

І. В. Федун

**ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ
ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**

Міністерство освіти і науки України
Вінницький державний технічний університет

Відділ освіти
Департамент освіти і науки
Міністерства освіти і науки України

І. В. Федун

ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ

Затверджено Ученою радою Вінницького державного технічного університету як лабораторний практикум для студентів спеціальностей "Мікроелектроніка та напівпровідникові прилади" і "Електронні пристрої та прилади". Протокол № 6 від 30 січня 2003р

Рецензенти :

Лисогор В.М., доктор технічних наук, професор
Кухарчук В.В., доктор технічних наук, професор
Козлов Л.Г., кандидат технічних наук, доцент

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України.

Федун І.В.

Ф34 Основи теорії надійності та контролю якості виробів електронної техніки. Лабораторний практикум. – Вінниця: ВДГУ, 2003. – 71 с.

В навчальному посібнику викладено короткі теоретичні відомості з теорії надійності і контролю якості виробів електронної техніки, методичні вказівки і варіанти виконань 12 лабораторних робіт. До кожної лабораторної роботи вміщено також контрольні питання для самоперевірки засвоєння матеріалу. В кінці посібника містяться довідкові матеріали, необхідні для виконання робіт.

Навчальний посібник призначений для студентів спеціальностей 7.090801 “Мікроелектронні та напівпровідникові прилади” та 7.090802 “Електронні прилади та пристрої”

ЗМІСТ

Передмова.....	4
Вступ.....	5
Загальні вказівки.....	7
Лабораторна робота № 1. Показники і параметри надійності при відмовах типу зносу.....	8
Лабораторна робота № 2. Показники і параметри надійності при відмовах з постійною інтенсивністю.....	13
Лабораторна робота № 3. Підвищення якості ВЕТ шляхом вилучення потенційно ненадійних виробів.....	17
Лабораторна робота № 4. Підвищення надійності ВЕТ шляхом технологічного тренування.....	22
Лабораторна робота № 5. Підвищення надійності ВЕТ методом резервування.....	27
Лабораторна робота № 6. Прогнозування надійності розроблених ВЕТ.....	33
Лабораторна робота № 7. Прогнозування надійності дискретних ВЕТ.....	37
Лабораторна робота № 8. Оперативні характеристики планів контролю за альтернативною ознакою.....	39
Лабораторна робота № 9. Планування одноступеневого контролю за альтернативною ознакою.....	42
Лабораторна робота № 10. Планування двоступеневого контролю за альтернативною ознакою.....	48
Лабораторна робота № 11. Планування контролю за кількісною ознакою.....	53
Лабораторна робота № 12. Планування випробувань на надійність.....	60
Додатки.....	65
Література.....	71

ПЕРЕДМОВА

В посібнику вміщено методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з надійності та контролю якості, що виконуються при вивченні дисциплін “Надійність, стандартизація і контроль якості” та “Основи теорії надійності в автомобільній і силовій електроніці”. Лабораторні роботи виконуються шляхом дослідження поведінки виробів електронної техніки (ВЕТ) під час експлуатації або випробувань, а також властивість планів контролю методом дослідження їх математичних моделей. З метою зменшення витрат часу дослідження повинні виконуватись з використанням обчислювальної техніки, зокрема, з використанням персональних комп'ютерів, які зручно використовувати також для оформлення звіту про виконання роботи.

Всього запропоновано 12 лабораторних робіт, але конкретний перелік їх, обов'язковий до виконання, приводиться в робочій навчальній програмі вивчення відповідної дисципліни. Аудиторний час, який відводиться на виконання кожної лабораторної роботи, залежить від обсягу досліджень і зазначається також в робочій навчальній програмі.

Теми лабораторних робіт складено так, щоб вони охоплювали основні розділи курсів. Для полегшення виконання робіт і враховуючи можливу несинхронність викладу лекційного матеріалу з темами виконуваних лабораторних робіт до кожної з робіт додаються короткі теоретичні відомості. Крім цього опис лабораторної роботи містить методичні вказівки до виконання роботи.

Виконувати лабораторні роботи з надійності та контролю якості передбачається фронтальним методом, тобто на одному занятті всі студенти виконують одну роботу. Це дає можливість викладачеві наголосити особливості виконання кожної роботи і аналізувати допущені типові помилки в ході виконання роботи для всієї групи студентів.

Для досягнення мети забезпечення самостійності при виконанні робіт передбачається надання кожному студенту окремого варіанта завдання в частині цифрових даних. Полегшення опрацювання теми лабораторної роботи студентами повинні сприяти контрольні питання до кожної лабораторної роботи.

ВСТУП

Якість продукції в сучасних умовах виробництва і споживання є одним із основних показників розвитку економіки і суспільства. Кожен споживач зацікавлений придбати продукцію лише високої якості. Споживати чи застосовувати продукцію низької якості не вигідно, навіть якщо вона продається за дуже низькими цінами. Не вигідно також виробляти продукцію не дуже високої якості.

Якість виробу - це ступінь задоволення певних потреб у відповідності з його призначенням. Надійність - це одна з складових якості, яка характеризує властивість виробу зберігати певну ступінь задоволення потреб у відповідності з призначенням виробу впродовж встановленого часу зберігання, транспортування і застосування чи експлуатації.

Забезпечення необхідного рівня якості виробів досягається виконанням певних організаційно-технічних заходів на всіх етапах життєвого циклу виробу - від науково-дослідних робіт при розробці і проектуванні виробу до зняття його з експлуатації. Одним із заходів в цьому відношенні є контроль якості виробів на всіх етапах виробництва включно з вихідним контролем готових виробів. Аналогічно забезпечується необхідний рівень надійності, зокрема шляхом дотримання вимог конструкторської та технологічної документації. Але контроль рівня надійності вимагає значних витрат особливо часу.

Сучасне промислове виробництво характерне високою масовістю випуску продукції, що особливо стосується виробів електронної техніки. В таких умовах важко досягти суцільної відповідності параметрів виробів встановленим вимогам: серед виготовленої продукції можуть попадатись непридатні до використання чи ненадійні вироби. Тому крім поняття якості виробу користуються поняттям якості продукції, яка оцінюється часткою придатних виробів чи часткою надійних виробів в масі випущеної продукції. Правда, на практиці частіше користуються параметром у вигляді частки дефектних виробів. Попадання у випущену продукцію дефектних чи ненадійних виробів є випадковою подією, тому теоретичною основою контролю якості продукції і рівня надійності є теорія ймовірності і математична статистика.

Теорія контролю якості масової продукції та теорія надійності поділяються на математичну та фізичну теорію. Перша будується на ймовірносних принципах і є спільною для багатьох виробів, фізична теорія контролю стосується конкретного виробу або групи однотипних виробів і полягає в встановленні певних параметрів виробів, що дають змогу визначити здатність виробів виконувати встановлені для них функції, та в розробці методів вимірювання цих параметрів, фізична теорія надійності розглядає вплив конструктивних особливостей виробу і технології його виготовлення на надійність продукції, тому, як і у випадку контролю якості, вона специфічна для кожного виробу чи групи однотипних виробів.

Теорія ймовірності і математична статистика застосовується в теорії контролю якості масової продукції та в теорії надійності ще і з причини необхідності застосування вибірових методів. У виробництві масової продукції суцільний контроль часто малоєфективний і тому використовуються вибірові методи, теорія яких базується на законах математичної статистики. Для руйнівного контролю вибірові методи єдині можливі, а саме таким є контроль надійності.

В промисловості в основному використовуються два методи вибірового контролю: контроль за альтернативною ознакою та контроль за кількісною ознакою. Перший метод полягає в тому, що з контрольованої партії продукції чи продукції, виготовленої за певний період, відбирається якась невелика частина, відібрані вироби перевіряються на відповідність встановленим вимогам і підраховується кількість з них, що не відповідають цим вимогам. В залежності від кількості таких дефектних виробів роблять висновок про якість усієї продукції. Контроль за кількісною ознакою відрізняється тим, що у відібраних виробів вимірюють контрольований параметр і за результатами вимірювань обчислюють статистичні параметри розподілу і вже за ними роблять висновок про якість усієї продукції.

Вибірковим методам властива похибка у оцінюванні якості продукції: партія продукції незадовільної якості може бути визнана як продукція задовільної якості і навпаки - партія продукції задовільної якості може бути забракована. Тому при плануванні контролю необхідно встановити допустимий рівень похибки і вибрати такі нормативи контролю, які можуть забезпечити встановлений рівень.

Сучасні вироби електронної техніки характерні високим рівнем надійності і великою довговічністю. Тому оцінка рівня надійності вимагає великих витрат часу на випробування з надійності. Тому часто використовують скорочені і прискорені випробування, планування яких також вимагає застосування статистичних методів. Прискорення досягається застосуванням дії зовнішніх факторів: підвищеної температури та електричних режимів, вібрації, підвищеної вологості та інш..

ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ

Загальною метою виконання лабораторних робіт є закріплення знань матеріалу лекційного курсу з надійності та контролю якості виробів електронної техніки, а також здобуття навичок у розрахунках, пов'язаних з контролем якості і забезпеченні необхідного рівня надійності. В кожній роботі конкретно формулюється мета досліджень.

В описі до кожної лабораторної роботи містяться короткі теоретичні відомості з теми лабораторної роботи, які студент повинен опанувати і законспектувати. При цьому необхідно орієнтуватись на контрольні питання, що розташовані в кінці опису.

В розділі "Методичні вказівки" вміщено конкретні рекомендації до виконання кожної лабораторної роботи. Крім цього в описі є розділ "Порядок виконання роботи".

В посібнику вміщено два типи лабораторних робіт: виявлення закономірностей у поведінці об'єкта дослідження за експериментальними даними та виявлення закономірностей шляхом дослідження математичної моделі об'єкта чи процесу.

В першому випадку за експериментальними даними будують графічні залежності з визначенням характерних параметрів. У другому випадку на основі теоретичних положень складається і досліджується математична модель з визначенням її параметрів. У більшості таких робіт також вимагається побудова графічно досліджуваних залежностей.

При побудові графіків необхідно дотримуватись вимог стандартів: графік виконується у вигляді прямокутника масштабної сітки (без стрілок) з оцифруванням, з позначенням фізичної величини та її розмірності. Графік може виконуватись у вигляді гістограми, що являє собою прямокутні стовпці шириною, яка дорівнює інтервалу дискретності, і висотою, що дорівнює середньому значенню функції в цьому інтервалі. Графік може будуватись шляхом нанесення точок на координатне поле, які з'єднуються між собою лінією. При цьому, якщо закономірність залежності між точками невідома чи не має значення для теми досліджень, то сусідні точки з'єднуються відрізками прямих. В інших випадках з'єднувальні лінії є середніми лініями. Графіки кореляційних залежностей можуть мати вигляд не з'єднаних між собою точок. Середні лінії наносяться з використанням методу найменших квадратів.

Письмовий звіт про виконання роботи повинен містити назву роботи, мету, конспект коротких теоретичних відомостей, результати досліджень і висновки.

ПОКАЗНИКИ І ПАРАМЕТРИ НАДІЙНОСТІ ПРИ ВІДМОВАХ ТИПУ
ЗНОСУ

МЕТА роботи: дослідження поведінки виробів в процесі випробувань на довговічність при відмовах типу зносу.

1. Короткі теоретичні відомості [1,2,5]

Найбільш повно поведінку виробів електронної техніки під час експлуатації чи зберігання описує один з показників надійності, які є функцією часу. В зв'язку з труднощами збору даних про надійність виробів із сфери експлуатації організовують випробування в лабораторних умовах на надійність експлуатації і зберігання. Результати випробувань обробляють з визначенням показників і параметрів надійності.

Найбільше застосування отримав показник - ймовірність безвідмовної роботи $P(t)$. Для проміжних розрахунків використовують показник у вигляді ймовірності відмов $Q(t)$. Обидва ці показники - це інтегральні ймовірносні функції. Застосовують також і диференційний показник у вигляді функції щільності розподілу ймовірності напрацювання до відмови $f(t)$. Всі ці показники є взаємозалежними функціями:

$$P(t) = 1 - Q(t); \quad f(t) = \frac{d}{dt}Q(t) = -\frac{d}{dt}P(t).$$

Дійсний вигляд цих функцій невідомий. На практиці визначають оцінки показників у вигляді оцінок значень функцій в певні моменти часу за виразами:

$$\hat{P}(t_i) = 1 - \frac{n_i}{N} = \frac{N_i}{N}; \quad \hat{f}(t_i) = \frac{\Delta n_i}{N \Delta t}$$

де N - число виробів, що спостерігаються (випробовуються),

N_i - число придатних виробів на момент часу випробування t_i ,

n_i - число непридатних виробів на момент часу t_i ,

Δt - періодичність контролю при випробуваннях,

Δn_i число виробів, що відмовили за відрізок часу $(t_{i-1}; t_i)$.

Як правило, за результатами розрахунків значень функцій в моменти контролю справності виробів, що випробовуються, будується графічне зображення експериментально отриманого показника надійності. Потім підбирають теоретичний закон розподілу, який найбільш точно описував би експериментально отриману криву, визначаються параметри цього закону. В подальшому знайдений закон використовують при розрахунках.

Показники надійності найбільш повно характеризують надійність, але вони в багатьох випадках не зручні при користуванні. Тому доцільно запровадити якісь числові параметри, що свідчать про надійність. Природно використати для цього ймовірнісні параметри теоретичного закону розподілу, який підбрано за аналізом експериментальних даних. Якщо таким законом є так званий нормальний закон, то як параметр надійності застосовують математичне очікування, оцінкою якого є середнє

арифметичне. Тому на практиці застосовують статистичний параметр надійності у вигляді середнього часу напрацювання до відмови t_c .

Дослідження показують, що нормальному закону розподілу відповідає час напрацювання до відмови виробів, причина відмов яких має закономірність зносу, як правило, це потужні електронні прилади: електровакуумні з термоелектронним катодом, напівпровідникові діоди та тиристори, що працюють в складних кліматичних умовах та в умовах дії механічних зовнішніх факторів.

Електровакуумні прилади найчастіше експлуатуються до відмови. Напівпровідникові прилади із згаданих мають середній час напрацювання досить значної величини і експлуатуються впродовж набагато меншого терміну. Тому для характеристики надійності цих виробів використовують інший параметр надійності – гамма-відсоткове напрацювання t_γ . Це час експлуатації чи випробування, до кінця якого ймовірність безвідмовної роботи становить задану величину, для виробів електронної техніки використовують стандартні рівні цієї величини: 98% (ймовірність 0,98), 95% (ймовірність 0,95) і 90% (ймовірність 0,90).

На практиці параметри надійності визначаються за результатами випробувань на довговічність, які найчастіше продовжуються до можливості визначення параметрів. Для визначення гамма напрацювання необхідно продовжувати випробування до моменту виходу з ладу відповідної кількості випробовуваних виробів: для 98% рівня - 2%, для 95% - 5%, для 90% - 10%.

Але точніше цей параметр можна визначити за згладженим графіком $P(t_i)$.

Для визначення середнього часу напрацювання до відмови необхідно продовжити випробування до відмови 50% випробовуваних виробів. Правда, це є медіанне значення, але для симетричного закону розподілу, яким є нормальний закон, медіана збігається з математичним очікуванням, тому час відмови 50% виробів є середнім напрацюванням до відмови. Як і в попередньому випадку точніше цей параметр можна визначити за згладженим графіком $P(t_i)$ на рівні 0.5 або в точці максимуму графіка $f(t_i)$.

2. Порядок виконання роботи

1. За результатами протоколу випробувань на довговічність з подовженням виробу електронної техніки дослідити поведінку виробу шляхом побудови графіків функцій $P(t_i)$ та $f(t_i)$ у вигляді гістограм, провести згладжувальну криву. Підібрати теоретичний закон розподілу.

2. Визначити параметри надійності у вигляді гама-90% напрацювання та середній час напрацювання до відмови.

3. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

Дослідження надійності виробів електронної техніки в даній роботі виконується з використанням подовжених випробувань на надійність з перевіркою гарантій довговічності. Такі випробування називають ресурсними і продовжують до виходу з ладу певної частини випробовуваних виробів. При цьому перевірка придатності випробовуваних виробів здійснюється з певною періодичністю Δt з записом в протоколі випробувань кількості виробів, що виявились непридатними в момент відповідного контролю. Тому графічно результати випробувань зображають у вигляді гістограми, тобто у вигляді стовпців прямокутної форми. Висота стовпця пропорційна значенню показника надійності, а ширина - періодичності контролю. Оскільки момент відмови конкретного виробу невідомий, то вважають, що всі виявлені непридатні вироби відмовили в момент часу $t_{i-1} + \Delta t/2$, і тому початок відповідного стовпця гістограми повинен розташовуватись в точці t_{i-1} .

Оскільки обсяг виробів, поставлених на випробування невеликий, то точність обчисленого за даними випробувань показника надійності також буде невисокою. Для збільшення точності проводять згладжену криву із застосуванням, наприклад, методу найменших квадратів. При цьому як експериментальні точки потрібно вважати середину верхнього ребра кожного прямокутника гістограми.

Для побудови гістограми необхідно спочатку розрахувати показник надійності в табличній формі. З цією метою доцільно в таблицю включити дані протоколу випробувань у вигляді порядкового номера контролю, часу контролю з моменту початку випробувань та кількості виявлених непридатних виробів. Крім цього вводяться графі кількості виробів, що відмовили з початку випробувань на момент кожного контролю або кількість справних виробів на момент контролю, а також графі значень показників надійності $P(t_i)$ та $f(t_i)$.

Результатом дослідження поведінки виробів при ресурсних випробуваннях повинен бути підбір теоретичного закону розподілу, що найточніше описує експериментальні дані, зокрема час напрацювання до відмови. Підбір доцільно виконувати за критерієм Колмогорова чи інш.

Таблиця 3.1

Витяг з протоколів ресурсних випробувань ВЕТ

№ п/п	Вар. 01 N = 80		Вар. 02 N = 90		Вар. 03 N = 80		Вар. 04 N = 70		Вар. 05 N = 85		Вар. 06 N = 90		Вар. 07 N = 100	
	t_i т.г.	Δn шт.	t_i т.г.	Δn шт.	t_i т.г.	Δn шт.	t_i т.г.	Δn шт.	t_i т.г.	Δn шт.	t_i т.г.	Δn шт.	t_i т.г.	Δn шт.
1	2	0	4	0	6	0	8	0	10	0	12	0	14	0
2	4	0	10	0	20	0	6	0	8	0	10	0	4	0
3	6	0	15	0	30	0	9	0	12	0	15	0	6	0
4	8	0	20	1	40	0	12	1	16	0	20	0	8	1

Продовження таблиці 3.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
5	10	1	25	0	50	1	15	0	20	1	25	1	10	1
6	12	3	30	2	60	2	18	2	24	3	30	1	12	2
7	14	3	35	4	70	4	21	3	28	4	35	3	14	4
8	16	7	40	6	80	8	24	7	32	7	40	5	16	9
9	18	8	45	7	90	9	27	8	36	8	45	7	18	12
10	20	8	50	9	100	9	30	9	40	9	50	10	20	12
11	22	11	55	12	110	13	33	11	44	12	55	12	22	14
12	24	10	60	8	120	8	36	7	48	9	60	11	24	10

№ п/п	Вар. 08 N=80		Вар. 09 N=85		Вар. 10 N=90		Вар. 11 N=95		Вар. 12 N=100		Вар. 13 N=70		Вар. 14 N=75	
	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.
1	3	0	4	0	5	0	6	0	10	0	2	0	5	0
2	6	0	8	0	10	0	12	0	20	0	4	0	10	0
3	9	0	12	0	15	0	18	0	30	0	6	0	15	0
4	12	0	16	0	20	0	24	0	40	1	8	0	20	0
5	15	1	20	1	25	1	30	1	50	0	10	1	25	1
6	18	2	24	3	30	2	36	3	60	3	12	2	30	2
7	21	3	28	2	35	3	42	3	70	4	14	2	35	3
8	24	5	32	6	40	7	48	7	80	8	16	4	40	4
9	27	9	36	10	45	12	54	12	90	11	18	9	45	8
10	30	10	40	12	50	18	60	19	100	19	20	12	50	12
11	33	12	44	9	55	14	66	13	110	14	22	7	55	8
12	36	9	48	7	60	8	72	7	120	8	24	5	60	4

№ п/п	Вар. 15 N=90		Вар. 16 N=80		Вар. 17 N=70		Вар. 18 N=85		Вар. 19 N=75		Вар. 20 N=95		Вар. 21 N=100	
	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.	t, т.г.	Δn, шт.
1	5	0	8	0	10	0	6	0	4	0	3	0	5	0
2	10	0	16	0	20	0	12	0	8	0	6	0	10	0
3	15	0	24	0	30	0	18	0	12	0	9	0	15	0
4	20	0	32	0	40	0	24	0	16	0	12	0	20	0
5	25	1	40	0	50	0	30	1	20	1	15	1	25	1
6	30	0	48	1	60	1	36	1	24	0	18	0	30	1
7	35	3	56	2	70	1	42	2	28	1	21	2	35	3
8	40	5	64	4	80	3	48	4	32	3	24	4	40	5
9	45	8	72	7	90	6	54	7	36	6	27	7	45	8
10	50	12	80	11	100	10	60	11	40	10	30	12	50	13
11	55	14	88	13	110	14	66	15	44	13	33	17	55	17
12	60	13	96	12	120	11	72	11	48	15	36	16	60	15

Контрольні питання

1. Показники надійності для виробів з відмовами типу зносу.
2. Залежності між показниками надійності.
3. Визначення показників надійності за експериментальними даними.
4. Параметри надійності для виробів з відмовами типу зносу.
5. Визначення параметрів надійності за експериментальними даними.

ПОКАЗНИКИ І ПАРАМЕТРИ НАДІЙНОСТІ ПРИ ВІДМОВАХ З ПОСТІЙНОЮ ІНТЕНСИВНІСТЮ

МЕТА роботи: дослідження поведінки виробів в процесі ресурсних випробувань при відмовах з постійною інтенсивністю.

1. Короткі теоретичні відомості [1,2,5]

Вироби електронної техніки, що виготовляються за складною технологією, зокрема за планарною технологією, мають закономірність відмов, що відрізняється від відмов типу зносу. Це пояснюється великою кількістю технологічних операцій, кожна з яких може вносити свої виробничі приховані дефекти, які в процесі експлуатації чи випробувань розвиваються аж до настання відмови з цієї причини. Кожен вид дефектів має свої закономірності розвитку і призводить до свого середнього часу напрацювання до відповідної відмови. Зовні це виглядає як рівномірний закон розподілу часу напрацювання до відмови, хоча насправді це є сумарний результат багатьох одномодальних розподілів.

Для описаних виробів замість показника надійності у вигляді функції щільності розподілу ймовірності напрацювання до відмови $f(t)$ застосовують диференційний показник у вигляді функції інтенсивності відмов $\lambda(t)$, яка пов'язана з ймовірністю безвідмовної роботи залежністю

$$\lambda(t) = -\frac{1}{P(t)} \cdot \frac{d}{dt} P(t).$$

При складанні показника $\lambda(t)$ за експериментальними даними кожную точку кривої обчислюють за виразом

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{\Delta n}{N_j \Delta t}.$$

Експериментальні дослідження показують, що при експлуатації чи випробуваннях деяких виробів впродовж значного часу спостерігається значне підвищення інтенсивності відмов в кінці експлуатації чи випробувань, але найчастіше це спостерігається в періоди після зняття виробів з експлуатації. Інші вироби мають під'юм інтенсивності відмов, хоча значно менший, в початковий період експлуатації чи випробувань. Це пов'язано з наявністю досить грубих прихованих виробничих дефектів, що призводять до відмов уже на перших годинах експлуатації. Для уникнення цього явища удосконалюють технологію виготовлення виробів або вводять технологічну операцію тренування, яка полягає у встановленні виготовлення виробів в нормальний чи форсований режим експлуатації на час підвищеної інтенсивності відмов з наступним відбракуванням виробів, що відмовили.

Таким чином в загальному випадку графік $\lambda(t)$ має три ділянки: початкове підвищення, ділянка стабілізації інтенсивності відмов та кінцеве підвищення. Оскільки вироби, як правило, знімають з експлуатації до

настання третього періоду, а першу ділянку функції знімають технологічними методами, то практично вироби мають надійність з постійною інтенсивністю відмов. Тому інтенсивність відмов приймають за параметр надійності. Для виробів з постійною інтенсивністю відмов як параметр надійності використовують також гамма-відсоткове напрацювання, оскільки його використовують для задання гарантованої довговічності.

Можна показати, що при постійній інтенсивності відмов ($\lambda = \text{const}$) ймовірність безвідмовної роботи визначається за виразом

$$P(t) = \exp\{-\lambda t\}.$$

Звідси можна встановити залежність між обома параметрами надійності:

$$t_r = -\ln P(t_r) / \lambda.$$

Для випадку коли $\lambda(t) < 0.1$, що справедливо для більшості виробів електронної техніки, можна застосувати наближений вираз для $P(t)$, розкладаючи його в степеневий ряд і обмежуючись двома першими членами:

$$P(t) = 1 - \frac{\lambda t}{1} + \dots \approx 1 - \lambda t.$$

Тоді вираз залежності між параметрами надійності буде мати вигляд:

$$t_r = \frac{1 - P(t_r)}{\lambda}.$$

2. Порядок виконання роботи

1. За результатами ресурсних випробувань (з протоколу подовжених випробувань на довговічність) виробу електронної техніки дослідити поведінку виробу за результатом побудови графіків функцій $\hat{P}(t_r)$ та $\hat{\lambda}(t_r)$ у вигляді гістограм, провести згладжувальну криву.

2. Визначити середню інтенсивність відмов на ділянці стабілізації та гамма-90% напрацювання з урахуванням початкового під'йому та за середньою інтенсивністю відмов. Останній параметр визначати за точною і наближеною формулами.

3. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

При виконанні даної роботи слід керуватися методичними вказівками до лабораторної роботи № 1 з тією різницею, що замість диференційного показника у вигляді щільності ймовірності напрацювання до відмови будується графік диференційного показника у вигляді інтенсивності відмов.

Як і в попередній роботі, параметр надійності у вигляді гамма-90% напрацювання краще визначати за згладженою кривою графіка ймовірності безвідмовної роботи. Цей же параметр для випадку постійної

інтенсивності відмов доцільно визначити за формулами (точною і наближеною) залежності від параметра у вигляді інтенсивності відмов.

Параметр інтенсивності відмов необхідно визначити за зглаженою відповідною кривою на ділянці стабілізації (друга ділянка). Необхідно також визначити цей параметр за формулами залежності (точною і наближеною) від параметра гамма-90% напрацювання, визначеного за зглаженою кривою ймовірності безвідмовної роботи.

Витяг з протоколів ресурсних випробувань ВЕТ

№ п/п	Вар. 01 N=80		Вар. 02 N=90		Вар. 03 N=70		Вар. 04 N=75		Вар. 05 N=85		Вар. 06 N=95		Вар. 07 N=100	
	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.
1	2	2	3	3	4	2	5	3	6	3	8	4	10	5
2	4	0	6	2	8	1	10	0	12	1	16	1	20	2
3	6	2	9	0	12	2	15	1	18	2	24	3	30	3
4	8	0	12	1	16	0	20	0	24	1	32	1	40	1
5	10	1	15	0	20	0	25	1	30	1	40	1	50	1
6	12	0	18	1	24	1	30	0	36	0	48	0	60	0
7	14	1	21	1	28	0	35	0	42	1	56	1	70	1
8	16	1	24	0	32	1	40	1	48	1	64	0	80	1
9	18	0	27	2	36	0	45	0	54	1	72	1	90	2
10	20	1	30	0	40	0	50	1	60	0	80	2	100	0
11	22	0	33	1	44	1	55	0	66	1	88	0	110	1
12	24	1	36	0	48	0	60	1	72	1	96	1	120	1
13	26	2	39	2	52	1	65	1	78	2	104	3	130	3
14	28	3	42	3	56	2	70	2	84	3	112	5	140	5
15	30	4	45	5	60	4	75	4	90	6	120	8	150	9
16	32	7	48	8	64	7	80	8	96	10	128	13	160	14

№ п/п	Вар. 08 N=70		Вар. 09 N=75		Вар. 10 N=80		Вар. 11 N=85		Вар. 12 N=90		Вар. 13 N=95		Вар. 14 N=100	
	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.	t _i , т.г.	Δn, шт.
1	2	3	4	4	5	4	6	5	8	6	3	6	10	7
2	4	2	8	3	10	3	12	3	16	4	6	4	20	5
3	6	0	12	1	15	1	18	1	24	2	9	1	30	3
4	8	1	16	1	20	0	24	0	32	0	12	1	40	1
5	10	0	20	0	25	0	30	1	40	1	15	0	50	0
6	12	0	24	0	30	1	36	1	48	1	18	1	60	2
7	14	1	28	1	35	1	42	0	56	0	21	1	70	0
8	16	0	32	0	40	0	48	2	64	1	24	0	80	1
9	18	0	36	0	45	1	54	0	72	1	27	2	90	1
10	20	1	40	1	50	1	60	1	80	0	30	0	100	0
11	22	1	44	1	55	1	66	1	88	2	33	1	110	1
12	24	0	48	1	60	0	72	0	96	0	36	1	120	2
13	26	1	52	0	65	2	78	1	104	2	39	2	130	3
14	28	3	56	3	70	3	84	4	112	5	42	6	140	8
15	30	7	60	8	75	9	90	9	120	11	45	12	150	14

№ п/п	Вар. 15 N=70		Вар. 16 N=75		Вар. 17 N=80		Вар. 18 N=85		Вар. 19 N=80		Вар. 20 N=85		Вар. 21 N=90	
	t _i	Δп.	t _i	Δп.	t _i	Δп.	t _i	Δп.	t _i	Δп.	t _i	Δп.	t _i	Δп.
	т.г.	шт.	т.г.	шт.	т.г.	шт.	т.г.	шт.	т.г.	шт.	т.г.	шт.	т.г.	шт.
1	4	3	5	5	6	6	8	7	2	7	3	8	10	8
2	8	2	10	3	12	3	16	4	4	3	6	4	20	4
3	12	0	15	1	18	1	24	1	6	1	9	2	30	2
4	16	1	20	0	24	0	32	1	8	0	12	0	40	1
5	20	0	25	1	30	1	40	0	10	1	15	1	50	0
6	24	0	30	0	36	1	48	1	12	1	18	1	60	1
7	28	1	35	1	42	0	56	1	14	0	21	1	70	0
8	32	0	40	1	48	1	64	0	16	1	24	0	80	2
9	36	1	45	0	54	1	72	2	18	1	27	1	90	0
10	40	1	50	0	60	1	80	0	20	0	30	1	100	1
11	44	0	55	1	66	0	88	1	22	1	33	2	110	2
12	48	1	60	1	72	1	96	1	24	1	36	1	120	1
13	52	1	65	1	78	1	104	2	26	1	39	1	130	2
14	56	2	70	2	84	2	112	3	28	2	42	3	140	4
15	60	5	75	5	90	6	120	7	30	7	45	8	150	8
16	64	9	80	9	96	10	128	11	32	10	48	15	160	16

Контрольні питання

1. Показники надійності виробів при відмовах з постійною інтенсивністю.
2. Залежності між показниками надійності.
3. Визначення показників надійності за експериментальними даними.
4. Параметри надійності для виробів при відмовах з постійною інтенсивністю відмов.
5. Визначення параметрів надійності за експериментальними даними.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВЕТ ШЛЯХОМ ВИЛУЧЕННЯ
ПОТЕНЦІЙНО НЕНАДІЙНИХ ВИРОБІВ

МЕТА роботи: дослідження ефективності підвищення надійності транзистора шляхом вилучення екземплярів з підвищеним рівнем низькочастотних шумів.

1. Короткі теоретичні відомості [1,4]

Як було показано в лабораторній роботі № 2, у деяких ВЕТ на початку експлуатації спостерігається підвищена інтенсивність відмов за рахунок прихованих грубих виробничих дефектів. Часто причинами таких відмов є дефекти в області р-п переходів: шкідливі домішки (забруднення), дислокації, мікротріщини. Ці дефекти в процесі експлуатації досить швидко розвиваються і призводять до відмов. Дослідження показують, що ВЕТ з такими дефектами мають підвищений рівень шумів за рахунок розсіяння носіїв струму на дефектах. Шуми можуть виникати не тільки завдяки дефектам активних шарів, але і на неякісних омичних контактах, які є також грубими виробничими дефектами і також призводять до відмов на ранніх стадіях експлуатації.

Шуми, що виникають внаслідок розсіяння на дефектах, відрізняються від білого шуму обмеженістю спектра: верхня границя діапазону частот не перевищує 1000 Гц. Це використовується з метою підвищення інформативності показника шляхом обмеження смуги вимірювача шумів.

Таким чином, фіксуючи низькочастотну складову шуму, є можливість виявити потенційно ненадійні вироби. З цією метою спочатку визначають верхню границю низькочастотних шумів за частотою. Для цього відбирають вироби з підвищеним рівнем шумів та спостерігають у них спектр шуму. Низькочастотні шуми спостерігаються у вигляді підвищеної амплітуди в низькочастотній області, визначають верхню границю за частотою ділянки з підвищеною амплітудою, виготовляють підсилювач зі смугою пропускання від нуля до визначеної верхньої границі спектра.

Далі визначають нижню границю амплітуди низькочастотних шумів, які повинні свідчити про потенційну ненадійність виробів. З цією метою відбирають вироби з низькочастотними шумами і випробовують їх на надійність впродовж відносно невеликого проміжку часу. За результатами випробувань складають кореляційну діаграму. Якщо спостерігається залежність між амплітудою шумів і часом напрацювання до відмови, то нижня границя амплітуди шуму, з якої порушується кореляція, і є шуканою границею.

Прилад, за допомогою якого виконують дослідження, а потім і вилучення потенційно ненадійних виробів, складається з смугового підсилювача зі смугою пропускання, що відповідає смузі низькочастотних шумів, до входу якого підключається випробовуваний ВЕТ, а до виходу -

мілівольтметр змінного струму. Крім цього до складу приладу входить блок режимів, що забезпечує режими випробовуваного ВЕТ за постійним струмом. При виконанні технологічної операції у виготовлених виробів контролюють рівень низькочастотних шумів з вилученням екземплярів, у яких рівень шумів перевищує встановлений.

2. Порядок виконання роботи

1. Для запропонованого варіанта результатів випробувань визначити ступінь і значимість кореляційної залежності між часом напрацювання до відмови транзисторів і рівнем їх низькочастотних шумів. При наявності значущої кореляції визначити граничне значення рівня шумів для вилучення потенційно ненадійних виробів.

2. Для запропонованого варіанта умов випробувань визначити параметр надійності у вигляді оцінки інтенсивності відмов транзистора після запровадження вилучення транзисторів з підвищеним рівнем низькочастотних шумів.

3. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

Для вирішення проблеми підвищення надійності ВЕТ шляхом вилучення екземплярів з підвищеним рівнем низькочастотних шумів необхідно встановити кореляційну залежність між рівнем шумів і надійністю виробу, що оцінюється часом напрацювання до відмови. З цією метою з якоїсь сукупності виготовлених виробів N відбираються екземпляри з підвищеним рівнем низькочастотних шумів n , які встановлюють на випробування з надійності, як правило, в прискореному режимі на термін до відмови деякої частини з них n_j . Якраз для цих виробів встановлюється кореляційна залежність, яка може бути нелінійною. Тому для спрощення обчислень доцільно побудувати точкову кореляційну діаграму і візуально поділити її на частини, які можуть бути інтерпретовані лінійною залежністю.

Наявність кореляційної залежності можна було б визначити візуально, але необхідно обчислити коефіцієнт кореляції і встановити значимість його величини, оскільки навіть при відсутності кореляції коефіцієнт кореляції може відрізнятись від нуля за рахунок обмеженості обсягу даних. Коефіцієнт корекції визначається для кожної з виділених груп за виразом:

$$r_j = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} (t'_{mi} - t'_{mi}) (t_{mi} - t_{mi})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n_j} (t'_{mi} - t'_{mi})^2 \sum_{i=1}^{n_j} (t_{mi} - t_{mi})^2}}$$

де j - номер виділеної групи,

i - номер виробу в групі,

U_{mi} - рівень шумів i -го виробу,

t_{NBi} - напрацювання до відмови i -го виробу,

n_j - кількість виробів в j -ій групі,

U_{mj} - середнє арифметичне рівня шуму в j -ій групі,

t_{mj} - середнє арифметичне часу напрацювання в j -ій групі.

$$\bar{U}_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} U_{mi}}{n_j}; \quad \bar{t}_{mj} = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} t_{NBi}}{n_j}$$

Для визначення значимості отриманих коефіцієнтів необхідно порівняти їх з граничними значеннями: якщо обчислений коефіцієнт не менший за граничне значення, то кореляція існує, в протилежному випадку кореляційна залежність відсутня. Нижче наводиться фрагмент таблиці граничних значень для порівнянь з похибкою не більше 5%.

Таблиця 3.1

N_j	5	6	7	8	9	10	11	12	13
r_j	0.878	0.811	0.754	0.707	0.666	0.632	0.602	0.576	0.553

Граничне допустиме значення низькочастотного шуму визначається як нижня границя для групи, що ще має значимий коефіцієнт кореляції. В ході технологічного процесу вилучаються вироби, шум яких перевищує допустиме значення.

Для остаточного вирішення необхідності запровадження технологічної операції вилучення потенційно ненадійних виробів необхідно оцінити ступінь збільшення надійності від цього заходу. З цією метою обчислюється середня інтенсивність відмов в продовж гарантованого строку служби, оскільки фактична інтенсивність відмов також визначається за цей термін, тобто

$$\lambda_{c2} = \frac{n_a - n_{out}}{(N - n) t_s}$$

де t_s - гарантований строк служби,

n_{out} - кількість виробів, що відмовили внаслідок наявності підвищеного рівня шуму;

(Будемо вважати, що всі потенційно ненадійні вироби відмовили під час випробувань).

$$N_a = [N \cdot \lambda_{c1} \cdot t_T]$$

де λ_{c1} - середня інтенсивність відмов до впровадження вилучення потенційно ненадійних виробів.

Таблиця 3.2

Витяг з протоколів випробувань транзисторів з підвищеним рівнем шумів

№ п/п	Вар. 01		Вар. 02		Вар. 03		Вар. 04		Вар. 05		Вар. 06	
	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.
1	0.32	0.63	0.10	0.68	0.20	0.64	0.17	0.81	0.17	0.67	0.20	0.65
2	0.08	0.70	0.58	0.58	0.65	0.64	0.16	0.68	0.66	0.64	0.16	0.68
3	0.42	0.58	0.65	0.65	0.17	0.80	0.65	0.65	0.53	0.57	0.07	0.89
4	0.48	0.59	0.20	0.65	0.13	0.83	0.10	0.68	0.43	0.58	0.32	0.64
5	0.17	0.80	0.13	0.84	0.13	0.73	0.13	0.43	0.33	0.63	0.13	0.84
6	0.16	0.67	0.17	0.81	0.08	0.80	0.20	0.65	0.08	0.88	0.13	0.74
7	0.13	0.83	0.42	0.59	0.58	0.57	0.07	0.89	0.11	0.98	0.10	0.68
8	0.52	0.57	0.32	0.64	0.48	0.59	0.10	0.99	0.09	0.70	0.48	0.60
9	0.20	0.64	0.08	0.71	0.10	0.98	0.42	0.59	0.18	0.80	0.10	0.99
10	0.13	0.42	0.48	0.60	0.31	0.63	0.08	0.71	0.14	0.73	0.08	0.71
11	0.65	0.64	0.16	0.68	0.07	0.88	0.52	0.55	0.11	0.67	0.58	0.58
12	0.13	0.73	0.52	0.58	0.32	0.63	0.32	0.62	0.33	0.61	0.36	0.58
13	0.58	0.57	0.13	0.43	0.16	0.67	0.58	0.58	0.21	0.64	0.65	0.65
14	0.07	0.88	0.13	0.74	0.36	0.57	0.13	0.84	0.14	0.83	0.17	0.81
15	0.10	0.67	0.07	0.89	0.52	0.54	0.32	0.64	0.49	0.59	0.32	0.55
16	0.52	0.54	0.52	0.55	0.42	0.58	0.48	0.60	0.14	0.42	0.12	0.59
17	0.10	0.98	0.36	0.58	0.10	0.67	0.52	0.58	0.59	0.57	0.52	0.58
18	0.36	0.57	0.10	0.99	0.52	0.57	0.12	0.74	0.53	0.54	0.13	0.43
19	0.32	0.61	0.32	0.62	0.13	0.42	0.36	0.58	0.37	0.57	0.32	0.63
20	0.10	0.76	0.11	0.77	0.10	0.77	0.09	0.75	0.11	0.79	0.10	0.80

№ п/п	Вар. 07		Вар. 08		Вар. 09		Вар. 10		Вар. 11		Вар. 12	
	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.	U _ш МВ	t _{шв} т.г.
1	0.10	0.80	0.37	0.57	0.09	0.75	0.13	0.42	0.11	0.77	0.32	0.61
2	0.32	0.63	0.11	0.79	0.36	0.58	0.10	0.77	0.32	0.62	0.10	0.76
3	0.13	0.43	0.53	0.54	0.12	0.74	0.52	0.57	0.10	0.99	0.36	0.57
4	0.12	0.59	0.14	0.42	0.48	0.60	0.42	0.58	0.52	0.55	0.52	0.54
5	0.52	0.58	0.59	0.57	0.52	0.58	0.10	0.67	0.36	0.58	0.10	0.98
6	0.32	0.55	0.49	0.59	0.32	0.64	0.52	0.54	0.07	0.89	0.10	0.67
7	0.65	0.65	0.21	0.64	0.58	0.58	0.16	0.67	0.13	0.43	0.58	0.57
8	0.17	0.81	0.14	0.83	0.13	0.84	0.36	0.57	0.13	0.74	0.07	0.88
9	0.36	0.58	0.33	0.62	0.32	0.62	0.52	0.58	0.32	0.62	0.13	0.73
10	0.58	0.58	0.11	0.67	0.52	0.55	0.07	0.88	0.16	0.68	0.65	0.64
11	0.10	0.99	0.18	0.80	0.42	0.59	0.10	0.98	0.08	0.71	0.20	0.64
12	0.08	0.71	0.14	0.73	0.08	0.72	0.31	0.63	0.48	0.60	0.13	0.42
13	0.48	0.60	0.09	0.70	0.10	0.99	0.48	0.59	0.32	0.64	0.53	0.57
14	0.13	0.74	0.08	0.88	0.20	0.65	0.08	0.80	0.17	0.81	0.16	0.67
15	0.10	0.68	0.11	0.98	0.07	0.89	0.58	0.57	0.59	0.58	0.13	0.83
16	0.13	0.84	0.33	0.63	0.13	0.43	0.13	0.73	0.13	0.84	0.17	0.80
17	0.07	0.89	0.53	0.57	0.65	0.65	0.17	0.80	0.65	0.65	0.42	0.58
18	0.32	0.64	0.43	0.58	0.10	0.68	0.13	0.83	0.20	0.65	0.48	0.59
19	0.16	0.68	0.66	0.64	0.16	0.68	0.65	0.64	0.42	0.59	0.08	0.70
20	0.20	0.65	0.17	0.67	0.17	0.81	0.20	0.64	0.10	0.68	0.32	0.63

Варіант А: $\lambda_{cl} = 5.6 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹, $t_f = 50$ тис. год., $N = 1000$ шт.

Варіант Б: $\lambda_{cl} = 5.2 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹, $t_f = 40$ тис. год., $N = 800$ шт.

Варіант В: $\lambda_{cl} = 4.8 \cdot 10^{-7}$ год⁻¹, $t_f = 60$ тис. год., $N = 1200$ шт.

Контрольні питання

1. Природа низькочастотних шумів ВЕТ.
2. Принцип відбракування потенційно ненадійних виробів за шумами.
3. Визначення границі бракування для вилучення потенційно ненадійних виробів за шумами.
4. Встановлення ефективності підвищення надійності за рахунок вилучення виробів з підвищеним рівнем шумів.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВЕТ ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРЕНУВАННЯ

МЕТА роботи: дослідження режимів та ефективності технологічного тренування ІМС для підвищення їх надійності.

1. Короткі теоретичні відомості [1,4]

Як було показано в лабораторній роботі № 2, у деяких ВЕТ на початку експлуатації спостерігається підвищена інтенсивність відмов за рахунок прихованих грубих виробничих дефектів. Підвищити надійність таких виробів можливо шляхом вилучення виробів з такими дефектами. Для цього необхідно відшукати параметр виробу, який би свідчив про наявність грубого дефекту. Але не для всіх ВЕТ можливо відшукати такий параметр. В такому випадку застосовують метод штучного старіння, який в практиці виготовлення ВЕТ назвали технологічним тренуванням.

Технологічне тренування полягає у встановленні виготовлених ВЕТ, найчастіше ІМС, в режим випробування на надійність на час відмови виробів з грубими прихованими дефектами (на час підвищеного рівня інтенсивності відмов). Якщо інтенсивність відмов не має під'йому в початковий період експлуатації, то технологічне тренування на призведе до підвищення надійності. Тому для вирішення питання про доцільність тренування необхідно переконатись в наявності початкового під'йому інтенсивності відмов.

Для багатьох ВЕТ тривалість періоду початкового підвищення інтенсивності відмов складає досить тривалий час - до 500 годин. В таких випадках застосовують прискорені методи випробувань, що полягають у застосуванні прискорюючих факторів: форсовані електричні режими, вібрації і удари, підвищені волога та температура, найчастіше застосовується підвищена температура.

Під дією підвищеної температури під час випробувань спостерігається прискорений розвиток прихованих дефектів. Дослідження показують, що швидкість розвитку дефектів відповідає закону Ареніуса:

$$V_p = A \exp\left\{-\frac{E_a}{kT}\right\},$$

де A - коефіцієнт, що залежить від виду дефектів,

E_a - енергія активації дефекту,

k - постійна Больцмана,

T - температура за шкалою Кельвіна.

Як видно з цього виразу, швидкість зростає при підвищенні температури. Але при значному підвищенні температури спостерігаються пошкодження, тобто виникають нові дефекти. Тому необхідно відшукати таку максимальну температуру тренування, при якій ще не виникають

пошкодження. Ознакою виникнення пошкоджень буде відхилення відмов від закономірності Ареніуса.

Для запровадження операції технологічного тренування необхідно також встановити час тренування, який буде в K_{np} разів менший за час підвищеної інтенсивності відмов. Тут K_{np} - коефіцієнт прискорення випробувань, який визначається за результатами випробувань вибірок виробу при різних температурах. Середній час напрацювання до відмови виробів, що відмовили при цьому, повинен зменшуватись пропорційно збільшенню коефіцієнта прискорення для даної температури:

$$K_{np} = \tau_{н0} / \tau_{нт}$$

де $\tau_{н0}$ - середній час напрацювання до відмови в стандартному режимі,

$\tau_{нт}$ - середній час напрацювання до відмови при температурі t .

Очевидно, що відношення часу напрацювання буде пропорційне відношенню часу випробувань, якщо ставити завдання досягти відмови всіх ненадійних виробів, тобто:

$$K_{np} = \tau_{в0} / \tau_{вт}$$

де $\tau_{в0}$ - час випробувань в стандартному режимі,

$\tau_{вт}$ - час випробувань при підвищеній температурі t .

Знаючи коефіцієнт прискорення за цим виразом можна визначити час тренування при температурі t - $\tau_{тр}$, маючи час підвищеної інтенсивності відмов τ_0 :

$$\tau_{тр} = \tau_0 \cdot K_{np}$$

Якщо під час тренування повинні відмовити всі вироби, що відмовляють за час випробувань в стандартному режимі, то ймовірність безвідмовної роботи в обох випадках повинна бути однаковою:

$$P(\tau_0) = P(\tau_{тр}),$$

Якщо вважати, що ймовірність безвідмовної роботи відповідає експоненціальному закону:

$$P(\tau) = \exp(-\lambda \tau),$$

то

$$\lambda_0 \tau_0 = \lambda_t \tau_{тр}$$

де λ_0 - інтенсивність відмов в стандартному режимі випробувань,

λ_t - інтенсивність відмов при підвищеній температурі t .

Звідси відношення часу тренування при різних температурах буде дорівнювати відношенню інтенсивності відмов. Тому середній час напрацювання до відмови буде обернено пропорційним до інтенсивності відмов, а коефіцієнт прискорення буде обернено пропорційним до відношення інтенсивності відмов для відповідних температур.

Легко бачити, що інтенсивність відмов вимірюється швидкістю розвитку дефектів, тобто також залежить від температури за законом Ареніуса. Ця закономірність порушується при виникненні пошкоджень від дії підвищеної температури.

Для виявлення відхилень від закону Ареніуса, який являє собою експоненційну залежність, зручно експериментальну залежність будувати в напівлогарифмічному масштабі, в якому експоненціальна залежність зображається прямою лінією. Температура, при якій порушується лінійність є вже недопустимою для тренування. Коефіцієнт прискорення визначається як відношення інтенсивності відмов при допустимій температурі до інтенсивності відмов при стандартній температурі. Час тренування визначається шляхом ділення часу початкового підвищення інтенсивності відмов на коефіцієнт прискорення.

2. Порядок виконання роботи

1. За результатами досліджень впливу підвищеної температури тренування на інтенсивність відмов визначити оптимальну температуру тренування.

2. За результатами досліджень впливу підвищеної температури тренування на інтенсивність відмов визначити коефіцієнт прискорення і час тренування.

3. Визначити середню інтенсивність відмов після запровадження технологічного тренування.

4. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

Робота виконується за результатами випробувань при різних температурах, починаючи зі стандартної – 125⁰С для кремнієвих приладів з підвищенням кожного разу на 25⁰ впродовж часу початкового підвищення інтенсивності відмов t_1 . При цьому відмовляє n виробів, середня початкова інтенсивність відмов визначається за виразом:

$$\lambda_1 = \frac{n}{N t_1},$$

де N – кількість випробовуваних виробів.

Випробування при наступній температурі $t_2 = 150^{\circ}\text{C}$ виконують до відмови тієї ж кількості виробів n з фіксацією часу випробувань t_2 . При цьому вважається, що, оскільки при кожному наступному випробуванні відбирається нова вибірка обсягом N , обсяг низьконадійних виробів також складає n шт. Інтенсивність відмов λ_2 визначається аналогічно. Таким же чином виконуються випробування при наступних ступенях збільшення температури аж до моменту, коли час напрацювання n виробів досягне величини менше однієї години.

Результати випробувань відкладаються на графіку з напівлогарифмічним масштабом: на вертикальній осі відкладаються поділki значень температури в лінійному масштабі, а на горизонтальній - поділki значень інтенсивності відмов в логарифмічному масштабі. Для цього можна використати готові планшети з напівлогарифмічним масштабом, що

бувають у продажу. Логарифмічну шкалу можна побудувати самостійно. Для цього, аналізуючи результати розрахунку інтенсивності відмов, визначають границі значень цього параметра і відкладають позначки $1 \cdot 10^{-k}$ на однакових відстанях між ними. Кожен з отриманих проміжків поділяють згідно з наведеною таблицею.

Таблиця 3.1

Позначки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Довжина	0	0,30	0,47	0,60	0,69	0,77	0,83	0,90	0,95	1

При побудові графіка залежності між температурою і інтенсивністю відмов необхідно мати на увазі, що кількість відмов невелика і точність залежності також буде невисокою. Тому середню лінію необхідно проводити за всіма правилами опосереднення з метою більш точного визначення температури, при якій вже порушується закон Ареніуса, тобто порушується лінійність графіка. Температура тренування вибирається дещо нижчою за цю температуру.

Час тренування визначається за виразом:

$$\tau_{тр} = \frac{\tau_1}{K_{пр}}$$

Коефіцієнт прискорення визначається за графіком як відношення інтенсивності відмов при температурі тренування до інтенсивності відмов при температурі 125°C.

Для остаточного вирішення про необхідність запровадження операції технологічного тренування необхідно оцінити її ефективність шляхом порівняння середньої інтенсивності відмов до запровадження і після запровадження операції. Перше значення λ_{c1} відоме із попередніх випробувань, а друге - λ_{c2} визначається з урахуванням зменшення відмов за час гарантованого строку служби на кількість відмов в процесі тренування. Оцінку останнього параметра можна визначити за виразом:

$$\lambda_{c2} = \frac{n_p - n}{(N - n)\tau_2}$$

де τ_2 - гарантований строк служби,

$n_p = N \cdot \lambda_{c1} \cdot \tau_2$ - середня кількість відмов до запровадження операції серед виробів обсягом N. Якщо зниження інтенсивності відмов є суттєвим, то запровадження операції технологічного тренування доцільне.

Таблиця 3.2

Час напрацювання до відмови n виробів (години)

T °C	ВАРІАНТИ														
	N=1000					N=900					N=800				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
125	500	500	500	500	500	400	400	400	400	400	350	350	350	350	350
150	197	203	197	209	182	151	169	165	168	141	136	139	139	145	125
175	87	58	52	49	59	67	47	43	39	36	60	39	36	34	40

Продовження таблиці 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
200	38	38	28	26	22	29	31	23	21	17	27	25	20	18	15
225	16	14	11	9	6,5	13	11	9,5	7,2	5,0	11	9,1	8,0	6,2	4,4
250	7,2	5,8	4,4	3,3	2,5	5,5	4,7	3,7	2,7	1,9	5,0	3,8	3,1	2,4	1,7
275	2,5	2,2	1,3	1,0	1,0	2,0	1,7	1,0	0,8	0,8	1,8	1,4	0,9	0,7	0,7
300	0,4	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1

Таблиця 3.3

№вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
n	13	15	16	18	20	9	11	12	13	14	7	8	9	10	11

Варіант А: $\lambda_{c1} = 5,6 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$, $\tau_r = 50 \text{ тис. год.}$

Варіант Б: $\lambda_{c2} = 5,2 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$, $\tau_r = 40 \text{ тис. год.}$

Варіант В: $\lambda_{c1} = 4,8 \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$, $\tau_r = 60 \text{ тис. год.}$

Контрольні питання

1. Обставини, за яких можливе підвищення надійності за рахунок технологічного тренування.
2. Зміст операції технологічного тренування.
3. Застосування прискорених методів випробувань до операції технологічного тренування.
4. Метод визначення рівня прискорювального фактора.
5. Визначення часу тренування при застосуванні прискорювального фактора.
6. Визначення ефективності технологічного тренування.

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ВЕТ МЕТОДОМ РЕЗЕРВУВАННЯ

МЕТА роботи: дослідження ефективності резервування в підвищенні надійності ВЕТ при розробці.

1. Короткі теоретичні відомості [1,2]

Більшість складних технічних систем, включаючи ІМС, відмовляють при відмові хоча б одного елемента системи. За таких умов надійність системи може бути визначена з використанням правила множення ймовірностей, оскільки ймовірність безвідмовної роботи системи визначається як умова справності всіх елементів системи:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^m P_i(t), \quad (1)$$

де m - кількість елементів системи,

$P_i(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи i -го елемента.

Схематично це зображується послідовним з'єднанням елементів, як на рис. 1.

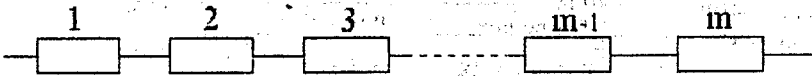


Рис. 1.

Для більшості ВЕТ ймовірність безвідмовної роботи відповідає експоненціальному закону розподілу:

$$P(t) = \exp\{-\lambda t\}. \quad (2)$$

Тоді, виходячи з (1) можна записати:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^m \lambda_i, \quad (3)$$

тобто, інтенсивність відмов системи визначається сумою інтенсивностей відмов всіх її елементів.

Таким чином, складні системи можуть мати низьку надійність навіть не при дуже низькій надійності її елементів. Тому для забезпечення високої надійності систем, що складаються з великої кількості елементів, необхідно мати дуже високу надійність цих елементів. Звідси, зі зростанням складності систем, забезпечити їх високу надійність стає все важче.

Для підвищення надійності складних технічних систем все частіше застосовують метод апаратної надлишковості або резервування: на випадок відмови якогось елемента чи пристрою системи його функції виконує введений в систему аналогічний елемент чи пристрій. При розробці ВЕТ такий метод найчастіше використовують для підвищення надійності ІМС.

Якщо в системі є один чи кілька елементів, надійність яких набагато менша за інших, то такі елементи варто зарезервувати. Таке резервування називають поелементним і схематично зображають у вигляді паралельно з'єднаних елементів (рис. 2). Елементи виконують свої функції поки

залишається справним хоч би один елемент. Кількість резервних елементів при цьому є кратністю резервування.

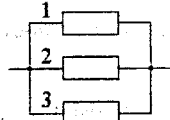


Рис. 2

Іноді при наявності низьконадійного елемента його резервування викликає значні труднощі. В таких випадках можливо резервувати пристрій, в який входить цей елемент. Таке резервування називають загальним - резервування, при якому резервується пристрій, що складається з кількох елементів, кожен з яких міг би бути зарезервованим. При цьому під елементом системи розуміють таку частину системи, яку не можна поділити на менші частини з метою резервування. На рис. 3 зображено приклад схеми загального резервування. Тут резервується пристрій з 4-х елементів.

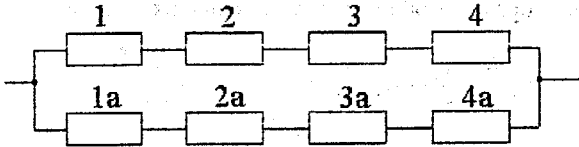


Рис. 3

В більш складних випадках приходиться резервувати одночасно пристрій і один чи кілька елементів цього пристрою. Таке резервування називають змішаним. Приклад схематичного зображення резервування змішаного типу видно на рис. 4. Тут резервується пристрій з 4-х елементів і додатково резервується 4-й елемент.

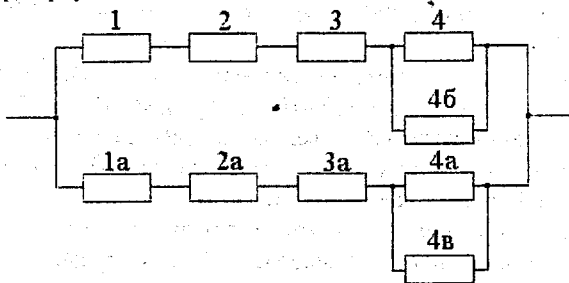


Рис. 4

В залежності від способу під'єднання резервного елемента чи пристрою розрізняють пасивне або резервування з постійним під'єднанням та активне або резервування заміщенням. При першому методі резервування резервні елементи чи пристрої під'єднані постійно і виконують відповідну функцію одночасно. При виході з ладу одного з них функцію продовжують виконувати інші резервні елементи чи пристрої. Такий метод резервування можливий лише тоді, коли несправні елементи чи пристрої не блокують

роботу справних. Перевагою цього методу є простота реалізації, а недоліком - часта неможливість його застосування.

Активне резервування полягає в постійному контролі справності резервованого елемента чи пристрою і при його відмові у заміні резервованого елемента на резервний. Звичайно, ця заміна не означає механічне вилучення несправного елемента, а блокування його негативного впливу. Це блокування виконує спеціальний автоматичний пристрій, який також може відмовити, що є недоліком активного резервування. Перевагою такого резервування може бути можливість утримання резервних елементів в стані зберігання без подачі робочого режиму, що підвищує надійність системи в зв'язку з набагато вищою надійністю зберігання в порівнянні з надійністю роботи.

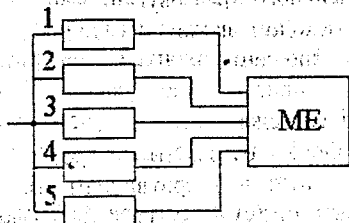


Рис. 5

Одним із різновидів активного резервування є так зване мажоритарне резервування, яке має дещо специфічні особливості. На рис. 5 схематично зображено таке резервування. Мажоритарне резервування використовують при конструюванні ІМС для оброблення цифрової інформації у двійковому коді. Принцип дії мажоритарного методу полягає в паралельній роботі всіх резервних елементів одночасно (на рис. 5 п'ять елементів) з під'єднанням їх виходів до такої ж кількості входів мажоритарного елемента ME. ME аналізує вхідні сигнали і пропускає на свій вихід сигнал, що збігається з сигналами більшості резервних елементів. Якщо якийсь з резервних елементів відмовив, то його сигнал буде відрізнитись від інших і не буде враховуватись при формуванні вихідного сигналу ME. Зрозуміло, що кількість резервних елементів повинна бути непарною. Кратність резервування буде меншою за кількість резервних елементів: для трьох - 2, для п'яти - 3, бо система відмовляє, коли відмовляє більшість резервних елементів.

Для визначення надійності системи з резервуванням визначають спочатку надійність частини схеми, що містить в собі елементи, які резервуванням не охоплюються за правилом множення ймовірностей (1) або додаванням інтенсивності відмов (3). Надійність пасивно зарезервованих елементів (рис.2) визначається за правилом множення ймовірностей відмов, оскільки відмова настає при відмові кожного з резервних елементів:

$$Q(t) = \prod_{i=1}^k Q_i(t), \quad (4)$$

де k - кількість резервних елементів.

2. Порядок виконання роботи

1. Для запропонованого варіанта даних визначити надійність системи з резервуванням в залежності від надійності її елементів і схеми резервування з визначенням інтенсивності відмов та гамма-95% напашовання.

2. Дослідити ефективність резервування системи п.1 зіставленням рівня надійності з резервуванням і без нього, для чого визначити параметри надійності для системи без резервування.

3. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

Дослідження виконують стосовно системи з резервуванням для запропонованого варіанта схеми. Елемент 1 (див.рис. варіанта) узагальненим позначенням елементів, що не охоплені резервуванням. Елемент 2 резервується методом пасивного резервування. Елементи 3, 4 та 5 резервуються як пристрій методом активного резервування з діагностично-блокуючим пристроєм 6. Елемент 5 додатково резервується методом пасивного резервування.

Визначення надійності системи з резервуванням доцільно виконувати, починаючи з місць пасивного поелементного резервування (елемент 2) включно з пасивном поелементним резервуванням, яке входить до складу змішаного резервування (елемент 5). В подальшому їх визначена надійність використовується при розрахунках як за схемою послідовного включення.

При розрахунку місць загального резервування спочатку визначають надійність резервованих пристроїв за схемою послідовного включення, а далі надійність визначається аналогічно як для поелементного резервування.

При активному резервуванні враховується додатково ще надійність діагностично-блокуючого пристрою за схемою послідовного включення в залежності від місця його розташування. Так, для варіанта А надійність цього пристрою враховується як самостійна частина системи. Для варіанта Б надійність діагностично-блокуючого пристрою необхідно врахувати при визначенні надійності резервованого пристрою.

Для розрахунків в лабораторній роботі задається надійність у вигляді інтенсивності відмов елементів системи. Тому при визначенні надійності поелементного пасивного резервування за виразом (4) ймовірність відмов необхідно виразити через цей параметр. Оскільки параметром надійності є інтенсивність відмов, то ймовірність безвідмовної роботи буде відповідати експоненціальному закону розподілу. Тоді

$$Q(t) = 1 - \exp\{-\lambda t\}.$$

Загальна ймовірність безвідмовної роботи визначається за виразом (1), в якому надійність елемента з резервуванням враховується у вигляді:

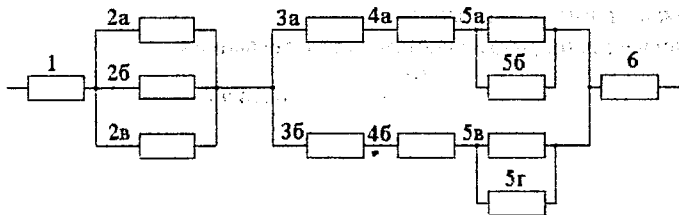
$$P(t) = 1 - \prod_{i=1}^k Q_i(t).$$

Оскільки в результаті виконання роботи необхідно визначити надійність у вигляді параметра інтенсивності відмов, то за наведеним виразом доцільно визначити середню інтенсивність відмов за гарантований строк служби t_2 :

$$\lambda_c = \frac{1}{t_2 \prod_{i=1}^k Q_i(t_2)}$$

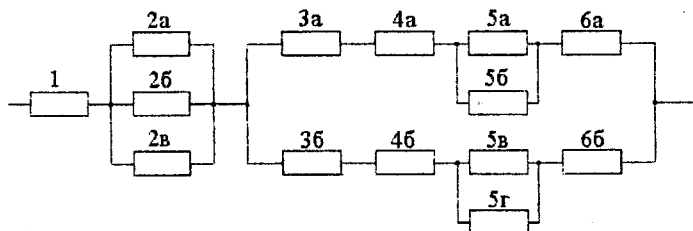
Далі інтенсивність відмов системи визначається за виразом (3).

Варіант А



$t_2 = 50$ тис. год.

Варіант Б



$t_2 = 60$ тис. год.

Інтенсивність відмов елементів (год⁻¹)

№ варіанта	№ елемента					
	1 $\cdot 10^{-8}$	2 $\cdot 10^{-5}$	3 $\cdot 10^{-6}$	4 $\cdot 10^{-6}$	5 $\cdot 10^{-5}$	6 $\cdot 10^{-7}$
1	1,8	4,5	2,3	4,1	3,2	2,1
2	2,1	4,3	3,1	3,5	3,1	2,4
3	2,3	4,1	3,6	2,9	3,6	2,6
4	2,5	3,9	4,1	2,1	4,1	2,9
5	2,9	3,7	4,5	4,3	4,4	3,1
6	3,1	3,5	2,1	3,3	2,2	3,3
7	3,4	3,3	3,4	2,6	3,4	3,5
8	3,6	3,1	4,3	3,9	4,3	3,7
9	3,8	2,9	2,3	3,2	1,8	3,9
10	4,2	2,7	3,1	2,4	2,0	4,2
11	4,4	2,5	3,8	4,6	3,8	4,3
12	4,5	2,1	2,9	3,7	2,5	4,5

Контрольні питання

1. Схематичне зображення системи без резервування і визначення її надійності за надійністю елементів.
2. Суть підвищення надійності за рахунок резервування.
3. Поелементне резервування.
4. Загальне резервування.
5. Змішане резервування.
6. Активне резервування.
7. Пасивне резервування.
8. Мажоритарне резервування.
9. Визначення надійності системи з резервуванням.

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ РОЗРОБЛЮВАНИХ ВЕТ

МЕТА роботи: дослідження надійності напівпровідникової ІМС на етапі розробки і проектування.

1. Короткі теоретичні відомості [1,3]

За довгий час розробки, проектування і експлуатації напівпровідникових ІМС накопичено значний статистичний матеріал про надійність виробів, причин відмов і, відповідно, про надійність їх елементів. І, оскільки розробка нових ІМС виконується шляхом використання уже відомих елементів, з'являється можливість прогнозувати надійність виробів уже на етапі розробки і проектування. Як свідчить практика, ймовірність безвідмовної роботи елементів ІМС відповідає експоненціальному закону розподілу з параметром у вигляді інтенсивності відмов λ . Як показано в лабораторній роботі № 5, в цьому випадку інтенсивність відмов ІМС буде дорівнювати сумі інтенсивності відмов всіх її елементів.

Надійність елементів і, відповідно, всієї ІМС суттєво залежить від стану технологічного процесу. Тому у вираз для обчислення надійності вводиться коефіцієнт стану технологічного процесу K_n .

$$\lambda = K_n (\lambda_1 + \lambda_2),$$

де λ_1 – інтенсивність відмов елементів конструкції (корпус, вид з'єднання кристала з основою, дротяні з'єднання),

λ_2 – інтенсивність відмов кристала.

Оскільки в статистичних даних відображено максимальну інтенсивність відмов елементів, то значення K_n встановлюють рівне одиниці для випадку серійного виробництва менше 3-х років при відсутності відбракування потенційно ненадійних виробів. При введенні операції відбракування K_n зменшується до 0,5. Вважається, що в ході виробничого процесу виготовлення ІМС більше 3-х років технологічний процес стабілізується, а якість і надійність виробів покращується, що дає можливість знизити значення K_n до рівня 0,25, а при застосуванні електротермотренування – до 0,20 і до 0,08 при застосуванні додатково ще відбракування потенційно ненадійних виробів. Ці ж вимоги до технологічного процесу виготовлення розробленої ІМС вважаються виконаними, якщо виготовлення здійснюється за технологією виготовлення попередньої ІМС без суттєвих змін.

Значний вплив на надійність зварних з'єднань також здійснює стан технологічного процесу, тому їх статистична інтенсивність використовується разом з коригуючим коефіцієнтом $\alpha_{зв}$, що чисельно дорівнює значенню K_n . Звичайно, надійність зварних дротяних з'єднань залежить також від їх кількості, тобто від кількості виводів n . Надійність з'єднань подано в табл. 1 додатка.

Надійність деяких корпусів досліджена і значення їх інтенсивності відмов занесено до таблиці 1 (див.додаток). Надійність інших металевих корпусів визначається шляхом вибору найближчого за конструкцією аналога з табл. 1 додатка і розрахунку коригуючого коефіцієнта

$$\alpha_k = \frac{L_p n_p}{L_a n_a},$$

де L_p – довжина зварного шва корпусу розроблюваної ІМС,

n_p – кількість виводів розроблюваної ІМС,

L_a – довжина зварного шва корпусу ІМС – аналога,

n_a – кількість виводів корпусу ІМС – аналога.

При застосуванні пластмасового корпусу як аналог використовується надійність корпусу 201.14-6. Надійність розроблюваного корпусу визначається з використанням коригуючого коефіцієнта

$$\alpha_k = \frac{S_p}{S_a},$$

де S_p – площа поверхні пластмасового корпусу розроблюваної ІМС,

S_a – площа поверхні пластмасового корпусу ІМС – аналога.

Надійність з'єднання кристала з основою значно залежить від виду з'єднання (див.табл.1 додатка), а також від площі кристала S (див.рис.1 додатка).

Надійність конструктивних елементів корпусу залежить також від робочої температури; коригуючий коефіцієнт при розрахунку надійності визначається за виразом:

$$k_T = \exp\left\{-\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{298} - \frac{1}{273+T}\right)\right\},$$

де k – постійна Больцмана ($k = 8,62 \cdot 10^{-5}$ eВ/град),

T – температура елемента $^{\circ}\text{C}$,

E_a – енергія активації матеріалу елемента (див.табл.2 додатка).

Таким чином інтенсивність відмов елемента конструкції визначається за виразом:

$$\lambda = \alpha_k \lambda_k k_{mk} + \alpha_{kr} \lambda_{kr} k_{mkp} + n \alpha_{d1} \lambda_{d1} k_{m0p},$$

де λ_k – інтенсивність відмов корпусу ІМС – аналога (табл.1 додатка),

α_{kr} – коригуючий коефіцієнт для урахування площі кристала (див.рис.1 додатка),

λ_{d1} – інтенсивність відмов дрютяного з'єднання (див.табл.1 додатка),

$k_{тв}$, $k_{ткр}$, $k_{тлз}$ – коригуючі коефіцієнти для врахування дії робочої температури відповідних елементів конструкції.

Інтенсивність відмов кристала визначається за виразом:

$$\lambda_2 = K_c \left(\beta \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^r \alpha_i \lambda_{ij} + \lambda_{ij} S_{ij} \gamma + \lambda_{ij} \right),$$

де K_c – коефіцієнт стійкості до статичної електрики (рис.2 додатка),

β – коефіцієнт стійкості діелектричної плівки (рис.3 додатка),

k – кількість груп елементів.

g – кількість елементів в групі,

α_i – коефіцієнт впливу режиму для елементів групи (табл.3 додатка),

$\lambda_{ст}$ – інтенсивність відмов для елементів групи (табл.4 додатка),

$\lambda_{м}$ – інтенсивність відмов металізації ($\lambda_{м} = 0,3 \cdot 10^{-8}$ год⁻¹),

γ – коефіцієнт впливу електричного та температурного режиму на надійність металізації (рис.4 додатка),

$S_{м}$ – площа металізації в мм²,

$\lambda_{ін}$ – інтенсивність відмов інших елементів (табл.4 додатка).

ІМС будь-якого типу чутливі до дії статичної електрики: при деякому значенні напруги виникає пробій і ІМС виходить з ладу. Менші рівні статичної електрики призводять до зменшення надійності, тому цей фактор необхідно враховувати при прогнозуванні надійності через коефіцієнт K_c . Слід зауважити, що ІМС з МДН структурами більш чутливі до статичної електрики, але тільки до монтажу в апаратуру. Вмонтовані (впаяні) ІМС мають однакову стійкість до статичної електрики незалежно від типу.

2. Порядок виконання роботи

1. Виходячи з варіанта вхідних даних визначити прогнозовану надійність ІМС мінімальної собівартості.

2. Для варіанта п.1 визначити надійність ІМС максимальної надійності.

3. Порівняти надійність ІМС за п.1 та п.2 через інтенсивність відмов та гамма-98% напрацювання.

4. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

ІМС мінімальної собівартості передбачає застосування найдешевшого пластмасового корпусу, клейове з'єднання кристала з основою та відсутність електротермотренування та вилучення потенційно ненадійних виробів. Найбільш дешево з'єднання між кристалом і выводами є термокомпресійне з'єднання золото-алюміній.

Високу надійність ІМС досягають застосуванням метало-скляного чи метало-керамічного корпусу з посадкою кристала на корпус через евтектику. Зварювання використовують із застосуванням ультразвуку і алюмінієвого дроту. Звичайно, для забезпечення високої надійності режим роботи ІМС повинен бути більш м'яким з коефіцієнтом електричного навантаження не вище 0,4 і при температурі кристалу не вище 75°C.

При визначенні коригуючого температурного коефіцієнта необхідно мати на увазі, що наведена формула стосується підвищеної робочої температури, для вибору якої також можна орієнтуватись на температурну шкалу табл.3. Всі наведені таблиці і графіки стосуються ІМС на кремнії.

Для визначення інтенсивності відмов кристала елементи ІМС об'єднують в групи, що мають (бажано) однакову надійність, тому замість додавання можна застосовувати множення інтенсивності відмов елемента на їх кількість g

Для об'єктивного порівняння надійності варіантів мікросхеми доцільно користуватись параметром у вигляді гамма-відсоткового напрацювання. Для високонадійних ІМС застосовують 98% напрацювання.

Вихідні дані для виконання роботи

Нова напівпровідникова ІМС на кремнії на базі серійного виробництва, що функціонує не менше 3-х років за відпрацьованою технологією з електротермо-тренуванням і вилученням потенційно ненадійних виробів.

Кількість елементів ІМС, особливості конструкції

Елементи ІМС	В а р і а н т и																
	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17
Б/П транз.	80	-	-	76	98	-	-	85	-	-	90	80	-	-	-	86	94
Пол.транз.	-	70	90	-	-	88	78	-	90	80	-	-	86	94	90	-	-
Діод	10	12	18	10	66	42	36	24	20	18	22	16	34	30	18	16	20
Резистор	40	30	50	60	45	68	62	50	40	30	40	32	40	36	30	20	24
Шир. АІ доріжки, мкм	12	14	10	12	8	8	7	12	14	10	10	14	12	10	12	14	14

Контрольні питання

1. Принцип прогнозування надійності розроблюваних напівпровідникових ІМС.
2. Залежність надійності ІМС від стану технологічного процесу.
3. Визначення надійності корпусу ІМС
4. Залежність надійності ІМС від робочої температури.
5. Залежність надійності ІМС від статичної електрики.
6. Фактори, від яких залежить надійність посадки кристала на основу.
7. Засоби забезпечення високої надійності напівпровідникових ІМС.

ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ РОЗРОБЛЮВАНИХ ДИСКРЕТНИХ
ВЕТ

Мета роботи: дослідження надійності потужного напівпровідникового діода на етапі розробки і проектування.

1. Короткі теоретичні відомості [1,3]

Теоретичні відомості, необхідні для виконання даної роботи такі ж, як і для виконання лабораторної роботи №6. Надійність виробу визначається у вигляді інтенсивності відмов як сума інтенсивностей елементів:

$$\lambda = K_{II} \sum_{i=1}^n K_{pi} K_{Ti} \alpha_{ei} \lambda_{ei}$$

де K_{II} – коригуючий коефіцієнт для врахування стану технологічного процесу (див. лаб.роб. №6);

K_p – коригуючий коефіцієнт для врахування електричного режиму елемента:

для кристала

$$K_{pKP} = \frac{U_{звP}}{U_{звД} + 1}$$

де $U_{звP}$ – робоча зворотна напруга,

$U_{звД}$ – гранично допустима зворотна напруга;

для з'єднання кристала з основою м'яким припоем

$$K_{pPI} = \frac{I_p}{I_{Д} + 1}$$

де I_p – робочий струм,

$I_{Д}$ – гранично допустимий прямий струм;

для інших елементів $K_p = 1$;

K_T – коригуючий коефіцієнт для врахування впливу температури (див. лаб.роб.№6, E_a – в табл.5 додатка),

α_e – конструктивний коефіцієнт (див. табл. 5 та 6 додатка),

λ_e – інтенсивність відмов елемента (див. табл. 5 додатка),

n – кількість елементів.

Як і в лабораторній роботі №6, в даній роботі досліджується надійність діода мінімальної собівартості і максимальної надійності. Крім того, оскільки потужні діоди часто працюють в умовах дії шкідливих факторів зовнішнього середовища, то необхідно визначити надійність з урахуванням дії цих факторів. Інтенсивність відмов виробу в умовах дії шкідливих факторів зовнішнього середовища визначається за виразом:

$$\lambda_n = \lambda_n \prod_{i=1}^n k_i$$

де λ_n – інтенсивність відмов виробу в нормальних умовах,

k_i – коефіцієнт впливу i -го фактора (див. табл. 7 та 8 додатка),

n – кількість факторів зовнішнього середовища.

Шкідливі фактори зовнішнього середовища прискорюють розвиток прихованих виробничих дефектів, що призводить до підвищення інтенсивності відмов. Тому коефіцієнт впливу завжди більший одиниці. Але швидкість розвитку дефектів спостерігається лише у випадку, коли рівень факторів не перевищує встановлене для даного виробу гранично допустиме значення. В протилежному випадку можливі пошкодження, тобто утворення нових дефектів і інтенсивність відмов різко зростає.

2. Порядок виконання роботи

1. Для запропонованого варіанта вхідних даних визначити надійність потужного діода мінімальної собівартості.

2. Для варіанта п.1 визначити надійність розроблюваного потужного діода максимальної надійності.

3. Виходячи з варіанта вхідних даних і даних п.1 визначити надійність потужного діода мінімальної вартості та максимальної надійності в умовах дії шкідливих факторів зовнішнього впливу.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

Методичні вказівки до цієї роботи аналогічні вказівкам до роботи №6. Крім цього необхідно додати, що в табл. 6 наведено розміри металево-скляних корпусів, які необхідно застосовувати для варіанта діода максимальної надійності. Для діода мінімальної собівартості застосовують пластмасовий корпус, що складається з металевої основи циліндричної форми, яка герметизується зверху пластмасою такої ж циліндричної форми. Загальна висота корпусу складає третину діаметра, який дорівнює діаметру металево-скляного корпусу. Товщина металевої основи складає третину загальної висоти.

Для виконання роботи студенту необхідно самому встановити розміри кристала, виходячи з розміру корпусу. Матеріал кристала – кремній. Технологія – освоєна не менше 3-х років з електротермотренуванням.

Варіантом вхідних даних є номер корпусу згідно табл. 6 додатка, вид фактора зовнішнього середовища та ступінь жорсткості їх дії за табл. 7 та 8. Наприклад, варіант K568M3 означає номер металоскляного корпусу 568 при дії механічних факторів третього ступеня жорсткості.

Контрольні питання

1. Принцип прогнозування надійності розроблюваних напівпровідникових діодів.

2. Залежність надійності діода від електричного режиму роботи кристала.

3. Залежність надійності діода від стану технологічного процесу.

4. Залежність надійності діода від конструктивних особливостей.

5. Залежність надійності діода від дії факторів зовнішнього середовища.

ОПЕРАТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПЛАНІВ КОНТРОЛЮ ЗА АЛЬТЕРНАТИВНОЮ ОЗНАКОЮ

Мета роботи: дослідження властивостей оперативної характеристики статичного контролю за альтернативною ознакою.

1. Короткі теоретичні відомості [1]

У виробництві виробів електронної техніки як і у виробництві іншої масової промислової продукції широко використовують вибіркові методи контролю з причини їх високої економічності. Науковою основою вибіркових методів є математична статистика, тому такий контроль називають статистичним. Але крім переваги статистичного контролю – економічності, він має недолік, що полягає в наявності похибки контролю: партія продукції задовільної якості може бути відхилена, а незадовільної якості – прийнята. Цю властивість статистичного контролю необхідно враховувати при його плануванні.

Точність плану статистичного контролю найбільш повно характеризує так звана оперативна характеристика, що є функцією залежності ймовірності прийняття партії продукції від параметра її якості. Як параметр якості для масової продукції використовують засміченість продукції дефектними виробами у вигляді кількості дефектних виробів D в партії обсягом N шт. або частки дефектних виробів q .

Статистичним контролем за альтернативною ознакою називають контроль, при якому з контрольованої партії продукції відбирають вибірку обсягом n штук, виробу вибірки перевіряють на відповідність встановленим вимогам якості з підрахунком кількості дефектних виробів d . Якщо ця кількість не перевищує приймальне число c , то партія продукції приймається, а в протилежному випадку – відхиляється. При цьому обсяг вибірки n та приймальне число c називають планом контролю, а процес його встановлення називають плануванням контролю.

Оперативна характеристика плану контролю складається з використанням статистичних законів розподілу дискретних випадкових величин. Найбільш точні результати дає гіпергеометричний закон розподілу:

$$P(D) = \frac{C_D^d \cdot C_{N-D}^{n-d}}{C_N^n}$$

Цей закон досить громіздкий в обчисленнях, тому на практиці застосовують біноміальний та пуассоновський закони розподілу, які дають менш точні, але цілком задовільні результати при умові

$$N \gg D \text{ та } N \gg n$$

що відповідає умовам промислового виробництва. Біноміальний закон має дві форми:

$$P(D) = C_n^d \left(\frac{n}{N}\right)^d \left(1 - \frac{n}{N}\right)^{n-d}$$

та

$$P(q) = C_n^d q^d (1-q)^{n-d}$$

де $q = D/N$.

Закон розподілу Пуасона має вигляд:

$$P(q) = \frac{(nq)^d}{d!} \exp(-nq).$$

Оперативна характеристика при застосуванні дискретних законів розподілу має вигляд:

$$L(D) = \sum_{d=0}^{\infty} P(D) \quad \text{або} \quad L(q) = \sum_{d=0}^{\infty} P(q).$$

2. Порядок виконання роботи

1. Для запропонованого варіанта даних записати аналітичні вирази оперативних характеристик з використанням біноміального закону розподілу (форма закону за вибором студента) та з використанням закону розподілу Пуасона.

2. За аналітичними виразами оперативних характеристик п.1 розрахувати оперативні характеристики в табличному вигляді.

3. З використанням таблиць п.2 побудувати графічні зображення оперативних характеристик.

4. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

Аналітична форма оперативної характеристики є функцією, що складається з кількох доданків, оскільки партія приймається при умові неперевикнення кількості дефектних виробів у вибірці: якщо $c = 2$, то партія приймається при відсутності дефектних виробів у вибірці (перша складова – ймовірність $d = 0$), при одному дефектному виробі (друга складова – ймовірність $d = 1$) і при двох дефектних виробих (третя складова – ймовірність $d = 2$). При $c = 1$ – дві складові, а при $c = 0$ – одна складова.

У виразах для біноміального закону присутні коефіцієнти у вигляді числа сполучень - C_m^k . Нагадаємо, що величина цього коефіцієнта визначається за виразом:

$$C_m^k = \frac{m!}{k!(m-k)!}$$

При розрахунку оперативних характеристик в табличній формі важливо вибрати раціональний крок квантування: при великому кроці буде мало точок на графіку і точність зображення значно погіршиться, а при малому кроці таблиця вийде дуже об'ємною. Оскільки оперативна характеристика є монотонно спадаючою кривою, то бажано для кожної оперативної характеристики визначити таке значення аргументу D та q ,

при якому функція прийматиме значення, близьке до 0,01. Величину кроку квантування вибирають шляхом ділення отриманого інтервалу значень аргументу на 10-20.

Оперативні характеристики є дискретними функціями, але з метою отримання більшої виразності графіка їх бажано будувати як неперервні функції тим більше, що формально величина частки дефектних виробів q може бути неперервною.

Для полегшення отримання висновків зображення оперативних характеристик бажано наносити на один графік, але розмір графіка при цьому повинен бути великим – на всю сторінку звіту.

Завдання для виконання роботи

Значення обсягу вибірки

№ вар	В а р і а н т											
	А				Б				В			
	c = 0				c = 1				c = 2			
	N = 700	N = 800	N = 900	N = 1000	N = 700	N = 800	N = 900	N = 1000	N = 700	N = 800	N = 900	N = 1000
1	39	39	40	40	95	96	97	97	151	153	154	155
2	44	44	45	45	107	108	109	109	171	173	174	175
3	49	49	50	50	118	120	121	122	189	191	193	194
4	53	54	55	55	130	132	133	134	207	210	212	213
5	58	59	60	60	141	144	145	145	225	229	231	232
6	63	64	65	65	153	155	157	158	244	248	251	252
7	67	69	70	70	164	157	169	170	262	266	270	271
8	77	78	79	80	186	190	193	194	297	303	303	309
9	86	88	89	90	208	214	217	218	332	340	346	348
10	80	80	81	81	197	197	197	198	314	314	315	315

Контрольні запитання

1. Що таке контроль за альтернативною ознакою?
2. План контролю за альтернативною ознакою.
3. Дискретні закони розподілу.
4. Оперативна характеристика плану контролю.
5. Дискретні закони розподілу.

ПЛАНУВАННЯ ОДНОСТУПЕНЕВОГО КОНТРОЛЮ ЗА АЛЬТЕРНАТИВНОЮ ОЗНАКОЮ

МЕТА роботи: дослідження планів одноступеневого контролю за альтернативною ознакою.

1. Короткі теоретичні відомості [1]

Порядок ведення одноступеневого контролю за альтернативною ознакою викладено в лабораторній роботі № 8.

При плануванні статистичного контролю включно з одноступеневим контролем за альтернативною ознакою необхідно враховувати можливі похибки або точність контролю. Вичерпною характеристикою точності плану контролю є його оперативна характеристика; але вона не є зручною при практичному застосуванні. Тому бажано мати якийсь параметр точності контролю аби задаватись ним при плануванні. Крім цього необхідно задаватись також вимогами до якості продукції, яку повинен забезпечувати статистичний контроль.

Природно ввести як параметр якості масової штучної промислової продукції граничне значення частки дефектних виробів для партій продукції задовільної якості q_0 . Тобто, партія продукції вважається партією задовільної якості, коли частка дефектних виробів в ній не перевищує граничне значення, в протилежному випадку – незадовільної якості. Завданням статистичного приймального контролю буде відхилення партій незадовільної якості і прийняття партій задовільної якості з заданою точністю.

При розгляді питання про точність статистичного контролю зручно скористатись поняттям про ідеальну оперативну характеристику, значення якої для партій задовільної якості дорівнює одиниці, а для партій незадовільної якості – нулю (на рис. 1 – жирна суцільна лінія). Чим ближче реальна оперативна наближається до ідеальної, тим точнішим буде контроль (на рис. 1 реальні оперативні характеристики зображено тонкими лініями).

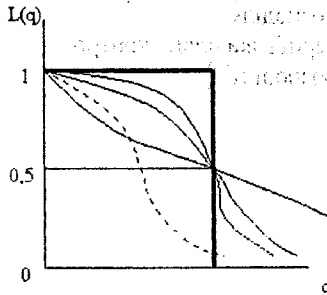


Рис. 1

Очевидно, параметр точності статистичного контролю повинен характеризувати ступінь наближення оперативної характеристики плану контролю до ідеальної. З результатів виконання роботи № 8 видно, що з розглянутих планів найбільш точним є план при $c = 2$. Здавалося б, щоб ще більше збільшити точність плану при $c = 2$ досить збільшити обсяг вибірки, але оперативна характеристика ще більше відхилилась від ідеальної (крива пунктирною лінією на рис. 1). Ясно, що з метою забезпечення максимальної точності плану контролю необхідно висунути до оперативної характеристики і відповідно до плану контролю ще одну вимогу: необхідно вибрати такий план, щоб оперативна характеристика його проходила через точку $(q_r; 0,5)$, тобто

$$L(q_r) = 0,5.$$

Це природно, адже при $q = q_r$ партію продукції можна вважати як партією задовільної так і незадовільної якості. Тому ймовірність прийняття і ймовірність відхилення такої партії повинні бути рівними. Ця властивість може бути використана для обчислення оптимального обсягу вибірки. Так для $c = 0$

$$(1 - q_r)^n = 0,5$$

звідки

$$n = \frac{\ln 0,5}{\ln(1 - q_r)}$$

Для інших значень приймального числа визначити обсяг вибірки можна лише методами наближених обчислень, з використанням яких вдалося знайти наближені формули, що дають досить високу точність при умові округлення до цілого числа:

$$n = \left[\frac{0,69}{q_r + \frac{0,4}{N}} \right] \quad \text{при } c = 0; \quad (1)$$

$$n = \left[\frac{1,68}{q_r + \frac{0,4}{N}} \right] \quad \text{при } c = 1; \quad (2)$$

$$n = \left[\frac{2,68}{q_r + \frac{0,4}{N}} \right] \quad \text{при } c = 2, \quad (3)$$

де N – обсяг партії.

Плани при $c > 2$ практично не використовуються, оскільки обсяг вибірки різко зростає, а як показують дослідження, точність контролю зростає дуже повільно.

Таким чином, отримані оптимальні набори приймальних чисел та відповідних їм значень обсягу вибірки. Очевидно вибрати серед них потрібно за критерієм необхідної достовірності. Тому знову повернемося

до проблеми точності контролю. Як видно з рис. 1, близькість оперативної характеристики до ідеальної на інтервалі $(0, q_r)$ визначається площею під кривою. На інтервалі $(q_r, 1)$ навпаки – близькість до ідеальної характеристики визначається прагненням площі під кривою до нуля. Ця незручність усувається застосуванням функції прийняття вірних рішень:

$$\psi(q) = \begin{cases} L(q) & \text{при } q \leq q_r \\ 1 - L(q) & \text{при } q > q_r \end{cases}$$

Графічно цю функцію зображено на рис. 2. Ідеальним варіантом

$$\psi(q) = 1,$$

буде горизонтальна лінія на рисунку 2.

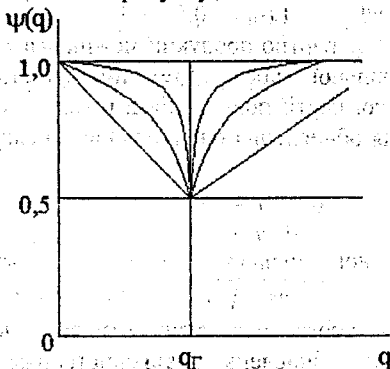


Рис. 2

Чим ближче функція підходить до цієї лінії, тим точнішим буде контроль. Тому за параметр точності плану контролю можна прийняти інтеграл $\psi(q)$ в межах від 0 до 1. Такий параметр доцільно назвати ймовірністю прийняття вірних рішень, оскільки $\psi(q)$ на інтервалі $(0, q_r)$ визначає ймовірність прийняття партії продукції задовільної якості, а на інтервалі $(q_r, 1)$ – ймовірність забракування партії продукції незадовільної якості.

Але це буде параметром точності саме плану контролю, а не самого контролю. Нас же цікавить точність контролю в реальних виробничих умовах: точність контролю залежить не тільки від параметрів контролю, а від якості партій продукції, що надходять на контроль, точніше, від закону розподілу частки дефектних виробів в них $f_{ax}(q)$. Користуючись правилом множення ймовірностей можна записати вираз для визначення ймовірності прийняття вірних рішень:

$$P_{II} = \int \psi(q) f_{ax}(q) dq \quad (4)$$

Як показують дослідження, найчастіше $f_{ax}(q)$ відповідає експоненціальному закону розподілу з математичним очікуванням q_m , яке визначається як середнє арифметичне за тривалий час спостережень. Для

цього випадку знайдені наближені формули для обчислення ймовірності прийняття вірних рішень:

$$P_{II} = 0,72 + 0,03 \frac{q_r + 0,4 / N}{q_m} \quad \text{для } c = 0 \quad (5)$$

$$P_{II} = 0,78 + 0,03 \frac{q_r + 0,4 / N}{q_m} \quad \text{для } c = 1 \quad (6)$$

$$P_{II} = 0,80 + 0,03 \frac{q_r + 0,4 / N}{q_m} \quad \text{для } c = 2 \quad (7)$$

Таким чином процедура планування контролю за альтернативною ознакою буде полягати в наступному.

1. В порядку укладання договору на постачання продукції визначається граничне значення частки дефектних виробів для партій продукції задовільної якості q_r .

2. Методами статистичного аналізу встановлюють закон розподілу частки дефектних виробів в партіях продукції, що надходить на контроль $f_{ex}(q)$.

3. Методами техніко-економічного аналізу встановлюють бажане значення ймовірності прийняття вірних рішень P_{II} .

4. Послідовно, починаючи з $c = 0$, обчислюють P_{II} за виразом (4) аж до отримання значення P_{II} величиною згідно з п.3.

4а. Якщо встановлено виконанням п.2 відповідність $f_{ex}(q)$ експоненціальному закону, обчислення P_{II} за п.4 доцільно виконувати з використанням формул (5), (6) та (7). За прийнятне число c плану контролю вибирають таке його значення, яке відповідає бажаній величині P_{II} .

5. В залежності від знайденого приймального числа c обчислюють обсяг вибірки за виразами (1), (2) чи (3).

При плануванні контролю в порядку розробки технології виготовлення виробу важливе значення має вибір обсягу партії N , від величини якого залежать техніко-економічні параметри технологічного процесу. Тому необхідно дослідити вплив обсягу партії на ефективність статистичного приймального контролю.

2. Порядок виконання роботи

1. Для запропонованого варіанта даних розрахувати план одноступеневого статистичного контролю за альтернативною ознакою.

2. Для встановленого в п.1 приймального числа c та параметрів $f_{ex}(q)$ розрахувати в табличному вигляді залежність обсягу вибірки n , відсотку контролю η та ймовірності прийняття вірних рішень P_{II} в залежності від обсягу партії.

3. За даними п.2 побудувати графічні залежності, вважаючи функції умовно неперервними.

4. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

Для всіх варіантів даних вважається, що закон розподілу частки дефектних виробів у партіях продукції, які надходять на контроль, відповідають експоненціальному закону розподілу з математичним очікуванням q_m . Тому при пошуку приймального числа c можна користуватись наближеними формулами (5), (6) та (7). Квадратні дужки в формулах (1), (2) та (3) означають, що результат необхідно округлити до цілого числа.

При розрахунку залежностей п.2 також необхідно користуватись фактом відповідності $f_{ex}(q)$ експоненціальному закону з математичним очікуванням q_m та знайденим в п.1 приймальним числом c . В зв'язку з нелінійними залежностями показників п.2 від обсягу партії N крок квантування при розрахунку таблиці доцільно встановити змінним за таблицею:

N	200	300	400	600	800	1000	1500	2000	3000	5000
N										
η										
P_n										

Відсоток контролю розрахувати за виразом:

$$\eta = \frac{n}{N} \cdot 100\%$$

Варіанти вхідних даних

№ вар	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q_r	0,005	0,005	0,005	0,010	0,010	0,010	0,015	0,015	0,015
P_n	0,80	0,81	0,81	0,78	0,80	0,81	0,82	0,76	0,74
N	500	700	1000	800	800	900	1000	1000	1000
q_m	0,008	0,007	0,006	0,008	0,007	0,011	0,012	0,016	0,017

№ вар	10	11	12	13	14	15	16	17	18
q_r	0,016	0,016	0,016	0,017	0,017	0,018	0,018	0,018	0,020
P_n	0,76	0,75	0,78	0,80	0,81	0,82	0,82	0,80	0,82
N	600	700	800	900	1000	600	700	800	900
q_m	0,012	0,013	0,014	0,015	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020

№ вар	19	20	21	22	23	24	25	26	27
q_r	0,020	0,020	0,022	0,022	0,022	0,024	0,024	0,024	0,025
P_n	0,75	0,76	0,77	0,76	0,77	0,78	0,80	0,81	0,82
N	1000	900	800	700	600	700	800	900	1000
q_m	0,016	0,017	0,018	0,019	0,020	0,021	0,022	0,023	0,024

Контрольні питання

1. Вимоги до якості партії продукції, граничне значення частки дефектів виробів.

2. Ідеальна оперативна характеристика і точність реального плану контролю.

3. Функція прийняття вірних рішень.

4. Закон розподілу частки дефектних виробів у партіях продукції, що надходять на контроль, і його значення для точності контролю.

5. Параметр ефективності контролю у вигляді ймовірності прийняття вірних рішень.

6. Порядок планування одноступеневого контролю за альтернативною ознакою.

ПЛАНУВАННЯ ДВОСТУПЕНЕВОГО КОНТРОЛЮ ЗА АЛЬТЕРНАТИВНОЮ ОЗНАКОЮ.

МЕТА роботи: дослідження планів двоступеневого контролю за альтернативною ознакою.

1. Короткі теоретичні відомості [1]

Недоліком одноступеневого контролю за альтернативною ознакою є необхідність значно збільшувати обсяг вибірки при бажанні отримати високу ймовірність прийняття вірних рішень. Пошуки зменшення цього недоліку привели до запровадження двоступеневого контролю. Ідея методу полягає в тому, що коли у вибірці виявлено мало дефектних виробів або вони зовсім відсутні, то з досить великою ймовірністю можна вважати відповідну партію продукції партією задовільної якості виробів у вибірці відповідну партію також з високою ймовірністю слід вважати партію незадовільної якості. При великій кількості дефектних виробів у вибірці зробити висновок про якість партії неможливо, тому беруть ще одну вибірку і результати контролю її виробів сполучають з результатами контролю виробів першої вибірки. Виходить досить великий обсяг вибірки і ймовірність прийняття вірних рішень зростає. Оскільки друга вибірка береться не завжди, то в середньому обсяг контролю виявляється не дуже високим при достатньо високій ймовірності прийняття вірних рішень.

Практично двоступеневий план контролю складається з приймального числа для першої вибірки c_1 , бракувального числа c_2 , та приймального числа для сумарної вибірки c_3 , обсягу першої вибірки n_1 , та другої n_2 . Тоді процедура контролю буде полягати в наступному.

1. З контрольованої партії продукції відбирається вибірка обсягом n_1 , вироби вибірки перевіряються на відповідність встановленим вимогам з підрахунком кількості дефектних виробів d_1 .

2. Якщо $d_1 \leq c_1$, то партія продукції приймається.

3. Якщо $d_1 \geq c_2$, то партія продукції відхиляється.

4. Якщо $c_1 < d_1 < c_2$, то береться друга вибірка обсягом n_2 , вироби вибірки перевіряються на відповідність встановленим вимогам з підрахунком кількості дефектних виробів d_2 .

5. Якщо $d_1 + d_2 \leq c_3$, то партія приймається, в протилежному випадку - відхиляється.

Оперативна характеристика двоступеневого плану контролю за альтернативною ознакою в загальному вигляді буде:

$$I(q) = P\{d_1 \leq c_1\} + P\{d_1 + d_2 < c_3\} + P\{c_1 < d_1 < c_2\}$$

Тобто, ймовірність прийняття партії продукції буде дорівнювати сумі ймовірностей не перевищення кількості дефектних виробів числа c_1 в першій вибірці та не перевищення числа c_3 сумою дефектних виробів в першій та другій вибірках при умові відбору другої вибірки ($c_1 < d_1 < c_2$).

Конкретний аналітичний вираз оперативної характеристики можна записати з використанням біноміального чи пуассонівського законів розподілу. Але ясно, що це буде функція п'яти аргументів – складових плану контролю. Тому, як і у випадку одноступеневого контролю, планування будемо здійснювати шляхом перебору найбільш вживаних комбінацій приймальних і бракувального чисел. Крім цього будемо розглядати першу та другу вибірки окремо, що також спрощує планування.

Таким чином оперативна характеристика для першої вибірки не буде відрізнятися від оперативної характеристики одноступеневого контролю, але обсяг першої вибірки уже не можна знайти, прирівнюючи значення оперативної характеристики в точці $q = q_r$ до 0,5 оскільки партія може бути прийнята і за результатами контролю за другою вибіркою. Тому обсяг першої вибірки може бути визначеним з умови рівності ймовірностей прийняття партії за результатами контролю першої вибірки та забракування партії за результатами контролю тієї ж вибірки:

$$P\{d_1 \leq c_1\} = P\{d_1 \geq c_2\}$$

При застосуванні біноміального чи пуассонівського законів розподілу цей вираз виявляється надзвичайно громіздким, тому перетворимо його:

$$P\{d_1 < c_1\} = 1 - P\{d_1 < c_2\}$$

де $P\{d_1 < c_2\}$ – ймовірність незабракування партії продукції.

У випадку плану контролю, для якого $c_1 = 0$ і $c_2 = 2$, при застосуванні біноміального закону цей вираз буде мати вигляд:

$$(1-q)^n = 1 - (1-q)^n - n \cdot q(1-q)^{n-1}$$

Для $q = q_r$ це буде рівнянням з одним невідомим n_1 , розв'язавши яке, отримаємо значення першого обсягу вибірки. Таке рівняння розв'язується лише наближеними методами, з використанням яких також вдалося знайти наближені формули, які для найбільш поширених планів занесено до табл. 1.

Обсяг другої вибірки визначається аналогічно випадку одноступеневого контролю як для приймального числа $c = c_3 - 1$ у випадку, коли $c_2 - c_1 = 2$. Іноді застосовують плани з $c_2 - c_1 = 3$, тоді обсяг другої вибірки залежить від кількості дефектних виробів у першій вибірці. Якщо у першій вибірці виявлено $c_1 + 1$ дефектних виробів, то приймальним числом для другої вибірки буде $c = c_3 - 1$, якщо $d_1 = c_2 + 2$, то $c = c_3 - 2$.

В таблиці 1 містяться також вирази для визначення обсягу другої вибірки.

Таблиця 1

C ₁	C ₂	C ₃	n ₁	n ₂	
				d ₁ = 1	d ₁ = 2
1	2	3	4	5	6
0	2	1	1,145	0,69	-
			$q_r + 0,4/N$	$q_r + 0,4/N$	

Продовження таблиці 1.

1	2	3	4	5	6
0	2	2	$\frac{1,145}{q_r + 0,4 / N}$	$\frac{1,68}{q_r + 0,4 / N}$	-
0	3	2	$\frac{1,566}{q_r + 0,4 / N}$	$\frac{1,68}{q_r + 0,4 / N}$	$\frac{0,69}{q_r + 0,4 / N}$
0	3	3	$\frac{1,566}{q_r + 0,4 / N}$	$\frac{2,68}{q_r + 0,4 / N}$	$\frac{1,68}{q_r + 0,4 / N}$
1	3	2	$\frac{2,154}{q_r + 0,4 / N}$	-	$\frac{0,69}{q_r + 0,4 / N}$
1	3	3	$\frac{2,154}{q_r + 0,4 / N}$	-	$\frac{1,68}{q_r + 0,4 / N}$

Як і для випадку одноступеневого контролю, вибір плану двоступеневого контролю виконуватиметься в залежності від встановленої ймовірності прийняття вірних рішень. Для цього обчислюють інтеграл в межах від 0 до 1 від добутку функції прийняття вірних рішень на функцію щільності ймовірності частки дефектних виробів в підготовлених до контролю партіях продукції до отримання заданого значення P_{II} . Відповідний набір приймального та бракувального чисел будуть параметрами шуканого плану контролю. Обсяг вибірок визначається, як було показано вище, для цього ж набору. Знайдені також наближені формули для обчислення P_{II} для випадку відповідності $f_{ex}(q)$ експоненціальному закону, занесені до таблиці 2.

При застосуванні двоступеневого контролю визначальним є середній обсяг вибірки і його необхідно визначити в порядку планування контролю. Ясно, що середній обсяг вибірки буде сумою обсягу першої вибірки і обсягу другої вибірки, помноженому на ймовірність відбору другої вибірки. Ця ймовірність буде визначатися не тільки ймовірністю попадання у вибірку певної кількості дефектних виробів в залежності від частки дефектних виробів в контрольованій партії продукції, а від ймовірності надходження саме такої партії на контроль. Тобто, ймовірність відбору другої вибірки визначається за виразом:

$$P_2 = \int p(q) f_{ex}(q) dq,$$

де $p(q)$ – ймовірність попадання у вибірку такої кількості дефектних виробів, що свідчить про необхідність відбору другої вибірки, яка визначається з використанням біноміального чи пуассонівського законів розподілу.

Як визначалося вище, для деяких планів контролю обсяг другої вибірки може мати два значення, тому середній обсяг вибірки повинен визначатися за виразом:

$$n = n_1 + P_{21}n_{21} + P_{22}n_{22}$$

Для випадку відповідності $f_{ex}(q)$ експоненціальному закону знайдені наближені формули для визначення ймовірності відбору другої вибірки, які занесено також до таблиці 2.

Таблиця 2

C_1	C_2	C_3	P_{11}	$P_2(P_{21})$	P_{22}
0	2	1	0,753 + 0,0438	1,146	-
0	2	2	0,802 + 0,0328	$(1,146/\delta + 1)(1,146 + \delta)$	-
0	3	2	0,781 + 0,0398	1,568	P'_{21}
0	3	3	0,834 + 0,0608	$(1,568/\delta + 1)(1,568 + \delta)$	$1,568 + \delta$
1	3	2	0,828 + 0,0498	3,296	-
1	3	3	0,848 + 0,0478	$(3,296/\delta + 1)(3,296 + \delta)$	-

Тут $\delta = q_r/q_m$.

Таким чином, процедура планування двоступеневого контролю за альтернативною ознакою полягає в наступному.

1. В порядку укладання угоди на постачання встановлюється граничне значення частки дефектних виробів у партіях продукції задовільної якості q_r .

2. Методами статистичного аналізу встановлюють закон розподілу частки дефектних виробів у підготовлених до контролю партіях продукції $f_{ex}(q)$.

3. Методами техніко-економічного аналізу встановлюють бажане значення ймовірності прийняття вірних рішень P_{11} .

4. Послідовно, починаючи з набору 021 обчислюють величину P_{11} аж до отримання значення P_{11} згідно з п.3.

4а. Якщо встановлено відповідність $f_{ex}(q)$ експоненціальному закону, то для розрахунків P_{11} використовують формули з табл. 2.

5. В залежності від знайденого набору приймальних та бракувальних чисел при виконанні п.4 обчислюють значення обсягів першої та другої вибірок.

2. Порядок виконання роботи

1. Для запропонованого варіанта даних розрахувати план двоступеневого контролю за альтернативною ознакою включно з середнім обсягом вибірки, порівняти з результатами попередньої лабораторної роботи.

2. Для заданих в п.1 значень q_r , q_m та N обчислити P_{11} та n для всіх планів одноступеневого контролю згідно табл.2 а також P_{11} і p для всіх планів одноступеневого контролю за альтернативною ознакою.

3. За результатами розрахунків п.2 побудувати графічні залежності P_{11} від обсягів вибірки.

4. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

За вхідні дані для виконання роботи взяти вхідні дані для роботи № 9, збільшивши P_n в 1,1 рази з округленням до другого знаку після коми. Необхідно пам'ятати, що при обчисленні середнього обсягу вибірки буде мати планів 021, 022, 132 та 133 вираз для середнього обсягу вибірки буде мати два доданки: обсяг першої вибірки та середній обсяг другої. Для планів 032 та 033 вираз для обчислень буде мати три доданки: обсяг першої вибірки, середній обсяг першої з других вибірок та середній обсяг другої з других вибірок.

Обидві залежності за розрахунками згідно з п.2 зручно побудувати на одному графіку, який зображається у вигляді точок на координатній площині. Точки для кожного методу контролю варто з'єднати послідовно між собою відрізками прямих.

Контрольні питання

1. Принцип двоступеневого контролю за альтернативною ознакою.
2. Порядок ведення двоступеневого контролю за альтернативною ознакою.
3. Оперативна характеристика двоступеневого контролю за альтернативною ознакою.
4. Принцип визначення обсягу першої вибірки.
5. Принцип визначення обсягу другої вибірки.
6. Чому обсяг другої вибірки може мати кілька значень?
7. Принцип вибору плану двоступеневого контролю.
8. Порядок планування двоступеневого контролю за альтернативною ознакою.
9. Джерело підвищення ефективності двоступеневого контролю.

ПЛАНУВАННЯ КОНТРОЛЮ ЗА КІЛЬКІСНОЮ ОЗНАКОЮ

МЕТА роботи: дослідження ефективності вибіркового контролю за кількісною ознакою.

1. Короткі теоретичні відомості [1]

Стремління до подальшого збільшення ймовірності прийняття вірних рішень при скороченні обсягу вибірки привело до застосування контролю за кількісною ознакою. Нагадаємо, що контроль за кількісною ознакою полягає у вимірюванні у виробів вибірки контрольованого параметра з отриманням числового (кількісного) результату, за яким обчислюють статистичні параметри, величини яких порівнюються з встановленими для них нормативами. За результатами порівняння приймається рішення про прийомку проконтрольованої партії.

Підвищення ефективності контролю при переході до методу за кількісною ознакою стало можливим завдяки використанню додаткової інформації про якість виготовлюваної продукції в результаті функціонування технологічного процесу.

Конструкція і технологія виготовлення виробу розраховуються на отримання певного значення параметра X_0 . Але в ході технологічного процесу виготовлені вироби здобувають цей параметр з деякими відхиленнями. Навіть якщо ретельно дотримуватись вимог конструкторської і технологічної документації відхилення не зникають. Звичайно, більшість виробів здобувають параметр величиною близькою до X_0 , але трапляються і більш значні відхилення. Дослідження показують, що такі відхилення трапляються внаслідок дії так званих випадкових відхиляючих факторів. Кількість таких факторів дуже велика, а відхилення, до яких вони призводять, дуже малі і мають випадковий знак. Тому в більшості випадків такі відхилення компенсують одне одного, але трапляються випадки, коли для якогось виробу знаки дії більшості факторів збігаються і спостерігається значне відхилення. При цьому чим більше відхилення тим рідше воно зустрічається. Дослідження показують, величина параметра з такими відхиленнями добре описується так званим нормальним законом розподілу.

Знайдено аналітичний вираз щільності ймовірності нормального закону:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \exp\left\{-\frac{(x - X_0)^2}{2\sigma_0^2}\right\} \quad (1)$$

Цей закон має два параметри: математичне очікування X_0 і середнє квадратичне відхилення σ_0 . Графічно форма кривої $\varphi(x)$ симетрична відносно X_0 і має максимум в цій точці. По обидва боки від максимуму

щільність ймовірності круто спадає і при відхиленнях $\pm 3\sigma_0$ приймає значення 0,0044.

Оскільки ліквідувати випадкові відхилення неможливо, то виробник продукції вимушений встановлювати певні допустимі відхилення – так званий технічний допуск на величину параметра як компромісне рішення між потребами споживача і можливостями технологічного процесу. Якщо вимоги до величини параметра досить жорсткі, то технічний допуск встановлюють досить вузьким і при контролі багато виробів відходить в брак. Іноді споживач допускає значні відхилення і виготовлювач встановлює більш широкі границі поля допуску. В зв'язку з цим вводиться поняття точності технологічного процесу як співвідношення ширини між границями поля допуску і розкидом значень параметра. Точність оцінюється коефіцієнтом точності:

$$K_T = \frac{\Delta X}{3\sigma_0} \quad (2)$$

де ΔX – напівширина симетричного поля допуску.

В ході виробництва на технологічний процес діють також так звані систематичні відхиляючі фактори. Кожен з цих факторів призводить до значного відхилення параметру всіх виробів, тобто призводить до зміщення всього розподілу, що проявляється у зміщенні математичного очікування відносно середини поля допуску X_0 . Таке зміщення може призвести до суттєвого підвищення частки дефектних виробів у виготовлюваній продукції. Завданням виробничого персоналу в зв'язку з цим є виявлення і усунення таких відхиляючих факторів. При цьому великі відхилення виявляються і усуваються з більшою ймовірністю ніж малі. Тому математичне очікування також виявляється випадковою величиною, яка добре описується нормальним законом розподілу з математичним очікуванням X_0 та середнім квадратичним відхиленням σ_μ . Позначимо математичне очікування в зв'язку з цим через μ .

$$\varphi(\mu) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\mu} \exp\left\{-\frac{(\mu - X_0)^2}{2\sigma_\mu^2}\right\} \quad (3)$$

В зв'язку з дією систематичних відхиляючих факторів вводиться поняття стабільності технологічного процесу як властивості протистояння його діям систематичних відхиляючих факторів. Стабільність оцінюється коефіцієнтом стабільності:

$$K_S = \frac{1 - \sigma_\mu}{\sigma_\mu} \quad (4)$$

При невеликих відхиленнях математичного очікування μ від X_0 частка дефектних виробів може практично не зростати, особливо при високій точності технологічного процесу. Але при деяких великих відхиленнях частка дефектних виробів може досягти недопустимого

величини. Тому завданням приймального контролю буде виявлення партій продукції, виготовлених в умовах дії систематичних відхиляючих факторів, що призводять до недопустимого відхилення математичного очікування. Як відомо, оцінкою математичного очікування є середнє арифметичне, тому контроль за кількісною ознакою полягає у обчисленні середнього арифметичного значення контрольованого параметра виробів вибірки і порівнянні його з певними границями, які назвемо границями бракування. Планування контролю буде полягати у визначенні границь бракування та обсягу вибірки.

Споживача цікавить частка дефектних виробів в партіях продукції, що йому надходять від виготовлювача. Тому в договорі на постачання вказують граничне значення частки дефектних виробів в партіях продукції задовільної якості q_r . Для планування контролю необхідно визначити відповідне граничне відхилення математичного очікування $\Delta\mu_r$. З цією метою використаємо (1).

$$q_r = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \int_{X_1}^{X_2} \exp\left\{-\frac{(x - X_0 - \Delta\mu_r)^2}{2\sigma_0^2}\right\} dx, \quad (5)$$

де X_1 та X_2 – відповідно нижня та верхня границі поля допуску. Це рівняння лише одного невідомого – $\Delta\mu_r$, але розв'язується воно тільки наближеними методами, тому перейдемо до нормованої і центрованої змінної:

$$\delta = \frac{x - X_0}{\sigma_0}$$

та введемо позначення:

$$K_\delta = \frac{\Delta\mu_r}{\sigma_0}. \quad (6)$$

Тоді вираз (5) можна записати з використанням функції Лапласа:

$$q_r = 1 - \Phi_0(3K_T - K_\delta) - \Phi_0(3K_T + K_\delta)$$

За цим виразом складено таблицю 1 значень K_δ як функції значень K_T та q_r .

Величина K_δ використовується для встановлення границь бракування. Справа в тому, що середнє арифметичне є незміщеною оцінкою математичного очікування з похибкою, що відповідає нормальному закону розподілу з математичним очікуванням μ , тому границі бракування повинні збігатися з граничними значеннями μ , оскільки при цьому в середньому похибка в оцінці якості контрольованих партій буде мінімальна.

Таблиця 1

qг	K _r										
	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25
0,004	-	-	-	-	-	-	0,50	0,67	0,79	0,86	1,09
0,005	-	-	-	-	-	-	0,58	0,75	0,88	1,03	1,16
0,006	-	-	-	-	-	0,51	0,65	0,80	0,95	1,07	1,20
0,008	-	-	-	-	-	0,58	0,72	0,89	1,03	1,14	1,27
0,010	-	-	-	-	0,50	0,68	0,82	0,98	1,14	1,27	1,42
0,012	-	-	-	-	0,57	0,74	0,88	1,04	1,20	1,32	1,49
0,015	-	-	-	0,51	0,67	0,83	0,99	1,15	1,29	1,41	1,59
0,020	-	-	-	0,63	0,79	0,95	1,08	1,24	1,40	1,52	1,66
0,030	-	0,50	0,65	0,82	0,97	1,12	1,27	1,42	1,57	1,68	-
0,040	-	0,63	0,79	0,95	1,09	1,25	1,41	1,55	1,67	-	-
0,050	0,58	0,75	0,90	1,05	1,21	1,35	1,51	1,65	-	-	-
0,060	0,69	0,83	0,99	1,17	1,29	1,45	1,61	-	-	-	-
0,080	0,83	0,99	1,14	1,29	1,45	1,60	-	-	-	-	-
0,100	0,96	1,11	1,27	1,42	1,57	1,72	-	-	-	-	-

Обсяг вибірки визначає достовірність контролю, тому його необхідно вибирати за критерієм ймовірності прийняття вірних рішень. Для цього запишемо вираз для оперативної характеристики, яка буде визначати ймовірність невиходу вибіркового середнього за границі бракування. Закон розподілу вибіркового середнього арифметичного, як зазначалось, відповідає нормальному закону розподілу з середнім квадратичним відхиленням в \sqrt{n} разів меншим за середнє квадратичне відхилення контрольованого параметра. Тому

$$I(\mu) = \frac{\sqrt{n}}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \int_{X_{ГН}}^{X_{ГВ}} \exp\left\{-\frac{(x-\mu)^2 n}{2\sigma_0^2}\right\} dx,$$

а функція прийняття вірних рішень буде

$$\psi(\mu) = \begin{cases} I(\mu) & \text{при } X_{ГН} \leq \mu \leq X_{ГВ} \\ 1 - I(\mu) & \text{при } X_{ГВ} < \mu < X_{ГН} \end{cases}$$

де $X_{ГН}$ та $X_{ГВ}$ – відповідно нижня та верхня границі бракування. Закон розподілу значень математичного очікування визначається з (3). Ймовірність прийняття вірних рішень визначається за виразом

$$P_n = 2 \int_0^1 \psi(\mu) \varphi(\mu) d\mu. \quad (7)$$

Це рівняння з одним невідомим – обсягом вибірки n і розв'язується воно наближеними методами, з використанням яких отримано наближені формули для обчислення обсягу вибірки. Ці формули дають достатню точність і наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

K_c	K_6				
	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
0,5	$\frac{1,04}{0,940 - P_{II}}$	$\frac{0,69}{0,948 - P_{II}}$	$\frac{0,54}{0,960 - P_{II}}$	$\frac{0,47}{0,980 - P_{II}}$	$\frac{0,38}{0,994 - P_{II}}$
0,3	-	$\frac{0,69}{0,925 - P_{II}}$	$\frac{0,59}{0,931 - P_{II}}$	$\frac{0,52}{0,945 - P_{II}}$	$\frac{0,44}{0,954 - P_{II}}$
0,1	-	-	$\frac{0,59}{0,927 - P_{II}}$	$\frac{0,54}{0,934 - P_{II}}$	$\frac{0,48}{0,940 - P_{II}}$

Продовження таблиці 2

K_c	K_6			
	1,2	1,3	1,4	1,5
0,5	$\frac{0,29}{1,00 - P_{II}}$	-	-	-
0,3	$\frac{0,37}{0,965 - P_{II}}$	$\frac{0,30}{0,973 - P_{II}}$	-	-
0,1	$\frac{0,40}{0,942 - P_{II}}$	$\frac{0,35}{0,950 - P_{II}}$	$\frac{0,28}{0,953 - P_{II}}$	$\frac{0,24}{0,961 - P_{II}}$

Таким чином планування контролю за кількісною ознакою полягає в наступному.

1. В порядку укладання угоди на постачання встановлюють величину граничного значення частки дефектних виробів у партіях продукції задовільної якості q_r .

2. Методами статистичного аналізу перевіряється відповідність значень контрольованого параметра нормальному закону розподілу з визначенням середнього квадратичного відхилення значень контрольованого параметра при відсутності систематичних відхилень σ_0 та середнього квадратичного відхилення значень математичного очікування контрольованого параметра σ_{μ} .

3. За виразом (5) визначається півширина між границями бракування $\Delta_{\mu r}$, або за виразом (2) визначається коефіцієнт точності і за таблицею 1 – коефіцієнт границь бракування K_6 . Границі бракування визначаються за виразами:

$$X_{ГВН} = X_0 - K_6 \sigma_0;$$

$$X_{ГВВ} = X_0 + K_6 \sigma_0.$$

4. Методами техніко-економічного аналізу встановлюється бажане значення ймовірності прийняття вірних рішень P_{II} .

5. Обсяг вибірки визначається розв'язанням рівняння (7), або за виразом (4) визначається коефіцієнт стабільності і з використанням його значення та значення K_6 за таблицею 2 відбирається вираз для обчислення обсягу вибірки.

2. Порядок виконання роботи

1. В залежності від варіанта запропонованих вхідних даних встановити план контролю за кількісною ознакою.
2. В залежності від варіанта даних до п.1 встановити план двоступеневого контролю за альтернативною ознакою і порівняти його з планом п.1.
3. За даними варіанта до п.1 (крім P_{II}) розрахувати таблицю залежності ймовірності прийняття вірних рішень від обсягу вибірки.
4. Побудувати графік залежності за таблицею п.3.
5. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

За бажанням студента розрахунки плану контролю можуть здійснюватись як шляхом використання аналітичних залежностей, так і з використанням таблиць. Таблиці складено таким чином, що проміжні значення досить точно визначаються шляхом лінійної екстраполяції.

При порівнянні плану контролю за кількісною ознакою і за альтернативною ознакою слід мати на увазі, що частка дефектних виробів в підготовлених до контролю партіях продукції відповідає експоненціальному закону розподілу. Математичне очікування частки дефектних виробів цього закону можна визначити за виразом:

$$q_m = 1 - \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \int_0^{\infty} \exp\left\{-\frac{(x - X_0)^2}{2\sigma^2}\right\} dx,$$

де σ - середнє квадратичне відхилення значень контрольованого параметра за тривалий період з урахуванням як випадкових, так і системних відхилень, яке може бути визначене за правилом додавання дисперсій:

$$\sigma^2 = \sigma_0^2 + \sigma_n^2$$

Можна застосувати таблицю функції Лапласа $\Phi_0(t)$:

$$q_m = 1 - 2\Phi_0\left(\frac{\Delta X}{\sigma}\right)$$

Фрагмент таблиці функції Лапласа наведено в табл.9 додатка. В усіх випадках вхідних даних передбачається симетричне поле допуску, тобто

$$X_0 = \frac{X_1 + X_2}{2}$$

Варіанти вхідних даних

	№ варіанта										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$q_0, \%$	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7
σ_n	4,12	2,17	1,88	1,41	1,68	3,24	2,24	2,12	1,74	2,18	1,38
σ_p	2,06	1,30	1,32	1,13	1,51	1,62	1,34	1,48	1,39	1,34	0,69
X_1	12,3	8,12	18,2	7,62	6,21	22,4	18,2	9,18	24,2	30,2	14,4
X_2	40,7	23,7	31,2	17,8	17,8	44,8	34,3	23,8	36,2	45,2	24,4
P_{II}	0,94	0,93	0,91	0,92	0,93	0,95	0,96	0,93	0,93	0,91	0,96

	№ варіанта										
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
$q_1\%$	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
σ_0	2,42	1,54	2,42	1,18	2,46	1,82	2,14	1,94	1,66	1,76	2,06
σ_{μ}	1,45	1,08	1,94	1,06	1,23	0,97	1,50	1,55	1,33	1,23	1,04
X_1	22,5	18,5	16,8	12,2	22,4	12,4	18,6	22,4	18,8	18,4	20,2
X_2	38,5	29,2	32,8	20,3	40,1	23,8	32,1	35,2	30,2	31,0	34,4
P_{II}	0,92	0,92	0,91	0,91	0,97	0,92	0,91	0,91	0,92	0,94	0,97

Контрольні питання

1. Випадкові відхиляючі фактори і наслідок їх дії.
2. Систематичні відхиляючі фактори і наслідок їх дії.
3. Коефіцієнт точності технологічного процесу.
4. Коефіцієнт стабільності технологічного процесу.
5. Закон розподілу контрольованих параметрів.
6. Закон розподілу математичного очікування контрольованого параметра.
7. Встановлення границь бракування.
8. Встановлення обсягу вибірки.
9. Порядок планування контролю за кількісною ознакою.

ПЛАНУВАННЯ ВИПРОБУВАНЬ НА НАДІЙНІСТЬ

МЕТА роботи: дослідження ефективності планів контрольних випробувань на надійність.

1. Короткі теоретичні відомості [1,6]

Випробування на надійність поділяються на визначальні і контрольні. Визначальні або ресурсні виконують з метою отримання показників і параметрів надійності (див. лаб. роб. № 1 і № 2), які використовують як довідковий матеріал. Контрольні випробування менш довготривалі і їх результати використовують для коригування технологічного процесу з метою підвищення надійності виробів. Контрольні випробування поділяють на випробування на довговічність і випробування на безвідмовність. Перші з них проводять протягом, як правило, гарантованого строку служби. Другі – протягом не більше 1000 годин з розрахунку шоквартального випробування.

Випробування на безвідмовність – це скорочені в часі і прискорені за режимом випробування, покликані давати оперативну інформацію про стан технологічного процесу. При незадовільних результатах цих випробувань відвантаження продукції споживачеві призупиняється, розробляються організаційно-технічні заходи з відшукування і ліквідації причин погіршення надійності виробів. Після виконання розроблених заходів виготовляється партія виробів з яких відбирається вибірка для повторних випробувань і при задовільних їх результатах відвантаження продукції відновлюється, але виробів, виготовлених після виконання розроблених заходів.

Як видно з вищенаведеного, при низькій достовірності випробувань на безвідмовність можуть спостерігатись значні економічні втрати: при отриманні задовільних результатів при недостатній надійності виробів споживачеві надійде ненадійна продукція, а при незадовільних результатах, коли надійність продукції насправді висока, підприємство-виготовлювач несе прямі і суттєві збитки. Тому планування випробувань на надійність є відповідальною справою.

Планування контрольних випробувань на надійність виконують з використанням параметра надійності у вигляді інтенсивності відмов, який для виробів електронної техніки є практично постійною величиною і, відповідно, з ймовірністю безвідмовної роботи, що відповідає експоненціальному закону. Для планування випробувань використовують середні значення інтенсивності відмов λ_c , яка визначається за результатами визначення середнього рівня надійності (для шойно освоєного виробу можна використати параметр надійності найближчого аналога, що випускається на цьому ж підприємстві). За погодженням зі споживачем в порядку укладання угоди на постачання встановлюється

також гарантоване значення інтенсивності відмов λ_r . Звичайно, встановлюють за умови $\lambda_c > \lambda_r$.

Випробування на надійність є вибірковими випробуваннями і плануватись вони повинні аналогічно вибірковому контролю якості (див. лаб. роб. № 9 та № 10). Тому для планування випробувань необхідно встановити граничне значення частки ненадійних виробів у виготовлюваній продукції, що відмовляють впродовж часу випробувань t_B . Виходячи з визначення інтенсивності відмов:

$$q_r = \lambda_r t_B \quad (1)$$

Якщо використовуються прискорені методи випробувань з коефіцієнтом прискорення K_p , то

$$q_r = K_p \lambda_r t_B \quad (2)$$

Найчастіше випробування виконують при недопустимості відмов для задовільного результату. Особливо це стосується випробувань на безвідмовність (звідси походить і назва випробувань). Тому кількість випробовуваних виробів визначається за виразом:

$$n = \frac{0,69}{q_r} \quad (3)$$

як для контролю якості продукції. Тут обсяг партії не враховується, оскільки оцінюється не партія продукції, а вся виготовлена продукція.

Як правило, підприємство має готове устаткування для проведення випробувань, розраховане на одночасне випробування певної кількості виробів n , тому з метою повного використання обладнання можна визначити час випробувань, підставляючи (3) в (2) (або в (1)) отримасмо:

$$t_B = \frac{0,69}{K_p \cdot n \cdot \lambda_r} \quad (4)$$

Достовірність випробувань при недопустимості відмов досить низька і визначається виразом.

$$P_n = 0,72 + \frac{0,03 \lambda_r}{\lambda_c} \quad (5)$$

Тут вважається, що в ході технологічного процесу рівень надійності в часі може змінюватись у відповідності з експоненціальним законом розподілу інтенсивності відмов.

Як видно з виразу (5), достовірність традиційного плану випробувань не дуже висока. Тому, при можливості, бажано застосувати випробування при допустимості однієї відмови. Тоді

$$n = \frac{1,68}{q_r} \quad (6)$$

$$t_B = \frac{1,68}{K_p \cdot n \cdot \lambda_r} \quad (7)$$

$$P_n = 0,78 + \frac{0,03 \lambda_r}{\lambda_c} \quad (8)$$

Можна застосувати план випробувань з двома допустимими відмовами, тоді

$$n = \frac{2,68}{q_r} \quad (9)$$

$$P_n = \frac{2,68}{K_n \cdot n \cdot \lambda_r} \quad (10)$$

$$P_n = 0,80 + \frac{0,03\lambda_r}{\lambda_r} \quad (11)$$

Випробування на безвідмовність можуть виконуватись за схемою двоступеневого контролю, очевидно за найпростішим планом: при відсутності відмов при перших випробуваннях вони вважаються задовільними, а при двох і більше відмовах – незадовільними. При одній відмові береться друга вибірка для випробувань. Обсяг вибірок визначається за виразами (лаб.роб. № 10):

$$n_1 = \frac{1,145}{q_r}, \quad n_2 = \frac{0,69}{q_r} \quad (12)$$

а час випробувань:

$$t_{n1} = \frac{1,145}{K_n \cdot n \cdot \lambda_r}, \quad t_{n2} = \frac{0,69}{K_n \cdot n \cdot \lambda_r} \quad (13)$$

та достовірність:

$$P_n = 0,753 + \frac{0,043\lambda_r}{\lambda_r} \quad (14)$$

Якщо при повторних випробуваннях зафіксовано хоча б одну відмову, то випробування вважаються незадовільними.

Якщо в повторних випробуваннях допустити одну відмову, тоді обсяг другої вибірки буде:

$$n_2 = \frac{1,68}{q_r} \quad (15)$$

а час повторних випробувань:

$$t_{n2} = \frac{1,68}{K_n \cdot n \cdot \lambda_r} \quad (16)$$

Достовірність випробувань в цьому випадку також зміниться:

$$P_n = 0,802 + \frac{0,032\lambda_r}{\lambda_r} \quad (17)$$

Оскільки повторні випробування будуть виконуватись не часто, то двоступеневі випробування можуть бути вигідними.

2. Порядок виконання роботи

1. Виходячи з варіанта вхідних даних дослідити залежність часу випробувань на безвідмовність від допустимої кількості відмов для одноступеневого і двоступеневого методів.

2. Дослідити залежність достовірності випробувань для планів п.1 в залежності від вибору граничного значення інтенсивності відмов.

3. Зробити висновки.

3. Методичні вказівки до виконання роботи

Оскільки варіантів планів випробувань небагато, то результати розрахунків досить записати у вигляді таблиці значень часу випробувань для недопустимості відмов при одноступеневих випробуваннях за (4), при одній допустимій відмові за (7), при двох допустимих відмовах за (10) та при двоступеневих випробуваннях при недопустимості відмов у повторних випробуваннях за (13) та при допустимості однієї відмови за (13) та (16). Не дивлячись на те, що повторні випробування при застосуванні двоступеневого методу будуть виконуватись не завжди, за час випробувань при застосуванні цього методу необхідно брати суму часу першого та повторного випробувань.

Як зазначалося, граничне (гарантоване) значення інтенсивності відмов встановлюється в порядку укладання договору на постачання, тому цікаво дослідити залежність достовірності випробувань від співвідношення встановлюваної інтенсивності до фактично досягнутої у вигляді середньої інтенсивності - λ_r/λ_c . При цьому $\lambda_r > \lambda_c$.

Дослідження достовірності випробувань доцільно проводити шляхом побудови залежності в табличній формі, а за даними таблиць будувати графічне зображення всіх кривих на одному графіку.

Варіанти вхідних даних

	№ варіанта										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$\lambda_c \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$	2,7	3,2	2,9	2,8	3,2	2,8	2,6	3,4	2,8	2,1	3,1
$\lambda_r \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$	4,2	5,1	4,8	4,4	5,2	4,6	4,3	5,2	4,5	3,9	4,4
K_{II}	16	18	17	16	17	15	16	18	17	15	18
n	200	180	160	200	180	160	150	200	160	150	200

	№ варіанта											
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	
$\lambda_c \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$	3,4	3,2	3,3	2,8	2,7	3,4	2,2	3,1	3,2	2,6	2,8	
$\lambda_r \cdot 10^{-7} \text{ год}^{-1}$	4,9	5,1	4,8	4,2	4,4	5,2	3,9	4,6	4,8	4,3	4,5	
K_{II}	17	16	18	17	16	18	17	16	18	16	17	
n	180	160	200	180	160	200	180	170	200	180	160	

Контрольні питання

1. Класифікація випробувань на надійність виробів електронної техніки.
2. Особливості проведення випробувань на безвідмовність.
3. Визначення обсягу випробувань при заданому часі випробувань.
4. Визначення часу випробувань при заданій місткості випробувального обладнання.

5. Достовірність одноступеневих випробувань і її залежність від кількості допустимих відмов.

6. Принцип двоступеневих випробувань.

7. Визначення параметрів плану двоступеневих випробувань.

8. Визначення достовірності двоступеневих випробувань.

Інтенсивність відмов конструктивних елементів ІМС

Найменування елемента	$\lambda \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$
Корпус метало-скляний	
2126.48-6	1,50
2123.40-6	1,00
2121.28-5	0,80
2130.24-1	0,70
2103.16-6	0,60
401.14-5	0,50
301.12-1	0,30
301.8-2	0,20
пластмасовий	3,00
З'єднання кристалу з основою	
клејове	1,00
контактол	0,60
евтектика	0,45
Дисперсійне паяння	
з кількістю виводів	
до 28	0,60
більше 28	0,80
Міжелементні з'єднання	
Термокомпресійне золото-алюміній	0,036
Ультразвукове алюміній-алюміній	0,018

Таблиця Д2

Енергія активації матеріалу елемента

Елемент конструкції	E_a еВ
Корпус	
Метало-керамічний	0,3
метало-скляний	0,3
пластмасовий	0,5
З'єднання кристалу з основою на	
евтектиці	0,3
клејове	0,6
Дротяні з'єднання	
золото-алюміній на кристалі	0,65
золото-алюміній на траверсі	0,5
алюміній-алюміній	0,3
Інші елементи	0,6

Значення коефіцієнта впливу режиму роботи виробу

Температура елемента °С	K _н									
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
25	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,29	0,36	0,47	0,66	0,97
30	0,13	0,16	0,19	0,22	0,26	0,31	0,39	0,52	0,75	1,11
40	0,15	0,18	0,21	0,24	0,29	0,36	0,47	0,66	1,00	1,55
50	0,17	0,20	0,23	0,28	0,34	0,43	0,58	0,85	1,38	-
55	0,18	0,21	0,24	0,29	0,36	0,47	0,66	1,00	1,56	-
60	0,19	0,22	0,26	0,31	0,39	0,52	0,76	1,20	-	-
65	0,20	0,23	0,28	0,34	0,43	0,58	0,88	1,45	-	-
70	0,21	0,24	0,29	0,36	0,47	0,66	1,00	-	-	-
75	0,22	0,26	0,31	0,39	0,52	0,76	1,22	-	-	-
80	0,23	0,28	0,34	0,43	0,58	0,85	1,50	-	-	-
85	0,24	0,29	0,36	0,47	0,66	1,00	-	-	-	-
90	0,26	0,31	0,39	0,52	0,75	1,21	-	-	-	-
95	0,28	0,34	0,43	0,58	0,88	1,53	-	-	-	-
100	0,29	0,36	0,47	0,65	1,00	-	-	-	-	-
110	0,34	0,42	0,58	0,88	1,43	-	-	-	-	-
120	0,39	0,52	0,75	1,22	-	-	-	-	-	-
125	0,43	0,58	0,88	1,50	-	-	-	-	-	-
130	0,47	0,66	1,00	-	-	-	-	-	-	-
135	0,52	0,76	1,18	-	-	-	-	-	-	-
140	0,58	0,88	1,39	-	-	-	-	-	-	-
145	0,66	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-
150	0,76	1,10	-	-	-	-	-	-	-	-
155	0,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-
160	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-

K_н – коефіцієнт електричного навантаження

$$K_{н} = \frac{U_{ед}}{U_{проб}}$$

де U_{ед} – напруга, прикладена до елемента,U_{проб} – пробивна напруга елемента.

Таблиця Д4

Інтенсивність відмов елемента кристала

Елемент	λ · 10 ⁻⁸ год ⁻¹
1	2
Біполярний транзистор з ізоляцією p-n-переходом	0,75
те ж на кремнії з діелектричною ізоляцією	0,90
те ж на електронно-дірковому кремнії	1,20
Електронний перехід (діод, резистор, конденсатор)	

Продовження таблиці Д4

1	2
з ізоляцією р-п-переходом	0,45
з діелектричною ізоляцією	0,53
на електронно-дірковому кремнії	0,70
Польовий транзистор з р каналом	
в ІМС 2-го ступеня інтеграції	0,43
в ІМС 3-го ступеня інтеграції	0,143
в ІМС 4-го ступеня інтеграції	0,0124
КМОН транзистор в ІМС 4-го ступеня інтеграції	0,015
Металізація алюмінієм (на кожні 1 мм ²)	
при ширині доріжки більше 10 мкм	0,20
те ж 5-10 мкм	0,40
те ж 3-5 мкм	0,80
те ж 1-5 мкм	1,60
Інші відмови ІМС	
1-3 ступеня інтеграції	0,20
4-6 ступеня інтеграції	0,40

Таблиця Д5

Параметри конструктивних елементів напівпровідникових приладів

Елемент	Конструктивна особливість	$\lambda \cdot 10^{-8} \text{ год}^{-1}$	E_a	α_c
Корпус	Метало-керамічний паяний	0,20	0,3	Чисельно дорівнює довжині шва в мм
	Те ж клеєний	0,40	0,5	Те ж
	Метало-скляний	0,20	0,3	Те ж
	Пластмасовий	0,80	0,5	Чисельно дорівнює площі поверхні в мм ²
З'єднання кристала	Евтектика	0,05	0,3	Чисельно дорівнює площі в мм ²
	Клейове	0,1	0,6	Те ж
	М'який припій	0,07	0,4	Те ж
Дротяні з'єднання	Золото-алюміній на кристалі	0,03	0,65	Чисельно дорівнює площі в мм ²
	Золото-алюміній на траверсі	0,03	0,50	Те ж
	Алюміній-алюміній	0,015	0,30	Те ж
Кристал	Дефекти кристала	0,10	0,40	Чисельно дорівнює об'єму в мм ³

Таблиця Д6

Значення коефіцієнта впливу зовнішніх механічних факторів

Ступінь жорсткості	Умови експлуатації	k_i
0	Лабораторні умови	1,00
1	Польові умови	1,07
2	Корабельна апаратура	1,37
3	Апаратура автомобільного транспорту	1,46
4	Апаратура залізничного транспорту	1,54
5	Апаратура повітряного транспорту	1,65

Таблиця Д7

Значення коефіцієнта впливу кліматичних факторів

Ступінь жорсткості	Вологість повітря %	Температура °C	k_i
0	60-70	20-40	1,0
1	90-98	20-25	2,0
2	90-95	30-40	2,5

Таблиця Д8

Фрагмент таблиці функцій Лапласа $\Phi_0(t)$

t	$\Phi_0(t)$	t	$\Phi_0(t)$	t	$\Phi_0(t)$	t	$\Phi_0(t)$	t	$\Phi_0(t)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,61	0,4465	1,83	0,4665	2,05	0,4800	2,27	0,4885	2,49	0,4935
1,62	0,4475	1,84	0,4670	2,06	0,4805	2,28	0,4885	2,50	0,4940
1,63	0,4475	1,85	0,4680	2,07	0,4810	2,29	0,4890	2,51	0,4940
1,64	0,4495	1,86	0,4685	2,08	0,4810	2,30	0,4895	2,52	0,4940
1,65	0,4511	1,87	0,4695	2,09	0,4815	2,31	0,4895	2,53	0,4945
1,66	0,4515	1,88	0,4700	2,10	0,4820	2,32	0,4900	2,54	0,4945
1,67	0,4526	1,89	0,4705	2,11	0,4825	2,33	0,4900	2,55	0,4945
1,68	0,4535	1,90	0,4715	2,12	0,4830	2,34	0,4905	2,56	0,4950
1,69	0,4545	1,91	0,4720	2,13	0,4835	2,35	0,4905	2,57	0,4950
1,70	0,4555	1,92	0,4725	2,14	0,4840	2,36	0,4910	2,58	0,4950
1,71	0,4565	1,93	0,4730	2,15	0,4840	2,37	0,4910	2,59	0,4950
1,72	0,4575	1,94	0,4740	2,16	0,4845	2,38	0,4915	2,60	0,4955
1,73	0,4580	1,95	0,4745	2,17	0,4850	2,39	0,4915	2,61	0,4955
1,74	0,4590	1,96	0,4750	2,18	0,4855	2,40	0,4920	2,62	0,4955
1,75	0,4600	1,97	0,4755	2,19	0,4855	2,41	0,4920	2,63	0,4955
1,76	0,4610	1,98	0,4760	2,20	0,4860	2,42	0,4920	2,64	0,4960
1,77	0,4614	1,99	0,4765	2,21	0,4865	2,43	0,4925	2,65	0,4960
1,78	0,4625	2,00	0,4775	2,22	0,4870	2,44	0,4925	2,66	0,4960

Продовження таблиці Д8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1.79	0.4635	2.01	0.4780	2.23	0.4870	2.45	0.4930	2.67	0.4960
1.80	0.4640	2.02	0.4785	2.24	0.4875	2.46	0.4930	2.68	0.4965
1.81	0.4650	2.03	0.4790	2.25	0.4880	2.47	0.4930	2.69	0.4965
1.82	0.4655	2.04	0.4795	2.26	0.4880	2.48	0.4935	2.70	0.4965

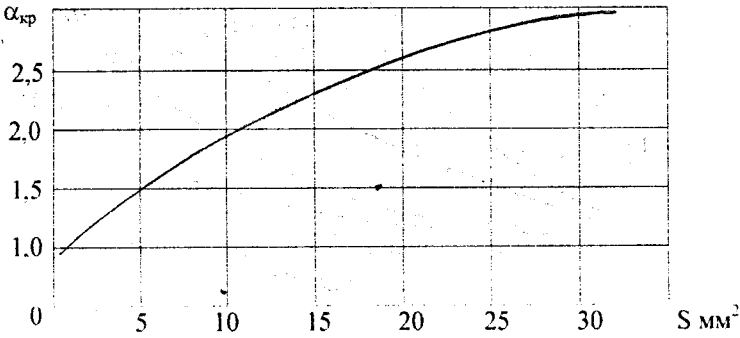


Рис. Д1

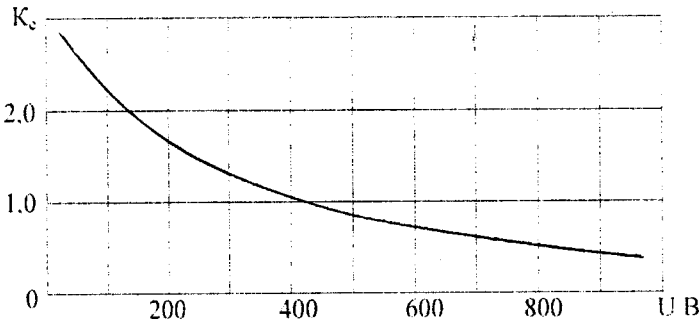


Рис. Д2

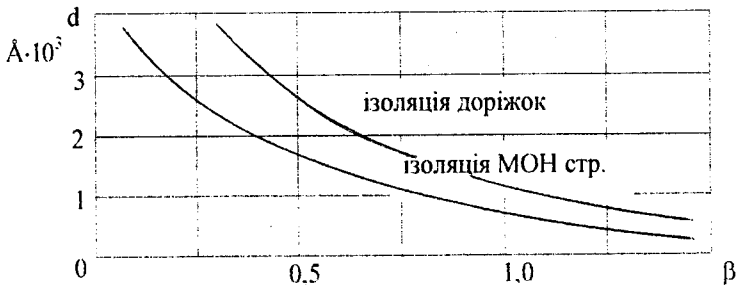


Рис. Д3

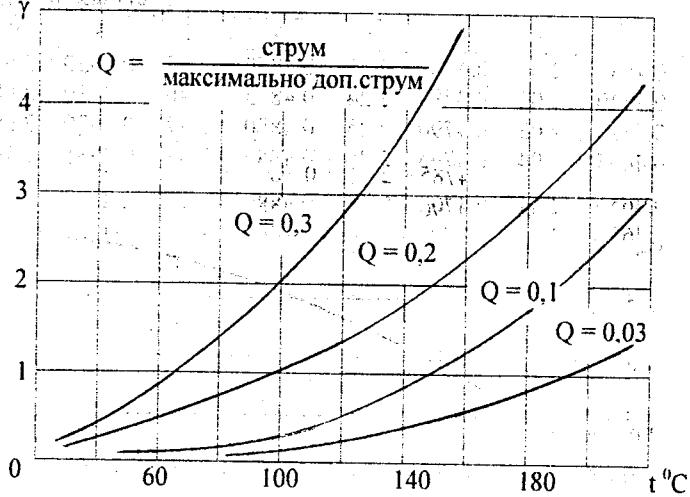


Рис. Д4

Література

1. Кичак В.М., Федун І.В. Надійність та контроль якості виробів електронної техніки. – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 122 с.
2. Барділо А.-П.І., Тріш Г.Г. Основи теорії надійності. – Львів: ЛПІ, 1991. – 100 с.
3. Калінін В.І., Костюк О.А., Грудін А.А., Математичні моделі та методика оцінки експлуатаційної надійності елементів і виробів електронної техніки. – Вінниця: ВДТУ, 1999. – 121 с.
4. Чернишев А.А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. – М.: Радио и связь, 1988. – 255 с.
5. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. М.: Наука, 1984. – 328 с.

Навчальне видання

Федун Ігор Васильович

**ОСНОВИ ТЕОРІЇ НАДІЙНОСТІ ТА КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ
ВИРОБІВ ЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ**

Лабораторний практикум

Навчальний посібник

Оригінал-макет підготовлено автором

Редактор В.О. Дружиніна
Коректор З.В. Поліщук

Навчально-методичний відділ ВДТУ
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК №746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ

Підписано до друку 24.06.2003р. Гарнітура Times New Roman
Формат 29,7x42,1/4 Папір офсетний
Друк різнографічний Ум. друк. арк. 2,9
Тираж 85 прим.
Зам. № 2003 - 167

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
серія ДК №746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95, ВДТУ