімальної сукупності ознак станів (елементарних перевірок) з початкової заданої множини.

Перший етап мінімізації числа ознак - перегляд їх на інформативність. Якщо в якому-небудь рядку таблиці з'являється тільки одиниці або нулі, то це свідчить про відсутність інформативності відповідної ознаки. Такі рядки в таблиці необхідно викреслити, тобто виділити з подальшого розгляду відповідних ознак.

Другий етап розв'язання задачі - перевірка таблиці на наявність в ній однакових рядків. Наявність таких рядків свідчить, що відповідні ознаки станів тотожно відображають множину станів об'єкта. Тому з усіх таких ознак слід залишити тільки ту одну, яку найлегше одержати і реалізувати при контролі. Наприклад, завжди простіше заміряти значення напруги, ніж струму.

Якщо об'єкт контролю ідеально призначений до діагностування, то мінімальне число ознак, необхідне для розрізнення всіх n

можливих станів об'єкта, $k = \log_2(n)$. Значення k округляється до найближчого більшого числа. Проте для реальних об'єктів не завжди є можливість виділити такий вдалий мінімальний набір ознак. Тому дійсне число n ознак у мінімальному наборі $n_{\min} > k$.

Для складних об'єктів контролю, заданих таблицею станів великої розмірності, виділити дійсно мінімальний набір ознак досить важко.

Існує багато методів знаходження достатньо близьких до мінімального набору ознак. Проте завжди точне мінімальне число ознак дає лише один метод - метод точного визначення мінімального набору ознак станів в тесті, який складається з таких етапів:

- для кожної пари станів записуються умови розрізнення;
- записується загальна розрізняльна логічна функція, яка визначає умови розрізнення всіх станів;
- за допомогою правил алгебри логіки виконується спрощення розрізняльної логічної функції та її перетворення до диз'юнктивної нормальної форми (ДНФ);
- з множин кон'юнкцій, які входять до ДНФ, вибирається розв'язок:

а) якщо вартість елементарних перевірок однакова - кон'юнкція мінімального рангу, а за наявності декількох - будь-яка з них;

б) якщо вартість елементарних перевірок різна, то для кожного варіанта побудови діагностичного тесту визначається його вартість та вибирається тест мінімальної вартості, а при перетворенні використовуються наведені правила алгебри логіки.

Зі зростанням кількості розрізнявальних станів і ознак задача визначення мінімального набору ознак дуже ускладнюється у зв'язку з різким зростанням числа диз'юнктивних членів перетвореної розрізняльної функції. Тому на практиці використовуються спеціальні методи мінімізації початкового набору ознак. Ці методи забезпечують одержання тесту, близького до мінімального, а в багатьох випадках - і мінімального тесту. Будь-який з існуючих сучасних методів мінімізації принципово не дає точного розв'язку задачі, хоча в результаті й можуть бути одержані мінімальні тести. Проте довести, що тест є мінімальним, можливо лише в єдиному випадку, якщо число ознак в тесті

$$n = \text{Log}_2 N$$

при округленні дробового числа до найближчого цілого числа, де n - довжина діагностичного тесту, N - кількість станів.

Якщо ця умова не виконується, то не можна стверджувати, що одержаний тест не є мінімальним: можливо, що структура об'єкта контролю і вибрані в ньому контрольні точки не забезпечують виконання наведеної вище умови.

Одним зі спеціальних методів одержання близького до мінімального діагностичного тесту є метод покрокового спрощення розрізняльної функції за числом входження в неї ознак станів, який полягає в тому, що при вибиранні кожної за чергою ознаки в тест аналізується число входжень ознак в розрізняльну функцію і вибирається та, що має максимальне число входжень.

Будь-який тест, незалежно від того, є він мінімальним чи ні, забезпечує поглинання всіх диз'юнктивних кон'юнкцій цієї функції. Складовим тесту T є не менше ніж один представник з кожної диз'юнктивної кон'юнкції цієї функції. Імовірність одержання тесту, найближчого до мінімального, збільшується, якщо на кожному кроці в тест вибрати ознаку з диз'юнкції мінімальної довжини, яка має максимальне число входжень в розрізняльну функцію. Таким чином, алгоритм побудови близького до мінімального діагностичного тесту полягає в такому:

1. Записується узагальнена розрізняльна функція. При реалізації алгоритму на ЕОМ узагальнену розрізняльну функцію зручно подати у вигляді матриці, рядки якої відповідають ознакам (перевіркам), а стовпці являють собою часткові розрізняльні функції для кожної пари станів.

2. Визначається число входжень в розрізняльну функцію кожної ознаки.

3. Вибирається ознака, яка має максимальне входження, за наявності декількох - перша.

4. Виконується логічне множення розрізняльної функції на вибрану ознаку, що тотожно викресленню з матриці часткових розрізняльних функцій стовпців, які містять "1" у вибраному в п. 3 рядку.

5. Повторюються п. 2, 3, 4.

4.4. Методи автоматичного аналізу результатів діагностування

Аналізатори результатів діагностування призначені для збирання результатів виконання перевірок, їх запису, аналізу та формування відповідних сигналів для пристроїв відображення інформації.

У процесі контролю об'єкта в спеціальному регістрі накопичуються значення ознак його станів. Після завершення операцій одержання ознак комутатор підключає на вхід логічного аналізатора виходи регістра накопичувача. Залежно від значення набору ознак вмикаються сигнальна лампа "Придатен" або "Не придатен" і лампа сигналізації місця відмови.

Таблиця станів з мінімізованим набором ознак може бути використана для побудови системи логічного аналізатора станів. Наприклад, схему логічного аналізатора можна побудувати за допомогою логічних елементів, кожний з яких реалізує відповідну кон'юнкцію. При цьому використовуються по n входів, де n - довжина діагностичного тесту. Якщо кількість станів менша, ніж 2^n , схему аналізатора можна спростити.

Записані до таблиці станів ознаки є необхідними для розрізнення всіх станів. Проте не всі вони необхідні для того або іншого конкретного стану. Визначення мінімального набору ознак для кожного конкретного стану дозволяє зменшити кількість входів елементів. В результаті забезпечується мінімізація схеми логічного аналізатора. Визначення мінімальних наборів із загального тесту, потрібних для кожного конкретного стану, виконується складанням часткових розрізняльних функцій з мінімізованої таблиці станів.

Наприклад, таблиця станів має вигляд, наведений у табл. 4.3. Записуємо і спрощуємо розрізняльні функції для кожного стану окремо.

Так, для стану a_0

$$R_0 = (q_6 + q_7)(q_2)(q_2 + q_6 + q_7)(q_6) = q_2 q_6$$

Таким чином, ознаками q_2 і q_6 стан a_0 відрізняється від решти. Подібним чином розв'язуються функції для решти станів.

Результати розрахунків зводяться до таблиці (табл. 4.4), за якою будується логічна схема контролю, що у більшості випадків є набагато простішою. На рис. 4.1 наведено схему, побудовану без використання розрізняльних функцій, а на рис. 4.2 - за допомогою спрощення розрізняльних функцій.

Таблица 4.3

$\begin{array}{c} A \\ Q \end{array}$	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
q_2	0	0	1	1	0
q_6	0	1	0	1	1
q_7	0	1	0	1	0

Таблица 4.4

$\begin{array}{c} A \\ Q \end{array}$	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4
q_2	0	0	1	1	--
q_6	0	1	0	1	1
q_7	--	--	--	--	0

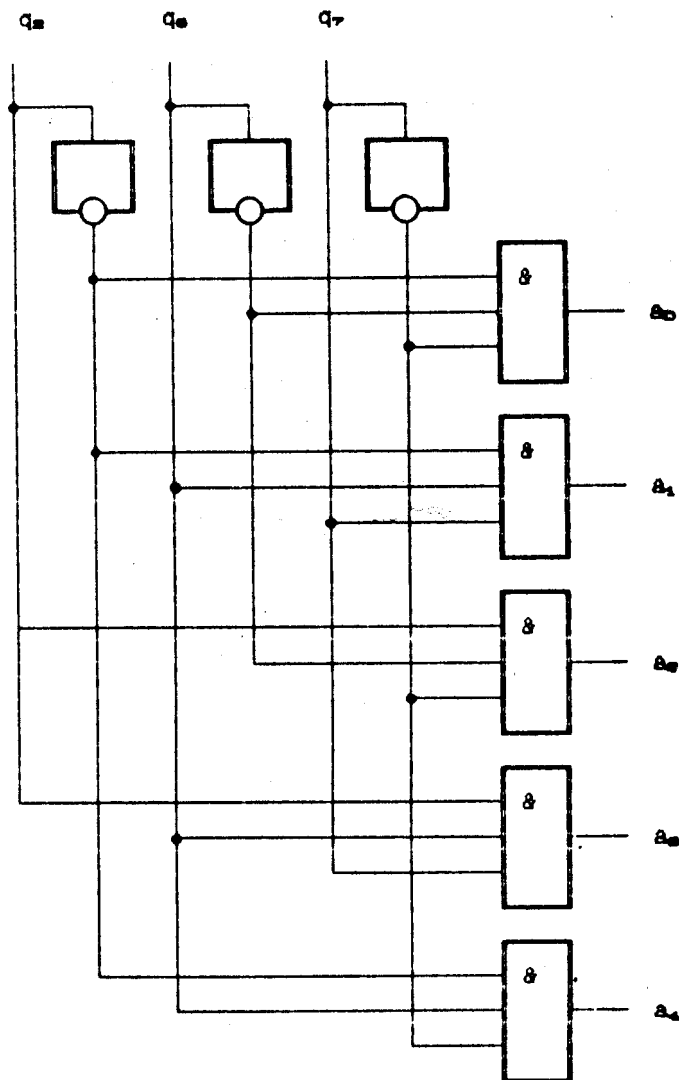


Рис. 4.1. Логічний аналізатор, побудований без використання розрізняльних функцій

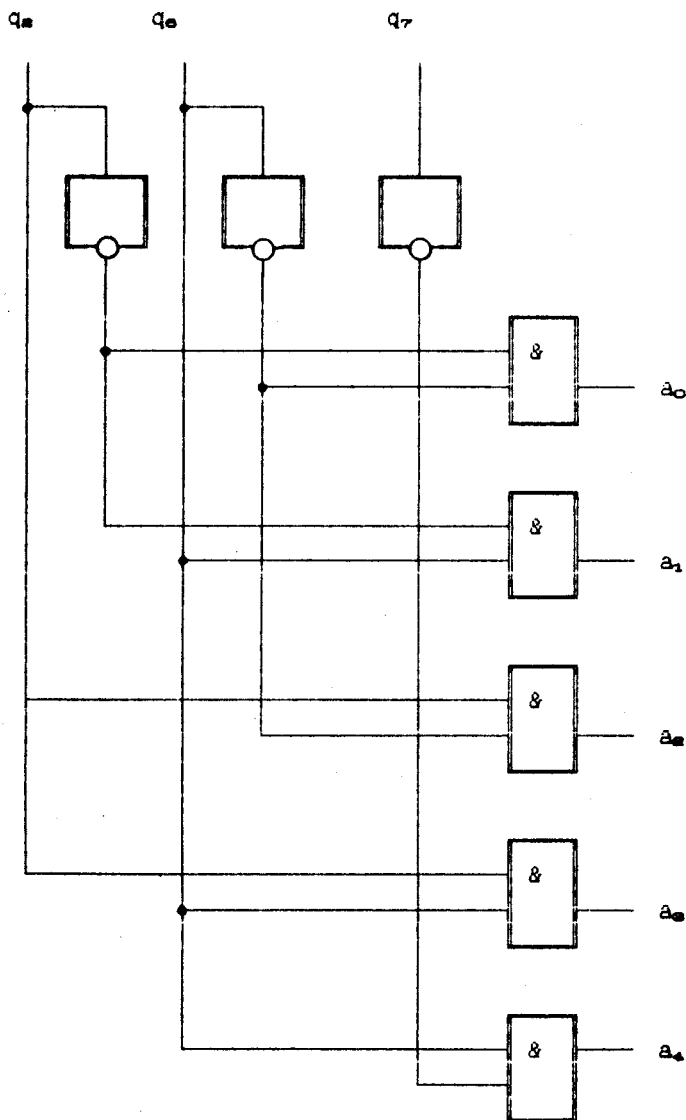


Рис. 4.2. Логічний аналізатор, побудований за допомогою спрощення розрізняльних функцій

5. ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ОБЧИСЛОВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

5.1. Контроль працездатності бортових цифрових обчислювальних пристроїв

У системах авіаційного обладнання широко використовуються дискретні пристрої різного виду та функціонального призначення. Вони поділяються на дискретні комбінаційні (логічні діагностичні автомати, пристрої контролю і захисту від підвищення та зниження частоти і напруги в системах електропостачання тощо) і цифрові обчислювальні пристрої (мікропроцесори, обчислювачі у системах навігації, керування польотом, керування авіадвигунами, цифрові прилади і регулятори, цифрові та інформаційні системи тощо).

Основа побудови комплексу бортового обладнання нового покоління - бортові цифрові обчислювальні пристрої (БЦОМ). Один літак може мати декілька БЦОМ і різних дискретних автоматичних пристроїв. Ці обчислювальні пристрої істотно впливають на безпеку польотів та ефективність діяльності експлуатаційних підрозділів авіації. Тому фахівець по авіаційному обладнанню повинен знати методи і засоби діагностування таких пристроїв.

Розглянемо методи контролю працездатності БЦОМ.

У результаті відмови БЦОМ припиняє тимчасово, частково або повністю виконання своїх функцій. Як правило, причинами відмов БЦОМ буває пошкодження елементів схеми або зв'язків між ними. Особливість цифрових пристроїв - значна ймовірність виникнення перебоїв в їх роботі, коли будь-яка комірка регістра, лічильника, логічного елемента не спрацьовує від відповідного вхідного сигналу або спрацьовує від дії випадкової перешкоди за відсутності вхідного сигналу. Після перебою БЦОМ продовжує роботу нормально. Проте якщо в системі відсутні засоби контролю та захисту від перебоїв, то результати обчислень БЦОМ можуть виявитися цілком неприйнятними.

Контроль працездатності БЦОМ здійснюється автоматично під час підготовки комплексу обладнання до польоту і під час польоту. При цьому використовуються вбудовані засоби контролю та спеціальні тест-програми розв'язання контрольних задач. Якщо

виявляється відмова БЦОМ, то за допомогою наземної контрольно-вимірювальної апаратури (КВА) проводиться пошук блока, що відмовив. В ряді випадків окремі блоки БЦОМ мають світлову сигналізацію справності (відмови).

Для оцінки працездатності БЦОМ використовуються програмно-логічний, тестовий і схемний види контролю. Кожен з них може здійснюватися кількома методами.

Програмно-логічний контроль об'єднує: метод подвійної лічби, метод скороченого алгоритму, метод потрібного зберігання, логічний контроль, метод контрольних тотожностей, метод контролю тривалості виконання програми.

Методи подвійної лічби забезпечують найпростіше виявлення випадкових перебоїв у роботі БЦОМ. При цьому методом одна й та сама задача розв'язується двічі і проводиться порівняння результатів. Проте тривалість розв'язання цієї частини задачі підвищується більш ніж в 2 рази.

Метод скороченого алгоритму полягає в контролі працездатності БЦОМ шляхом порівняння результатів лічби за основним і спрощеним алгоритмами. Найнадійніший контроль розв'язання задачі та виявлення відмов може бути одержаний при одночасному використанні на борту трьох однакових БЦОМ для розв'язання одних і тих самих задач. При цьому вихідний результат системи БЦОМ визначається за мажоритарним принципом. Проте спосіб потрібного резервування БЦОМ сполучений зі зростанням об'ємів та маси бортового обладнання.

Метод потрібного зберігання використовується для захисту від перекручення особливо важливої інформації в оперативному пристрої запам'ятовування (ОПЗ). При цьому кожна комірка пам'яті ОПЗ дублюється двома комірками, розташованими в різних частинах ОПЗ. При перебої спеціальна програма відновлення інформації забезпечує порозрядне порівняння вмісту трьох комірок і вибір правильних даних за мажоритарним принципом. Правильний результат записується в комірку, в якій попередній запис виявився неправильним.

Логічний контроль даних полягає в порівнянні обчисленого значення або параметра, який вводиться, з межами його допустимих значень, у встановленні несуперечності відомого співвідно-

шення між значеннями змінних. Наприклад, зростання швидкості повинно відповідати прискорення, кутовій швидкості розвороту літака - сигнал на протидійне відхилення руля автоматом стійкості тощо.

Метод контрольних тотожностей може бути використаний для контролю правильності інформації, яка вводиться, правильності розв'язання різних рівнянь. Прикладом контрольних тотожностей є рівняння $\sin^2 x + \cos^2 x = 1$. При введенні значення кута x БЦОМ проводить контрольне розв'язання цього рівняння, результатом якого має бути одиниця.

Контроль тривалості виконання програми забезпечує знаходження зациклення окремих ділянок програми. Для такого контролю використовуються лічильник часу і константи допусків на тривалість виконання окремих ділянок програми, які зберігаються в постійному пристрої запам'ятовування (ППЗ). Опитування лічильника часу здійснюється за командами переривання. Якщо при цьому лічильник виявиться встановленим на значення, яке перебільшує максимальну розрахункову тривалість виконання програми, то виробляється ознака передачі керування підпрограми аналізу перебоїв. Ця підпрограма забезпечує аналіз характеру і місця перебою, захист від його шкідливих наслідків, накопичення статистики перебоїв. Якщо перебій був випадковим (однократним), то підпрограма передає керування основній програмі на повторення обчислень, які перервалися перебоєм. А якщо останній - систематичний, то керування передається тестовій програмі для локалізації місця відмови і видачі сигналу відмови БЦОМ.

Тестовий контроль об'єднує вбудований тестовий контроль, діагностичні та імітаційні тести. Програми тестів записані в ППЗ БЦОМ, або ППЗ контрольно-вимірювальної апаратури, або в діагностичних ППЗ, які встановлюються на борт тільки на час діагностування.

Тест вбудованого контролю (ТБК) забезпечує автоматичний контроль працездатності БЦОМ протягом підготовки до польоту і в польоті з моменту ввімкнення машини. Згідно зі спрощеним алгоритмом ТБК забезпечує послідовний контроль пристроєм арифметики і керування (ПАК), оперативного пристроєм запам'ятовування (ОПЗ), постійного пристроєм запам'ятовування (ППЗ), пристроєм

введення-виведення (ПВВ). Тест запускається за командою "Пуск" від диспетчера операційної системи БЦОМ з періодом 0.2с. При цьому робоча програма лічби переривається. В кожному циклі включення ТВК перевірка піддається тільки один з чотирьох перелічених вище пристроїв за 3...15 мкс. При справності пристрою формується сигнал його справності і додається одиниця на блок керування перемикачем пристроїв, що перевіряються, який готує кола зв'язку ТВК з черговим пристроєм.

Якщо при контролі було знайдено відмову (або перебої), то до виступу лічильника перебоїв додається одиниця, а стан перемикача пристроїв не змінюється. В результаті при черговому циклі контролю знову контролюватиметься той самий пристрій. Якщо підряд зафіксуються чотири перебої (відмови), то лічильник перебоїв видає команду на зняття сигналу справності БЦОМ і на формування сигналу її відмови.

5.2. Методи пошуку місця відмови БЦОМ

Для пошуку місця відмови в БЦОМ використовуються методи діагностичних тестів. Діагностичний тест може мати декілька варіантів. Він записується до додаткового блока ППЗ, який встановлюється замість штатного ППЗ. Тест використовується при діагностуванні БЦОМ за допомогою наземної КВА. При цьому з пультів КВА здійснюється формування необхідних електричних схем, які забезпечують поступове звуження об'єму ділянки схеми, що перевіряється.

Тест перевірки каналів ПВВ (ТПК ПВВ) разом із пультами КВА забезпечує: перевірку точності аналого-цифрового перетворювача (АЦП) входних каналів шляхом подачі сигналів від каліброваних імітаторів датчиків і відліку результатів роботи АЦП за цифровими індикаторними регістрами пультів КВА; перевірку точності цифро-аналогових перетворювачів (ЦАП) вихідних каналів. З цією метою на входні канали ПВВ із ППЗ (або КВА) подаються еталонні константи (оцінка точності роботи ЦАП проводиться за цифровими індикаторними регістрами і електромеханічними аналоговими індикаторами пультів КВА); перевірку стабільності і точності роботи одночасно ЦАП і АЦП. Для цього значення еталонних констант, які

відповідають певним точкам діапазону вимірюваного параметра, подаються до ЦАП, а звідти вже в цифровій формі - до АЦП. Одержаний на виході АЦП результат порівнюється з вихідними константами. У випадку незбігу кодів подальше виконання тесту припиняється, при цьому вказуються адреси каналу і контрольованого коду на індикаторному регістрі КВА.

Для контролю ОПЗ (ППЗ) може використовуватися лічильний тест. Він забезпечує виявлення розряду комірки накопичувача ОПЗ, який відмовив. Тест полягає в тому, що в комірку за адресою 1 записується 0, а в кожну наступну - код, який одержується із коду попередньої комірки додаванням одиниці до нульового та 9-го розрядів. На другому етапі тесту до вмісту нульової комірки додається по одиниці до нульового та 9-го розрядів (тобто код 001001₁₀), після чого одержаний код порівнюється з кодом першої комірки. Якщо вони збігаються, то до вмісту першої комірки додається той самий код і одержаний новий код комірки порівнюється з кодом чергової, тобто другої комірки, і т.п. Таким чином проводиться перевірка всіх 512 комірок ОПЗ. Якщо при якій-небудь з перевірок коди не збігаються, то виконання тесту припиняється і на пульт КВА видається код, при якому знайдено несправну комірку.

6. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЕПРИДАТНОСТІ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУВАННЯ

Поняття " контролепридатне проектування " охоплює всі заходи та умови для реалізації (проектування) схеми, які сприяють скорочуванню витрат на контроль її роботи. Пропозиції щодо підвищення контролепридатності повинні формулюватися як на рівні побудови схеми, так і на логічному та системному рівнях.

При розгляді внутрішньої структури схеми можливо, наприклад, зменшити кількість несправностей, що розглядаються та є основною моделлю, шляхом виключення відповідних несправностей. Це істотно полегшує генерацію тестових впливів.

Розглянемо заходи по поліпшенню контролепридатності на логічному та системному рівнях.

Контролепридатність схеми визначається двома властивостями :
- можливістю ззовні встановити внутрішню точку схеми у пев-

ний логічний стан;

- спроможністю ззовні визначати стан внутрішньої точки схеми.

Усі заходи, спрямовані на підтримку необхідного рівня цих властивостей, називаються пасивними заходами забезпечення контролепридатності. У свою чергу, заходи по генерації тестових впливів та оцінці результатів контролю називаються активними заходами забезпечення контролепридатності.

Витрати на генерацію тестових впливів збільшуються за експоненціальним законом залежно від числа елементів схеми. Із цього безпосередньо випливає, що розподіл складної структури на декілька малих елементів істотно зменшує витрати на її контроль: спрощується генерація тестових впливів; для послідовних схем зменшується число станів кожної схеми, і тому необхідна тривалість контролю істотно скорочується.

Особливо простий розподіл здійснюється при шинній архітектурі схеми. За допомогою шини забезпечується доступ до контрольованих частин схеми.

Інші варіанти забезпечення контролепридатності схем зі складними структурами пов'язані з вибором контрольних точок, які (за наявності додаткових органів керування) істотно спрощують контроль схем. При подачі відповідних сигналів на контрольні точки відбувається вимкнення визначених елементів схеми або роз'єднання ліній зворотного зв'язку, як наведено на рис. 6.1. Проте треба враховувати, що додаткова контрольна логіка обмежує швидкість обробки інформації.

Якщо на вхід А схеми подається сигнал логічний "0", то обидва модулі роз'єднуються. Входи модуля 2 можуть керуватися тільки безпосередньо від контрольних входів. Така структура зворотного зв'язку дає можливість не залучати до розгляду внутрішні зворотні зв'язки схеми; стимуляція схеми шляхом визначення її внутрішнього стану істотно спрощується. Завдяки роз'єднанню зворотних зв'язків у схемі проблема контролю послідовних схем зводиться до більш простої проблеми контролю комбінаційних схем.

Наведені вище пасивні заходи хоч і підвищують контролепридатність, але потребують багатьох зовнішніх впливів для прове-

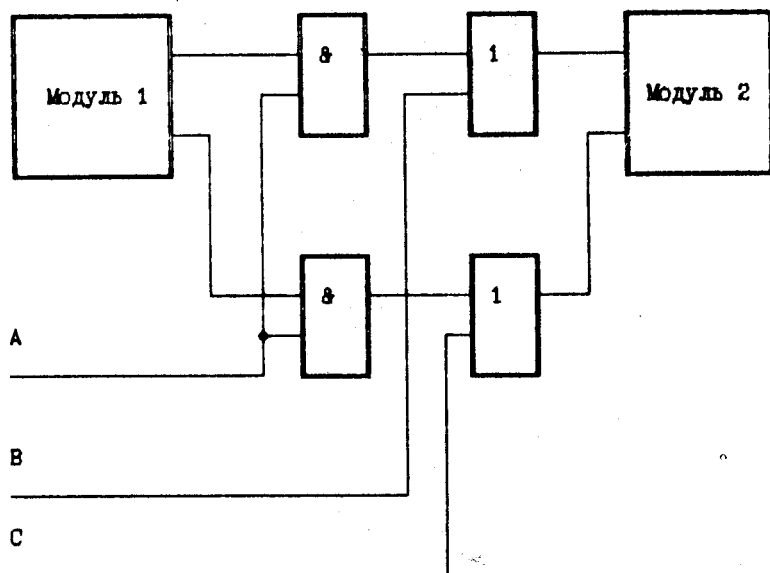


Рис. 6.1. Декомпозиція схеми пристрою

дення контролю. Ці заходи передбачають передусім генерацію тестових впливів за допомогою відповідних автоматів та оцінку реакції схеми. Крім того, пасивні заходи призводять до значних витрат часу, зумовлених послідовним зсувом даних при проведенні контролю.

Ці недоліки можна виключити за допомогою активних заходів забезпечення контролепридатності, що полягає у розміщенні на самій пластині пристрою для генерації тестових впливів та оцінки реакції на цей вплив. Контроль здійснюється за зовнішнім сигналом, а після цього одержаний результат передається у прилад реєстрації; в перервах між перевітками виконується самоконтроль самої пластини. З цією метою на пластині створюють функціональний блок, що виконує функції самоконтролю схеми, генерації тестових впливів, оцінки результатів контролю, а також керування процесом контролю. Обмеженнями при цьому є умови мінімізації площі пластини, що займається додатковим блоком.

7. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ

Незважаючи на систематичне збільшення надійності елементної бази, безупинне зростання обсягу та складності авіаційного обладнання є однією із головних причин виникнення випадкових відмов в його системах. Ця проблема може бути вирішена шляхом впровадження в експлуатацію прогресивних методів і засобів контролю технічного стану авіаційного обладнання.

Передумовою до появи досконалих та ефективних засобів контролю став розвиток обчислювальної техніки і програмних засобів, а також аналітичної та діагностичної техніки.

Справді, масове впровадження мікропроцесорної техніки сприяло переходу до проектування нового класу децентралізованих систем керування, вимірювання, обробки і контролю. Тут були об'єднані переваги мікропроцесорної техніки, можливості нових засобів вимірювань і магістрально-модульного принципу організації локальних обчислювальних систем.

У зв'язку з цим можна вказати такі основні перспективні напрямки розвитку технічних засобів контролю та діагностування:

1. Використання нових фізичних явищ і властивостей матеріалів для утворення сучасних засобів вимірювань, особливо первинних перетворювачів.

2. Подальше використання мікропроцесорної техніки для утворення нових структур технічних засобів контролю, які об'єднують раціональний розподіл апаратних і програмних засобів.

Можливості мікропроцесорних систем можуть бути значно поширені за рахунок реалізації різноманітних функцій з попередньої обробки вимірювальної інформації та ін.

3. Утворення засобів вимірювань з поточною діагностикою і самоконтролем. Провідним напрямком є функціональне діагностування. Найгострішою є проблема застосування засобів вбудованого контролю при утворенні датчиків. Суттєвість способів проектування таких датчиків полягає в тому, що до складу засобів вимірювань вносяться елементи, за допомогою яких здійснюється корекція реальних функцій перетворювачів.

4. Створення нових засобів вимірювань з адаптацією (що особ-

ливо важливо для інформаційно-вимірювальних систем) зумовлено змінами зовнішніх умов, необхідністю зміни завдань, що вирішуються, пов'язаних з підвищенням якості та вірогідності інформації стосовно вимірювання, контролю та діагностики. Завдання адаптації найефективніше можуть бути вирішені шляхом використання алгоритмічних і програмних засобів.

5. Впровадження САПР при проектуванні складних технічних засобів контролю та діагностики в стислі терміни викликає необхідність інтенсифікації цих робіт, мета яких полягає в забезпеченні бездефектного проектування, зменненні матеріальних витрат, скорочуванні термінів проектування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Байда Н. П., Кузьмин И. В., Шпилевой В. Т. Микропроцессорные системы элементарного диагностирования РЭА. - М.: Радио и связь, 1987. - 256 с.
2. Беннетт Р. Дж. Проектирование тестопригодных логических схем. - М.: Радио и связь, 1990. - 176 с.
3. Диагностирование и прогнозирование технического состояния авиационного оборудования/В. Г. Воробьев, Ю. В. Глухов, Ю. Е. Козлов и др.; Под ред. И. М. Синдеева. - М.: Транспорт, 1984. - 191 с.
4. Кондратьев В. В., Махалин Б. Н. Автоматизация контроля цифровых функциональных модулей. - М.: Радио и связь, 1990. - 152 с.
5. Коэнз С. П. Диагностика и ремонтпригодность радиовзлектронных средств. - М.: Радио и связь, 1989. - 248 с.
6. Лихтциндер Б. Я. Внутрисхемное диагностирование узлов радиовзлектронной аппаратуры. - К.: Техніка, 1988. - 168 с.
7. Пашковский Г. С. Задачи оптимального обнаружения и поиска отказов в радиовзлектронной аппаратуре. - М.: Радио и связь, 1981. - 230 с.
8. Техническая эксплуатация авиационного оборудования/В. Г. Воробьев, В. Д. Константинов, В. Г. Денисов и др.; Под ред. В. Г. Воробьева. - М.: Транспорт, 1990. - 236 с.
9. Толкунберри Л. М. Справочное пособие по ремонту взлектрических и взлектронных систем. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 413 с.

З М І С Т

Вступ.....	3
1. ЗАДАЧІ КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ.....	4
1.1. Основні означення.....	4
1.2. Класифікація методів контролю та діагностики.....	6
1.3. Задачі, що вирішуються.....	9
2. КОНТРОЛЬ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ.....	10
2.1. Характерні відмови електрорадіоелементів.....	10
2.2. Фізичні способи контролю.....	13
2.3. Параметричні методи.....	14
2.4. Мажоритарна комплексна оцінка параметрів.....	26
3. МЕТОДИ ПОШУКУ МІСЦЯ ВІДМОВИ.....	28
3.1. Алгоритми та тести діагностування.....	28
3.2. Методи діагностування.....	29
3.3. "Дерево" пошуку відмов.....	33
3.4. Організація процесів діагностування.....	35
4. МОДЕЛІ ОБ'ЄКТІВ, ЩО ДІАГНОСТУЮТЬСЯ, ТА МЕТОДИ ОПТИ- МІЗАЦІЇ ТЕСТІВ.....	37
4.1. Діагностичні моделі.....	37
4.2. Методи оптимізації контрольних тестів.....	40
4.3. Методи оптимізації діагностичних тестів.....	43
4.4. Методи автоматичного аналізу результатів діагносту- вання.....	47
5. ДІАГНОСТУВАННЯ ЦИФРОВИХ ОБЧИСЛОВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....	51
5.1. Контроль працездатності бортових цифрових обчислю- вальних пристроїв.....	51
5.2. Методи пошуку місця відмови БЦОМ.....	54
6. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЕПРИДАТНОСТІ НА СТАДІЇ ПРОЕКТУ - ВАННЯ.....	55
7. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ І ДІАГНОСТИКИ.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ТА РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	59

Володимир Андрійович Дергачов
Ігор Володимирович Чумаченко
Андрій Миколайович Анікін
Анатолій Семенович Савельєв

МЕТОДИ КОНТРОЛЮ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ ВИМІРЮВАЛЬНО-ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ КОМПЛЕКСІВ

Редактор Л. О. Кузьменко
Коректор Т. В. Савченко

Зв. план, 1999

Підписано до друку 31.12.99

Формат 60×84 1/16. Папір. офс. № 2. Офс. друк.

Умовн.-друк. арк. 3,3. Облік.-вид. арк. 3,81. Т. 300 прим.

Замовлення 277. Ціна вільна

Державний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
310070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
Ротапринт друкарні «ХАІ»
310070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
