

Анна Андонова, Наташа Атанасова, Никола Йорданов,
Димитър Димитров, Валентин Видеков

**Ръководство
за лабораторни и семинарни
упражнения
по**

***Качество и надеждност на
електронна апаратура***

София, 2005

ПРЕДГОВОР

Учебният предмет "Качество и надеждност на електронна апаратура - КНЕА" за бакалаври по електроника от ФЕТТ на ТУ - София като съдържание и тематика е нова. Безусловен принос за формирането и утвърждаването основите на дисциплината в учебния план бяха изградени от проф. д-н Ф. Филипов и доц. д-р А. Атанасов.

Непрекъснатото усъвършенстване на електронните изделия и намаляване на сроковете за тяхната разработка и внедряване при повишени изисквания към качеството и надеждността им прави предмета необходим и актуален. За съжаление в ограничения обем от упражнения не е възможно да се изследват обстойно всички аспекти на качеството и надеждността за добиване на необходимите умения за инженера по качество и надеждност. Скромната задача, която си поставят авторите с Ръководството за лабораторни и семинарни упражнения е да се разгледат и възприемат по-задълбочено някои основни методи, прилагани при контрола на качеството; както и да се усвоят по-важните методи за ускорени изпитвания, оценка, прогнозиране и повишаване на надеждността на електронни компоненти и системи.

Настоящото ръководство е разработено в съответствие с Дизайна на предмета КНЕА. То се използва пълноценно с помощната информация от уеб-сайта на дисциплината [25]. Там се намират таблици, номограми, подробни описания за работа със специално разработени софтуерни продукти за различни модели използвани в някои упражнения и други допълнителни указания за изпълнение на задачите. Всеки студент има достъп, представен му от преподавателя до тази помощна информация и с това той е длъжен да посещава занятията само след като предварително се е подготвил за тях. Протоколите от лабораторните и самостоятелните задачи от семинарните упражнения могат да се изпращат по интернет и чрез форума в сайта да се обсъждат възникналите проблеми.

Целта, която авторите са си поставили е да се развие такава форма на преподаване, при която да се комбинират упражненията с допълнително електронно обучение по интернет. Амбицията на колектива е да бъдат стимулирани студентите към по висока ангажираност за самоподготовка.

Лабораторните и семинарните упражнения са под редакцията на доц. д-р А. Андонова, като лаб. упр. № 4, 6 и № 7, и сем. упр. № 1+6 са написани от доц. А. Андонова, лаб. упр. № 1+3 и № 5 са написани от ас. Н. Атанасова, лаб. упр. № 8 от гл.ас. д-р Н. Йорданов, сем. упр. № 7 от доц. д-р В. Видеков и сем. упр. № 8 от маг. Д. Димитров.

Авторите изказват благодарност на рецензента доц. д-р З. Хлеббаров за полезните забележки и съвети, които допринесоха много за подобряване на ръководството.

Всички критични забележки и препоръки ще се приемат с благодарност на форума на сайта <http://ecad.tu-sofia.bg>.

Авторите

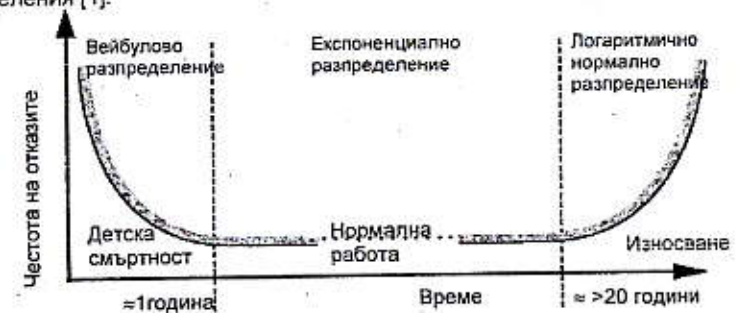
АНАЛИЗ НА ДАННИ ОТ ИЗПИТВАНИЯ ЗА НАДЕЖДНОСТ

I. Цел на упражнението

Анализ на данни за времето на живот от изпитвания на електронни изделия за надеждност.

II. Теоретична част

Честота на отказ на електронните изделия графично се представя чрез кривата на фиг. 1.1. Всяка от маркираните характерни области се моделира чрез различна функция на надеждността. Трите основни непрекъснати разпределения представляващи интерес при характеризиране на надеждността на електронни изделия са: Вейбулово, експоненциално, логаритмично и логаритмично – нормално разпределения [1].



Фиг. 1.1. Крива на честотата на отказите

Кратко описание на споменатите разпределения е направено в таблица 1.1.

Табл. 1.1. Приложимост на различни разпределения

Разпределение	Приложимост
Вейбул	Може да описва и трите области на фиг. 1.1. Използва се предимно в микроелектрониката за моделиране на отказите от детска смъртност. Трипараметричен модел, но обикновено само два от параметрите се използват (третият параметър представлява преместване във времето – параметър на разположението). Подходящ за анализ на данни от ускорени тестове.
Експоненциално	Константна честота на отказите. Описва само областта на нормална работа от фиг. 1.1. Еднопараметричен модел.
Логаритмично – нормално	Двупараметрично разпределение. Може да описва и трите области на фиг. 1.1. Използва се в микроелектрониката за моделиране на износване на компонентите. Заменя времето до отказ с неговия логаритъм. Подходящ за анализ на данни от ускорени тестове.
Нормално	Двупараметричен модел с камбановидна форма. Използва се в процеса на мониторинг и при изготвяне на контролни карти.

Статистическите модели за изготвянето на прогнози основно разчитат на данните за надеждност. Данните се разделят на две категории в зависимост от пълнотата им: пълни данни и цензурирани. Цензурираните данни от своя страна се

разделят на: дясно цензурирани, ляво цензурирани и интервални. С пълните данни се работи по-лесно отколкото с цензурираните и прогнозата е по-точна.

Графичният метод за оценка на параметрите на разпределенията е най-лесен от математическа гледна точка, но с най-малка точност. Изразява се в нанасяне на данните върху специална за тази цел хартия. Методът изисква линеализиране на кумулативната функция на разпределението [7].

За определяне на ординатните стойности на вероятностната графика може да се използва метода на средните рангове [17]. Той се използва за оценка на ненадеждността $Q(T) = F(T)$ за всеки отказ. Това е действителната стойност на вероятността за поява на j -я отказ за съвкупност от N изделия на 50% доверително ниво. Методът дава най-добрата оценка за ненадеждността. Рангът може да бъде намерен в проценти за всяка точка P , по-голяма от 0 и по-малка от 1, решавайки биномното разпределение за Z . Рангът представлява ненадеждността оценка за j -я отказ:

$$P = \sum_{k=j}^N \binom{N}{k} Z^k (1-Z)^{N-k} \quad (1.1)$$

където N е размерът на извадката, а j е поредният номер.

Средният ранг се получава чрез решаване на уравнение (1.1) за Z при $P = 0,50$

$$0,50 = \sum_{k=j}^N \binom{N}{k} Z^k (1-Z)^{N-k} \quad (1.2)$$

По-прък и лесен метод за оценка на средните рангове е чрез прилагане на две трансформации на уравнение (1.2), първо на бета разпределение и след това на F разпределение:

$$MR = \frac{1}{1 + \frac{N-j+1}{j} F_{0,50,m,n}} \quad \begin{matrix} m = 2(N-j+1) \\ n = 2j \end{matrix} \quad (1.3)$$

където $F_{0,50,m,n}$ е означено F -разпределението за $P = 0,50$ с m и n - степените на свобода за j -я отказ от N изделия.

Най-лесна и най-малко точна апроксимация на средните рангове се получава чрез уравнението на Бенард:

$$MR = \frac{j - 0,3}{N + 0,4} \quad (1.4)$$

Методът на най-малките квадрати (регресионен анализ) за оценка на параметрите на разпределенията "нагажда" възможно най-добрата права линия през данните, така че сумата от квадратите на разстоянията от точките до правата да е минимална. Минимизацията може да се изпълнява в двете посоки – вертикална (Y регресия) и хоризонтална (X регресия) [4]. Методът на най-малките квадрати е доста добър за функции, които могат да се линеализират. Всички разпределения използвани при анализа на данни за живота на изделията могат да се линеализират с изключение на смесеното вейбулово разпределение. Този метод е най-добрият при анализ на пълни данни.

Основната задача на инженера по надеждност е да определи вероятността за отказ или надеждността на популацията от изделия. Обаче точната стойност на надеждността на популацията е неизвестна, тъй като се анализират само данните получени от извадка. Ако се изпълнят 10 различни тестове за надеждност и се анализират резултатите се получават незначително малки разлики за параметрите на разпределението и незначително малки разлики за надеждността. Когато се използват доверителни интервали може да се получи обхвата, в който стойностите на надеждността е вероятно да лежат за определен период от време. Това помага

да се оцени точността на получените оценки. Винаги трябва да се взема предвид, че всеки получен параметър е оценка на действителната му стойност, която е неизвестна за нас. Обхватът от правдоподобни стойности на параметъра се нарича доверителен интервал. Например, когато се работи с 90% двустранен доверителен интервал това означава, че 90% от популацията лежи между X и Y . Има два типа едностранни доверителни граници – горна и долна доверителна граница.

III. Задачи за изпълнение

1. Да се оценят по графичния метод параметрите на Вейбулово разпределение на времената на отказ при изпитване на извадка от ИС. Да се намери надеждността на ИС за 80-я час от времето на живот.

2. За данните от задача 1 да се начертае 90%-вата доверителна област и да се определи каква част от съвкупността ще откаже до зададен час с 90% доверителна вероятност и в какви граници 50% от съвкупността ще откаже с 90% доверителна вероятност. Да се определи също и до кой час 50% от съвкупността ще откаже с 95% доверителна вероятност

3. Да се оценят параметрите на Вейбулово разпределение за данните от изпитване на ИС от задача 1 по регресионния метод, използвайки специално разработена програма. Да се построи функцията на надеждността, функцията на плътностите на вероятностите и кумулативната функция. Да се сравнят оценките на параметрите получени по графичния и регресионния методи.

4. Да се оценят по графичния метод параметрите на експоненциалното разпределение на времена на отказ при изпитване на извадка от ХИС. Да се намери надеждността на ХИС за зададен час. Да се начертае 90%-вата доверителна област. Да се определи каква част от съвкупността ще откаже до зададения час с 90% доверителна вероятност. Да се определи в какви граници 50% от съвкупността ще откаже с 90% доверителна вероятност и до кой час 50% от съвкупността ще откаже с 95% доверителна вероятност.

5. Да се оценят параметрите на експоненциалното разпределение за ХИС от задача 4 по регресионния метод. Да се построи функцията на надеждността, функцията на плътностите на вероятностите и кумулативната функция. Да се сравнят оценките на параметрите получени по двата метода – графичен и регресионен.

IV. Указания за работа

По задача 1:

За целта се използва специална Вейбулова хартия от сайта на дисциплината (www.ecad.tu-sofia.bg/knea). Първо данните се подреждат във възходящ ред. По X оста на координатната мрежа се нанасят времената на отказ, а по Y - съответните стойности на интегралната функция на разпределение (средният ранг). За пресмятане на средния ранг се използва уравнението на Бенард. Параметрите на разпределението се намират като се следват инструкциите в сайта. За да се намери надеждността на ИС за X -ти час е необходимо да се издигне перпендикулярен съответния час. Там където той се пресича с оригиналната линия на Вейбул се построява права успоредна на абсцисната ос и от пресечната точка на тази права с Y оста се отчита стойността на интегралната функция на разпределение. Отчетената стойност се изважда от единица и се получава стойността за надеждността.

По задача 2

При нанасяне на данните върху Вейбуловата хартия се използват непараметричните доверителни граници, които се получават от таблици намиращи

се в сайта. В таблиците са дадени 5% и 95%-ните рангови стойности за различен обем на извадката. Тези стойности се нанасят по оста Y , а по оста X са отново времената на отказ. Така се получават две линии, които очертават 90% доверителна област. За да се определи каква част от съвкупността ще откаже до X -я час с 90% доверителна вероятност се използват инструкциите в сайта. За да се разбере в какви граници 50% от съвкупността ще откаже, се построява права на височина 50%. От пресечните точки на тази права с линиите за доверителните граници се построяват две прави успоредни на ординатната ос. От пресечните им точки с абсцисата се отчита интервала от време в който с 90% доверителна вероятност може да се твърди че 50% от съвкупността ще откаже.

По задача 3

Използва се програма за оценка на параметрите за различни разпределения. Избира се работна страница "Вейбул" и в колона "А" се попълва поредния номер на отказа, а в колона "В" - времената на отказ. Избира се команден бутон "Изчисли параметрите" и изчисленият параметър на формата се отчита от клетка "L3", а мащабният параметър от клетка "M3". За да се построи функцията на надеждността се избира команден бутон "Изчертай RF". За да се построи функцията на плътностите на вероятностите се избира команден бутон "Изчертай PDF", а за кумулативната функция - команден бутон "Изчертай CDF".

По задача 4

Използва се експоненциална хартия от сайта. По оста X се нанасят времената на отказ, а по Y - стойностите за надеждността. Параметърът на това разпределение се отчита като от пресечната точка на линията на данните се построи перпендикуляр към абсцисата от. От пресечната точка на този перпендикуляр с абсцисата ос се отчита стойността за параметъра. За останалата част от задача 4 да се използват указанията от задача 2.

По задача 5

Използва се програма за оценка на параметрите за различни разпределения. Избира се работна страница "Ехр" и в колона "А" се попълва поредния номер на отказа, а в колона "В" времената на отказ. Избира се команден бутон "Изчисли параметрите" и изчисленият параметър - честота на отказите се отчита от клетка "O3". За да се построи функцията на надеждността се избира команден бутон "Изчертай RF", за функцията на плътностите на вероятностите - команден бутон "Изчертай PDF" и за кумулативната функция - команден бутон "Изчертай CDF".

V. Контролни въпроси

1. Какви са типичните разпределения на времената на отказ за електронни изделия?
2. Какви са основните характеристики на графичния метод за оценка на параметрите на разпределенията?
3. Защо се налага да се определят параметрите на разпределението на времената на отказ?
4. Какъв е смисълът на използването на доверителни интервали при оценка на надеждността?
5. С колко параметъра се характеризират най-често използваните непрекъснати разпределения?
6. Кое разпределение се използва за моделиране на ранните откази?

ПРОГНОЗИРАНЕ НАДЕЖДНОСТТА НА ЕЛЕКТРОННИ КОМПОНЕНТИ

I. Цел на упражнението

Прилагане на методи PCM и PSM за прогнозиране надеждността на различни електронни компоненти и сборки.

II. Теоретична част

Прогнозите са средства за определяне на приемливостта на изискванията към изделието и за оценяване на подобрението в процеса на достигане на тези изисквания. Съществува йерархия от възможни за проектанта методи за прогнозиране на надеждността [19, 21, 24], зависещи от: степента на знания за проекта и наличието на исторически данни за надеждността на възлите и компонентите на изделието.

За да се направи задоволителен анализ на надеждността на електронно изделие е нужна основна информация, включваща:

1. Описание на изделието.
2. Типични данни за околната среда – примерна таблица "Типични данни за околната среда според стандарт MIL-HDBK-217" е показана на сайта.
3. Работна температура – температурата на изделието, използвано за целите на прогнозата трябва да включва повишаването на вътрешната му температура, получена след термичен анализ или тестови данни.
4. Анализи при натоварване – трябва да се определят работните натоварвания като се вземе под внимание и влиянието на околна среда. Интензивността на отказите се модифицира чрез подходящи коефициенти, за да се отрази въздействието на приложеното натоварване.
5. Разпределения на интензивността на отказите – При изчисляване на интензивността на отказите на електронно, електрическо, механично или електромеханично устройство трябва да бъде използвано подходящо разпределение. В случаи, когато то не е известно, може да се използва експоненциално, биномно или Вейбулово разпределение. Използваните разпределения трябва да бъдат цитирани, а всички направени допускни - приведени и доказани в прогнозния отчет.
6. Интензивност на отказите – Базовата интензивност на отказите взета от различни източници трябва да бъде модифицирана с подходящи коефициенти, за да бъде отчетено и взето под внимание специфичното приложение на електронното изделие. Използваните коефициенти трябва да се отбележат и докажат в отчета на прогнозата.

Уравнението на надеждността за най-простия случай на компонентна или системна конфигурация, съставена от i на брой независими съставни компоненти или подсистеми е:

$$R_s = \prod_{i=1}^n R_i, \quad (2.1)$$

където R_s е надеждността на компонента или подсистемата, а R_i е надеждността на всеки съставен компонент.

За случая, когато съществува зависимост от времето:

$$R_s(t) = R_1(t)R_2(t).....R_i(t), \quad (2.2)$$

където:

- $R_i(t)$ е вероятността, че системата няма да се повреди преди момент t . В този случай под система се разбира някакво устройство, съставено от n на брой компоненти, нито един от които не може да се повреди без повреда в системата.

- $R_i(t)$ е вероятността, че i -тия елемент на системата няма да се повреди преди момент t .

Ако се предположи, че всяка $R_i(t)$ е експоненциално разпределена с постоянна интензивност на отказите λ_i , то:

$$R_i(t) = \exp(-\lambda_i t) \quad (2.3)$$

Тогава

$$R_s(t) = \prod_{i=1}^n \exp(-\lambda_i t) \quad \text{и} \quad (2.4)$$

$$\lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \quad i = 1, \dots, n \quad (2.5)$$

където λ_s е интензивността на отказите на системата, а λ_i е интензивността на отказите на всеки от независимите елементи на системата и средно време между отказите за системата

$$MTBF = \frac{1}{\lambda_s} = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \lambda_i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (2.6)$$

Последните равенства (5 и 6) са основни при прогнозирането на надеждността на електронни системи.

Метод на прогнозиране с поелементно изчисляване на надеждността (Part Count Method - PCM)

Използва се тогава, когато е известен броя на компонентите от определен клас или тип, които ще бъдат използвани в дадено оборудване или система, но няма достатъчна информация за това на какви натоварвания ще бъде подложен всеки компонент. Първата стъпка е да се разделят съставлящите системата компоненти по класове (компоненти с конкретна функция – резистори, кондензатори, диоди и др.). След това се дефинира по-нататък разделение на компонентите вътре в класа по типове (напр. слойни резистори, жични резистори ит.н.).

Този метод се използва в предварителното моделиране, когато броят на елементите от всеки главен клас като кондензатори, резистори и т.н., са окончателно избрани и не се очаква да се промени значително сложността на цялостната разработка през по-късните етапи на разработка и производство. Приема се, че времената за отказ на компонентите са експоненциално разпределени.

Интензивността на отказ на изделието може да се определи директно като се сумират интензивностите на отказ на отделните компоненти, като се допуска, че те са свързани последователно. В случай, че в модела на надеждност на изделието се съдържат редундивни компоненти трябва да се вземе решение, дали те да се игнорират от модела на надеждност или да се разглеждат като последователно свързани към останалите компоненти.

Информацията необходима за прилагане на PCM метода включва:

1. Основни видове компоненти
2. Количество на компонентите
3. Нива на качество на компонентите (когато се знаят или могат да бъдат избрани)
4. Околна среда за системата

Основният израз за определяне интензивността на отказите с този метод е:

$$\lambda_{ITEM} = \sum_{i=1}^n N_i (\lambda_{Gi} \cdot \pi_{Gi}) \quad (2.7)$$

където: λ_{ITEM} - системната интензивност на отказите; λ_{Gi} - базовата интензивност на отказите за i -тия компонент на системата; π_{Gi} - качествено фактор за i -тия съставен компонент; N_i - брой на компонентите от i -ти клас; p - броят на класовете.

Ако системата включва няколко подсистеми, работещи в различни околни среди формулата се прилага на части за всяка околна среда.

Прилагат се коефициенти за качество за всеки тип компонент, когато съществува информация за нивото на качеството или когато може да бъде разумно предположено такова. Различни нива на качеството и данни съществуват за всички микроелектронни елементи, дискретни полупроводникови елементи, за резистори с установена надеждност и за кондензатори. Базовата интензивност на отказ (λ_{Gi}) и качествения фактор π_{Gi} могат да бъдат получени от най-новата версия на MIL-HDBK-217, други стандарти или от производствените данни. MIL-HDBK-217 съдържа таблици с базовата интензивност на отказ за различни видове класове и типове компоненти, както и съответните им коефициенти за качество.

Метод за прогнозиране с анализиране на натоварването върху компонентите (Part Stress Method - PSM)

PSM се базира само на средната интензивност на отказите за всеки тип компонент. Известно е обаче, че интензивността на отказите на всеки компонент зависи от вида на приложеното натоварване. Взаимодействието между издръжливостта на компонента и нивото на приложеното му натоварване, при което той работи определя интензивността на отказите на компонента в дадена ситуация. Така при различни нива на натоварване един и същ компонент има различна интензивност на отказите. Това е обосновката на метода и той се базира на познанията за натоварването, на които всеки един елемент ще бъде подложен, например: температура, влага, вибрации и т.н., и ефекта от тези влияния върху интензивността на отказите на този компонент.

Съществуват много емпирични подходи за прогнозиране и анализиране на натоварването върху компонентите, за да се определи надеждността. Най-известни са: MIL-HDBK-217 "Прогнозиране на надеждността на електронно оборудване"; Bellcore процедури по прогнозиране на надеждността за електронно оборудване (Bellcore RPP); Nippon обединени стандартни таблици за надеждността на полупроводникови устройства (NTT Procedure); Наръчник на British Telecom за информация за надеждността на компонентите в телекомуникационните системи (British Telecom HRD-4); Френски национален център по телекомуникационно обучение (CNET Procedure); Надеждност и спецификация на качеството на компонентите на Siemens (Siemens Procedure).

III. Задачи за изпълнение

1. Да се изчисли честота на отказите на комплементарен биполярен транзистор по зададени, разсейвана мощност, максимална работна температура, условия на работа, U_{CE} , температура на корпуса, околна среда.

2. Да се изчисли честота на отказите на резистор по зададени тип, номинална мощност, разсейвана мощност, околна среда, околна температура, стойност на резистора.

3. Да се изчисли честота на отказите на кондензатор по зададени тип, номинална стойност на кондензатора, околна среда, околна температура и напрежение.

4. Да се пресметне честотата на отказите на цифрова биполярна микросхема по зададени температурата на корпуса, термичното съпротивление, максимална разсейвана мощност, брой на гейтовете, брой на изводите, продължителността на разработка, околна среда.

5. По метода PCM да се прогнозира надеждността на електронен ключ, състоящ се от компоненти (3 резистора и 2 транзистора), които са свързани последователно по отношение на надеждността в схемата. При зададено натоварване на компонентите да се прогнозира надеждността на ключа по PSM метода.

IV. Указания за работа

За изпълнение на задачите се използва програма за прогнозиране на надеждността на електронни изделия. Указания за работа с нея са дадени на сайта на KNEA (www.ecad.tu-sofia.bg/knea).

По задача 1

Поотделно се изчислява честотата на отказите за съставлящите транзистори, след което се определя прогнозата надеждност на комплементарния биполярен транзистор.

По задача 2

Предварително се изчислява натоварването S на резистора като отношение на разсейваната мощност към номиналната мощност.

По задача 3

Предварително се изчислява натоварването на кондензатора S по формулата:

$$S = \frac{U_{DC} + \sqrt{2}U_{AC}}{U_{DCR}}$$

където: U_{DC} е приложеното DC напрежение; U_{AC} е приложеното AC напрежение; U_{DCR} – номиналното DC напрежение

По задача 4

Зададените входни параметри се въвеждат последователно в програмата като се използва инструкцията за работа от сайта.

По задача 5

След изчисляването на прогнозните надеждности на отделните компоненти се определя надеждността на електронния ключ. Сравняват се резултатите за надеждността на електронния ключ, получени по двата метода.

V. Контролни въпроси

1. Кой метод за прогнозиране на надеждността се базира само на средната интензивност на отказите за всеки тип компонент?
2. Кой от двата разглеждани методи за прогнозиране на надеждността се отличава с по-голяма точност и защо?
3. Кой от методите може да се използва за предварително моделиране на надеждността на електронни изделия: PCM или PSM?
4. Каква информация е необходима, за да се извърши прогнозиране на надеждността на електронни компоненти съответно по метода PCM и PSM?
5. Ако в модела на надеждност на изделието се съдържат редуцирани компоненти какво се прави за да се оцени надеждността?
6. Какъв е смисъла на понятието "средната интензивност на отказите"?

ПРОГНОЗИРАНЕ НАДЕЖДНОСТТА НА СИСТЕМИ ЧРЕЗ СИМУЛИРАНЕ НА ОТКАЗИ

I. Цел на упражнението

Построяване блокова диаграма на надеждност на електронни системи. Прогнозиране надеждност на системи чрез симулиране отказите на отделните им компоненти.

II. Теоретична част

Блоквата диаграма на надеждност (RBD) е графично представяне на компонентите/подсистемите на системата и показва как те са свързани по отношение на надеждността [20, 21, 24]. Понякога обаче физическото структурно подреждане на компонентите в системата се различава от подреждането им в RBD. Първата стъпка при изчисляването на надеждността на системата е да се получат данни за живота поотделно на всеки компонент/подсистема. Такива данни се събират от различни източници включващи: ускорени тестове, in-house тестове за надеждност, гаранционни данни.

Съществуват два вида изчисления на надеждността: статични изчисления и времезависими изчисления.

Един статичен блок се интерпретира като блок с известна стойност за надеждността за конкретен момент от време (разпределението на отказите на блока е неизвестно) или като блок с вероятност за успех, която е константа във времето. Статичните изчисления се извършват само аналитично.

Времезависимите изчисления се прилагат, когато компонентите на системата са с надеждност, която е функция на времето и има определено разпределение на отказите.

Основната цел при анализа на системната надеждност е да се получи разпределението на отказите за цялата система, базирайки се върху разпределенията на отказите на съставлящите я компоненти.

Съществуват два метода за изпълняване на времезависими изчисления на системна надеждност: аналитичен метод и симулация. Когато се разглеждат само характеристиките на отказите на компонентите могат да се използват и двата метода, но когато трябва да се разглеждат и характеристиките на ремонтруемостта, тогава може да се прилага само симулационния метод.

При аналитичния подход системната функция на плътността на вероятностите (PDF) се получава аналитично от разпределенията на отказите на компонентите, използвайки теорията на вероятностите. Съществуват няколко метода за определяне функцията на надеждност на системата – декомпозиционен метод, метод на възможните пътища и метод на пространство на състоянията.

При симулацията за всеки компонент се генерират по случаен начин времената на отказ за съответно разпределение. След това тези времена на отказ се комбинират в зависимост от начина на надеждностното подреждане в системата. Всичките резултати се анализират, за да се определи поведението на отказите на цялата система.

За да се състави блоквата диаграма на надеждност трябва да се определи надеждностната конфигурация на компонентите [8]. Методът за анализ, използван за изчисляване на надеждността на системата, също зависи от тази конфигурация. Възможни са следните конфигурации: серийна, паралелна standby, проста паралелна, K от N паралелна, комбинирана (серийна и паралелна), комплексна.

Серийна система

При тази конфигурация отказът, на който и да е компонент/подсистема води до отказ на цялата система.

Надеждността на системата се дава със следния израз:

$$R_s = P(X_1 \cap X_2 \dots \cap X_n) = P(X_1)P(X_2 | X_1)P(X_3 | X_1, X_2) \dots P(X_n | X_1, X_2 \dots X_{n-1}), \quad (3.1)$$

където R_s е надеждността на системата; X_i и $P(X_i)$ са съответно случая и вероятността, че компонента i работи.

В случая, когато отказът на компонент въздейства на честотата на отказите на останалите компоненти (т.е. характеристиките на разпределението на другите компоненти се променят, когато един компонент откаже), трябва да се разглеждат условните вероятности в уравнение (3.1). В случай на независимост на режимите на отказ (1) се преобразува в:

$$R_s = P(X_1)P(X_2) \dots P(X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i) = \prod_{i=1}^n R_i \quad (3.2)$$

Паралелна система

При простата паралелна система е необходимо да работи само един компонент, за да функционира системата. Компонентите в паралелна конфигурация се отнасят към редундивните компоненти. Редундивността е много важен аспект при системното проектиране, защото води до повишаване на надеждността.

Вероятността за отказ за система от n статистически независими паралелно свързани компонента е вероятността всички компоненти да откажат и се изразява с:

$$Q_s = P(X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_n) = P(X_1)P(X_2 | X_1)P(X_3 | X_1, X_2) \dots P(X_n | X_1, \dots, X_{n-1}), \quad (3.3)$$

където Q_s е ненадеждността на системата, $P(X_i)$ е вероятността компонент i да откаже. В случая на независими режими на отказ уравнение (3.3) става:

$$Q_s = P(X_1)P(X_2) \dots P(X_n) = \prod_{i=1}^n P(X_i) = \prod_{i=1}^n Q_i \quad (3.4)$$

Следователно надеждността на системата ще бъде:

$$R_s = 1 - Q_s = 1 - (Q_1, Q_2, \dots, Q_n) = 1 - [(1 - R_1), (1 - R_2), \dots, (1 - R_n)] = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - R_i) \quad (3.5)$$

К от N паралелна конфигурация

Това е специален случай на простата паралелната редундивност. Този тип конфигурация изисква поне K от N компонента да работят, за да работи системата. В случая, когато $K = N$ конфигурацията става серийна, а когато $K = 1$ конфигурацията става проста паралелна. Надеждността на K от N независими и идентични компонента се изчислява чрез биномното разпределение:

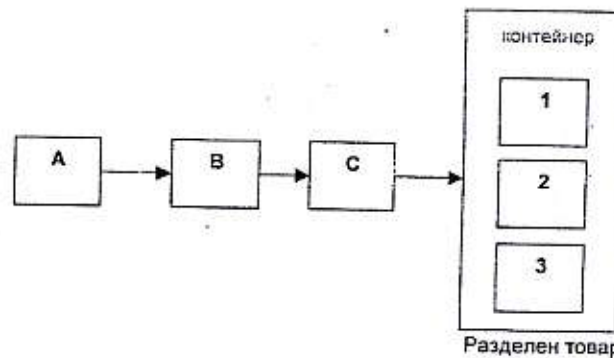
$$R_s(k, n, R) = \sum_{r=k}^n \binom{n}{r} R^r (1 - R)^{n-r}, \quad (3.6)$$

където n е общият брой компоненти свързани паралелно, k е минималният брой компоненти необходими за функционирането на системата, а R е надеждността на всеки компонент.

Надеждността на неидентични K от N независими компоненти се изчислява по различен начин – чрез метода на пространство на състоянията. При този метод се разглеждат всички възможни комбинации, при които системата функционира.

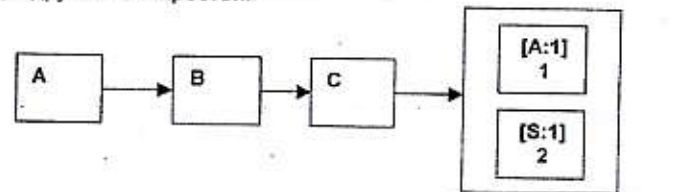
Конфигурации на разделен товар и Stand-By редундивност

Компонентите, които разделят товара показват различни характеристики на надеждност, когато един или повече от един от тях откаже – фигура 3.1. Блокове 1, 2 и 3 са от товара и имат свои собствени характеристики на отказите. Трите блока трябва да откажат, за да откаже контейнерният товар. Когато единият компонент откаже това променя характеристиките на отказ на останалите. Тъй като те трябва да носят по-висок товар за компенсация на отказалия. Характеристиките на всеки блок в контейнерния товар се дефинират чрез разпределение на времето на живот и връзката между времето на живот и натоварването.



Фигура 3.1. RBD с разделен товар - контейнер

Stand-by контейнерът има две цели. Първата е ясно да очертава и дефинира връзките между активните компоненти и stand-by компонента. Втората цел е да работи като управлява процеса на превключване. Поради тази причина контейнерът може да се дефинира с негови собствени вероятности на успешно активиране на stand-by компонентите, когато е необходимо. Фигура 3.2 включва stand-by контейнер с два компонента в stand-by конфигурация, където само единият компонент е активен, а другият е в престой.



Фиг. 3.2. RBD със Stand-by контейнер

Комбинирана конфигурация

Системи с този тип конфигурация могат да се анализират чрез изчисляване на стойностите за надеждността поотделно за серийните и паралелните компоненти и след това да се комбинират по подходящ начин.

Комплексни системи

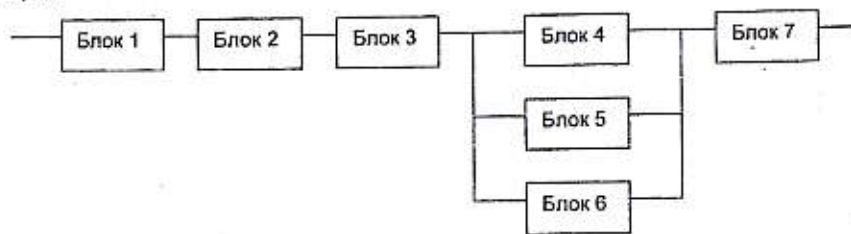
В много случаи е трудно да се разбере кои компоненти са свързани паралелно и кои последователно. За изчисляване на надеждността на комплексните системи се

използват следните методи: декомпозиционен, метод на възможните пътища и метод на пространство на състоянията.

III. Задачи за изпълнение

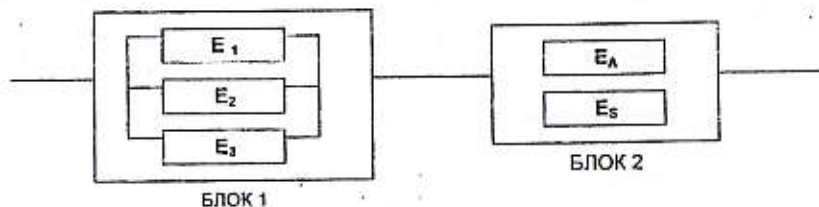
1. Да се изчисли надеждността на зададена електронна система по метода Монте Карло за определено време на работа, в случай на серийна и последователна RBD. Да се пресметне грешката $((R_S - R_T)/R_T)$ за различен брой итерации.

2. По зададени стойности за интензивността на отказите на блоковете, изграждащи паралелно-последователната система от фигура 3.3. и за определено време на мисията да се симулира надеждността на системата по метода Монте Карло.



Фиг.3.3. Паралелно-последователната система

3. По зададени стойности за интензивността на отказите на блоковете, изграждащи комплексната система от фигура 3.3. и за определено време на мисията да се прогнозира надеждността на системата по метода Монте Карло



Фиг. 3.4. Комплексна система

4. По зададени стойности за надеждността на блоковете, изграждащи системата от фигура 3.5. да се изчисли надеждността на системата по метода с булевите таблици и по метода Монте Карло. Да се сравнят получените резултати.



Фиг.3.5. Комплексна система

IV. Указания за работа

За изпълнение на задачите се използва програма за прогнозиране на надеждността на електронни системи.

По задача 1:

За пресмятане на надеждността когато блоковете са свързани последователно по отношение на надеждността се използва даденото в сайта на КНЕА описание за начина на работа с програмата за прогнозиране на надеждност.

По задача 2:

Системата се анализира чрез изчисляване на стойностите за надеждността поотделно за серийните блокове и паралелните блокове и след това се комбинират по подходящ начин. За пресмятане на надеждността на блоковете които са свързани последователно или паралелно по отношение на надеждността се използва описанието в сайта.

По задача 3:

За пресмятане на надеждността на блок 1, на който компонентите му са в конфигурация K от N и надеждността на блок 2, на който компонентите му са в standby конфигурация се използват съответните описания в сайта

По задача 4:

За пресмятане на надеждността по метода Монте Карло на системата се използва съответното описание в сайта. За изчисляване на надеждността на системата по метода с булевите таблици е необходимо да се сумират стойностите от вероятностите за успех от всички комбинации и е да се попълни таблица 3.1.

Табл.3.1. Помощна таблица за прогнозиране на надеждност

Комбинация	Блок 1	Блок 2	Блок 3	Блок 4	Блок 5	Успех/Отказ	Вероятност за успех
1							
2							
3							
4							
5							
6							
.....							
.....							
31							
32							

V. Контролни въпроси

1. По какво се различават статичните и времезависимите изчисления на надеждността?
2. Ако три резистора със стойности по 3 Ω са свързани паралелно и еквивалентното съпротивление трябва да е по-малко от 1,4 Ω, каква ще бъде конфигурацията на RBD на резисторната система?
3. По кой метод се изчислява надеждността на неидентични K от N независими компоненти?
4. Използва ли се симулационният метод, когато трябва да се разглеждат характеристиките на ремонтируемостта при изпълняването на времезависими изчисления за надеждността на система?
5. Компонентите в коя конфигурация се отнасят към редуваните компоненти?
6. Какви са целите на Stand-By товар - контейнер?

УСКОРЕНИ ИЗПИТВАНЯ И АНАЛИЗ НА ДАННИ

I. Цел на упражнението

Запознаване с основните тестови програми, методите за оценка на развитието на надеждността на електронните системи и различните модели за развитие.

II. Теоретична част

Концепцията на ускореното тестване е да компресира времето и да ускори механизмите на откази в приемлив тестов период, така че да може да се оцени надеждността на продукта [14, 15]. Единственият начин да се ускори времето е да се натовари режима на потенциалните откази. В тези откази се включват електрически и механични откази. Фигура 4.1. показва концепцията на натоварващия тест.



Фигура 4.1. Принцип на ускорения тест

Отказ настъпва, когато натоварването надвиши здравината на продукта. Увеличаването на натоварването увеличава ненадеждността и повишава шанса за поява на отказ в по-кратък период от време. Ускореният тест се използва широко за правене на прогнози. Прогнозите могат да бъдат ограничени когато се тестват малки по размер извадки

Аномални откази се наблюдават когато ускореният тест причинява "нелинейност" в продукта. Например електрическата искра в материала е електрическа нелинейност; счупването на материала сравнено с огъването е механична нелинейност.

Фактор на ускорение

Факторът на ускорение A се дефинира математически чрез уравнение [1]:

$$A = \frac{t}{t'} \tag{4.1}$$

където t е времето на живот на изделието до отказ при нормални условия на работа, а t' е съответното време при ускорени тестови условия.

Много често факторите на ускорение се моделират. Например много режими на отказ като химичните процеси и дифузията зависят от температурата. В този случай се използва добре познатия модел на Арениус:

$$Rate = B \exp\left\{\frac{-E_a}{K_B T}\right\} \tag{4.2}$$

където B е константа която характеризира механизма на отказ на продукта и условията за тестване, E_a , eV е енергията на активация за конкретния механизъм на

отказ, T е температурата в Келвини, а K_B е константата на Болцман ($8,6173 \cdot 10^{-5} \text{eV}^\circ\text{K}$).

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{Rate(T_1)}{Rate(T_2)} \tag{4.3}$$

Така за фактора на ускорение се получава:

$$A_T = \frac{t_2}{t_1} = \exp\left\{\frac{E_a}{K_B} \left[\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1}\right]\right\} \tag{4.4}$$

За оценка на времето и плановете за тест на извадки от електронни изделия се използва използването на подходящ ускорен модел и статистически анализ [14]. Например ускорените верификационни тестове в микроелектрониката се проектират с цел да ускорят четири типа механизми на отказ: термомеханичните механизми, независими от влагата термохимични механизми, влагозависими термохимични механизми и механични механизми. Най-често използваните тестове са температурни цикли (ускорява термомеханичните механизми), висока температура-напрежение - HTOL (ускорява влагонезависимите термохимични механизми), температура-влага-напрежение - THB (ускорява влаго зависимите термохимични механизми) и вибрацията (ускорява механичните механизми на отказ).

Модели на взаимна връзка "натоварване - време"

При анализа на данни от ускорени изпитвания трябва да се определи pdf (или друг показател на надеждността), позовавайки се на данните от ускореното изпитване на дълготрайност, вместо на данните за времената до отказ, получени в нормалния период на използване на изделието. Фигура 4.2 показва типично поведение на pdf при висока стойност на натоварване и pdf при нормално работно натоварване.



Очевидно има безброй начини да се изобрази дадена специална точка от високото ниво на натоварващото въздействие върху нивото на работното натоварване. Очевидно колкото повече точки имаме, толкова е по-голяма вероятността да изобразим правилно тази особена точка, или да съгласуваме модела с нашите данни. Необходими са минимум две по-високи нива на натоварващото въздействие, за да се

Фигура. 4.2. pdf при различни нива на натоварване начертае правилно функцията за ниво на натоварване при използване.

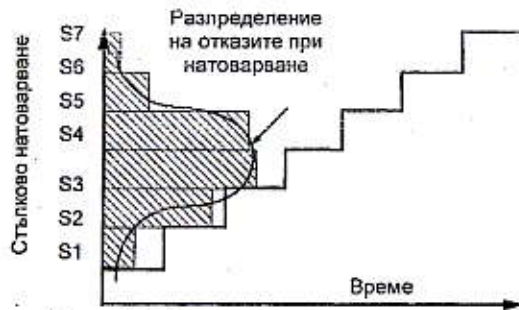
Оценка на енергията на активация

Много често се изпълняват тестове за определяне на енергията на активация на механизма на отказ [15]. В този случай изделието се тества при поне две различни температури. Най- често се използват три или повече температури след това резултатите се нанасят върху полулогаритмична скала и данните се нагаждат използвайки метода на най-малките квадрати. Ако се нанесе върху графиката средното време до отказ срещу $1/T$ тогава според уравнение 3.23. наклона е E_a/K_B т.е. енергията на активация е определена.

$$\ln(MTTF) = Const + \frac{E_a}{K_B} \left\{\frac{1}{T}\right\} \tag{4.5}$$

Тестове при прилагане на стъпково натоварване

При този тест извадка от изделия се подлага на серия от последователно нарастващо натоварване. В края на всяко ниво на натоварващо въздействие се правят измервания, за да се оцени дали е настъпил катастрофален отказ или изменение на някой параметър. Обикновено се използват константни времеви периоди. Това води до опростяване на анализа на данните. Концепцията е показана на фигура 4.3.



Фигура 4.3. Концепция на постъпковото натоварване

Разпределението на отказите при различните нива на натоварване е нормално. Следователно графиката на кумулативната функция трябва да се построи върху нормална вероятностна хартия. Ако данните не се нагаждат на тази хартия трябва да се използва друго разпределение. Данните при високи нива на натоварване много често се отклоняват от нормалното разпределение.

Има няколко причини за изпълняване на стъпково натоварване [15]:

- може да се получи информация за много кратко време за остаряването. Обикновено този тест трае 1 или 2 седмици, зависейки от целта.
- Тестовите със стъпково натоварване дават базова насока за бъдещи тестове. Например ако процесът се променя, може да се направят сравнения между стария и новия процес. Точността може да се повиши като се използва параметричната промяна като мярка за сравнение. Може да се използва и информацията от катастрофални данни.
- Механизмите на отказ и недостатъците на проекта могат да се идентифицират заедно с ограниченията на материала. Информацията за режимите на отказ осигурява възможности за повишаване на надеждността.

Анализът на данните може да осигури точна информация за разпределението на натоварването, за което може да се определи средното натоварване за отказ и стандартното отклонение на натоварването. Така се осигурява оценката на средното време до отказ и средното ниво на натоварване за отказ.

III. Задачи за изпълнение

1. Електронни изделия са тествани за надеждност при различни температурни нива на натоварване. Стойността на нормалното работно натоварване в случая е 356 градуса Келвин. Изчислете параметрите на разпределението на отказите за модела на Арениус модела на Еаринг. Изчертайте Вейбуловата вероятностна графика за всички нива на натоварване.

2. Определете по два начина каква е ненадеждността на изделията за време на работа по предназначение 1500 часа, започвайки мисията при $T = 0$ със стойност на

температура 400K? При кой от двата начина точността е по-висока.

3. Каква е надеждността за време на работа по предназначение $T = 500$ часа, ако "мисията" започва от $T = 1500$ часа (изделията вече са работили 1500 часа) при ниво на нормалната работна температура 400K? И още, какво е гаранционното време за надеждност 99% при същото ниво на натоварване?

4. Електронно изделие се подлага на ускорено изпитване на дълготрайност и тестът се извършва при четири различни температурни нива. Стойността на нормалната работна температура за изделието е 403K. Определете типа на получените от изпитването данни. Изчертайте графиката, показваща зависимостта между надеждността (също за интензивността на отказите) и времето на живот при Еъринг - Вейбулов модел за изчисляване на параметрите. Изчертайте графиката на зависимостта между фактора на ускорение и натоварването.

IV. Указания за работа

За изпълнение на задачите се използва програма за анализ на данни от ускорени изпитвания.

По задача 1

След като са въведени моменти на времената до отказ и съответните стойности на натоварването в колоната със заглавие *Temperature K*, следващата стъпка е да се избере физичен модел на взаимна връзка "време на живот - натоварване" и основен вид разпределение на времето на живот, за да се определят параметрите. Приема се модела на Арениус (след получаване на стойностите на параметрите, същата процедура се извършва за модела на Еаринг) за установяване зависимостта на жизнения цикъл на изделията от околните условия. Като основно се приема Вейбуловото разпределение. От работният лист с изчислените параметри сравнете резултатите за модел на Арениус и за модел на Еаринг. Запишете аналитичния израз на двете съотношения. Вейбуловата вероятностна графика за ниво на натоварване при експлоатация се появява в работния лист за графично изображение на данните. Отчетете данните: модел на взаимна връзка, вида на разпределението нивото на натоварване, брой на отказите, и отсичанията (цензурираните данни), за които се изчертава графиката. Изчертайте графика за всички стойности на натоварващото въздействие.

По задача 2:

Има няколко метода за намиране на решение на този проблем. Първият и по-трудният от тях е информацията да се извлече директно от графиката. След като на работната страница се изчертае графиката с данните трябва да се убедите, че се вижда точно Вейбуловата вероятностна графика за работно ниво на натоварване. Ако минималната стойност за оста X от тази графика е по-малка от зададената продължителност от 1500 часа можете да промените мащаба на графиката. Стойността на у-координатата, отчетена от Индикатора на позицията е именно ненадеждността $Q(T)$.

Вторият метод е точните резултати да се получат като се използва Опцията за Бързо Пресмятане Quick Calculation Pad (QCP).

По задача 3:

За да се оцени условната надеждност е необходимо да отворите Quick Calculation Pad и да получите след въвеждане на данните търсената условна надеждност.

Втората част изисква да се определи гаранционното време за надеждност 99%. Съществуват множество начини, по които можете да получите тази информация, но

тях е да използвате Quick Calculation Pad и се следват инструкциите зададени в сайта (www.ecad.tu-sofia.bg/knea).

Другите два метода за определяне на гаранционното време са графичните методи. В пример 2, ненадеждността, съответстваща на определено време, се определя от Вейбуловата вероятностна графика за нормално работно ниво на натоварване, като за целта се използва RS Draw. По подобен начин, времето за 99% надеждност може да се намери, като се въведе графиката с известна надеждност (или ненадеждност). Тъй като по тази процедура се работи в Задача 2, тук тя ще бъде пропусната. Другият графичен метод включва същата процедура, но приложена към графиката "време на живот – натоварване". За конкретния пример, въведете "99" за стойност на ненадеждността за първата линия и "1" за ненадеждността за втората линия. Не избирайте доверителните граници да се изобразяват на графиката.

Най-долната линия от графиката отговаря на 1% ненадеждност, втората линия представлява средното време, третата – мащабният параметър, η , и най-горната линия отговаря на 99% ненадеждност. За да получите времето за 99% надеждност, позиционирайте курсора върху пресечната точка на тази линия от графиката, отговаряща на 99% надеждност (или на линията, отговаряща на 1% ненадеждност) със стойност на натоварването = 400.

По задача 4

Като следвате инструкциите въведете данните от изпитването. Програмата позволява автоматично изчертаване на съответната избрана графика от списъка *Special Plot Type*. Анализирайте съответните графично изобразени резултати. отказите. Резултатът се сравнява със зададената стойност от клиента и се прави оценка възможно ли е достигане на желаната стойност.

V. Контролни въпроси

1. Кои са трите основни елемента при достигането на развитие на надеждността?
2. Какво определя наклона на идеализираната крива на развитието?
3. Кой модел не се използва, когато наличните данни са за стойностите на надеждността?
4. Кой модел не се използва когато се работи с данни за времената на отказ?
5. При какви допускания може да се прилага ускорено развитие на надеждността?
- 6.

ПОВИШАВАНЕ НА НАДЕЖДНОСТТА

I. Цел на упражнението

Запознаване с основните тестови програми, методите за оценка на развитието на надеждността на електронните системи и различните модели за развитие.

II. Теоретична част

Много често надеждността на сложните уреди и системи във фазата на прототипа е по-ниска, отколкото целевата. Следователно се налага създаване на програма за повишаване на надеждността, която да отстранява дефектите и съответно да моделира нарастването на надеждността [15, 18].

Има три основни елемента при развитието на надеждността:

- а) откриване на източниците на отказите;
 - б) обратна връзка от идентифицираните проблеми;
 - в) редирайнерски усилия, които се базират на идентифицираните проблеми.
- Освен това, ако източниците на отказ се идентифицират посредством тестване се появява и четвърти елемент
- г) производство на хардуер.

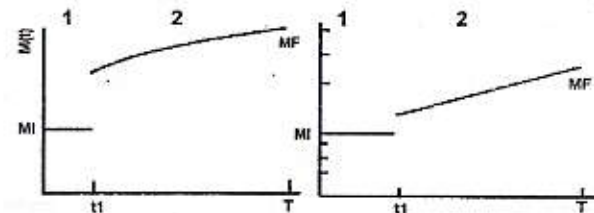
Откриването на източниците на откази служи за верификация на ефекта от редирайна.

Параметър на развитие

Това е стойността (α), която определя колко бързо могат да се извършат действията в тази верига, за да се постигне нарастване на надеждността, колко реални са идентифицираните проблеми и колко добре усилията за редирайн решават тези проблеми без да се въвеждат нови.

Идеализиран модел за развитие на надеждността

Идеализираната крива на развитието на надеждността $M(t)$ има формата, показана на фигура 5.1 и показва основния профил на повишаване на надеждността по време на тестването на системата [21]. Идеализираната крива има базова стойност M_1 по време на началната тестова фаза (1), която завършва в момент t_1 . Стойността M_1 е средното време между отказите (MTBF) през първата тестова фаза. От t_1 до края на тестването $M(t)$ расте непрекъснато (2), докато се достигне целевата надеждност M_F . Наклонът на тази крива върху логаритмична хартия дава стойността на параметъра на развитието α (фигура 5.2).



Фигура 5.1. Идеализирана крива на развитие

Фигура 5.2. Логаритмична идеализирана крива на развитие

Модели за развитие

Моделите за развитие на надеждността в зависимост от данните, които се получават от теста са обобщени в таблица 5.1.

Табл. 5.1. Модели за развитие на надеждността

Типове данни	Използвани модели
Данни за надеждността	<ul style="list-style-type: none"> ■ Модел на Комперц ■ Модел на Лойд-Липов ■ Логистичен модел
Данни Успех / Отказ	<ul style="list-style-type: none"> ■ Модел на Комперц ■ Модел на Лойд-Липов ■ Логистичен модел ■ Модел на Дуетйн ■ N.H.P.P
Данни за времената на отказ	<ul style="list-style-type: none"> ■ Модел на Дуетйн ■ N.H.P.P

$$MTBF_c = bT^a$$

а кумулативната честота на отказите:

$$\hat{\lambda} = \frac{1}{b} T^{-a} \quad (5.2)$$

Очакваният брой на отказите до момент T е:

$$E(N(T)) = \hat{\lambda}_c T = \frac{1}{b} T^{1-a} \quad (5.3)$$

където: $\hat{\lambda}$ е средната оценка на кумулативната честота на отказите, а T е времето за тест и/или времето за развитие, $1/b$ е кумулативната честота на отказите за $T=1$ или за началото на теста, a е параметър на развитие ($0 \leq a \leq 1$).

N.H.P.P модел (Non-Homogeneous Poisson Process, AMSAA модел – Army Materials System Analysis Activity)

Съществува техническо правило: Първо се опитва с модела на Дуетйн, ако при него данните не се апроксимират върху права линия, се работи с N.H.P.P модела. Този модел се използва за следене на надеждността в отделна тестова фаза.

В периода $[S_{i-1}, S_i]$, когато се извършват промени в дизайна на системата, се допуска че честотата на отказите λ_i е константа. Следователно броят на отказите N_i , по време на i^{th} период от време има Поасоново разпределение със средна стойност $\lambda_i(S_i - S_{i-1})$. Тогава:

$$Pr[N_i = n] = \frac{[\lambda_i(S_i - S_{i-1})]^n e^{-\lambda_i(S_i - S_{i-1})}}{n!}, n = 0, 1, 2, \dots \quad (5.4)$$

Константната честота на отказите λ_i предполага, че времената между отказите следват експоненциално разпределение:

$$F(x) = 1 - e^{-\lambda_i x}, x > 0 \quad (5.5)$$

ако с $N(T)$ се означи кумулативния брой на отказите в кумулативния тестов период T и ако $0 < T < S_1$, тогава $N(T)$ има Поасоново разпределение със средна стойност $\lambda_1 T$. Ако $S_1 < T < S_2$, тогава $N(T)$ е сума от броя на отказите в първия интервал и броя на отказите във втория интервал между S_1 и T :

$$N(T) = \lambda_1 S_1 + \lambda_2 (T - S_1) \quad (5.6)$$

Ако честотата на отказ е константа през интервалите, тогава $N(T)$ следва хомогенния поасонов процес. Ако честота на откази не е константа в интервалите $[S_{i-1}, S_i]$ и $[S_{i-2}, S_{i-1}]$, $N(T)$ следва нехомогенния поасонов процес.

Модел на Дуетйн

Функцията на зависимостта на кумулативното средно време между отказите MTBF от логаритъма на кумулативното време на работа е права линия. Ако $N(T)$ е броят на отказите за време T , то средното MTBF_c за време T е $MTBF_c = T/N(T)$. От изчертаната права линия се допуска, че $\ln MTBF_c = \ln b + a \ln(T)$. Средното време между отказите при модела на Дуетйн следва функцията:

$$(5.1)$$

N.H.P.P. моделът допуска, че функцията на интензивността на отказите може да се апроксимира с Вейбулувата функция за честота на отказите.

Кумулативната честота на отказите λ_c е:

$$\lambda_c = \lambda T^{\beta-1} \quad (5.7)$$

а кумулативното MTBF_c :

$$MTBF_c = \frac{1}{\lambda} T^{1-\beta} \quad (5.8)$$

Параметърът λ се нарича параметър на мащаба, защото зависи от избраната измервателна единица за T , а β е параметър на формата и характеризира формата на графиката на функцията на интензивността на отказите.

Ускорено развитие на надеждността (ARG)

Развитието на надеждността може да бъде изчислено за отделните фази чрез компресия на времето, ако се приложи ускорено тестване [12].

Неразделна част от планирането на ускореното развитие на надеждността са идеализираните уравнения и криви, които описват поведението на реалните комплексни подсистеми през главните фази на тестването. Те са полезни за представяне на общия растеж на надеждността като определят дали продължителността на теста е достатъчна, за да се постигне нужната надеждност, за пресмятане на средното време между отказите за всяка фаза, както и нивата на растеж. Планирането на ускореното развитие на надеждността може да бъде извършено със следните допускания:

- а) Ефективният фактор на ускорение A съществува или може да бъде пресметнат.
- б) Времето е линейно компресирано с този фактор A .
- в) Същото развитие на надеждността е възможно в некомпесиран времеви интервал.

Използвайки тези допускания, идеализираните уравнения на развитието на надеждността се описват с уравнение

$$M(t) = M_i \quad t \leq t_i \quad (5.9)$$

където A е ефективен фактор на ускорение, M_i е начално MTBF, α е параметър на развитие, t е кумулативно време на теста при ускорение, t_i е кумулативно време на теста за първата фаза.

$$M(t, A) = \frac{M_i}{1-\alpha} \left(\frac{t}{t_i}\right)^\alpha A^\alpha \quad t \geq t_i \quad (5.10)$$

Тези уравнения се използват, когато е приложено ускорение на всички фази, включително фаза 1. Уравнението се променя, ако ускорението е приложено след време t_i :

$$M(t, A) = \frac{M_i}{1-\alpha} \left(\frac{t}{t_i}\right)^\alpha A^\alpha \left(1 - \frac{t_i}{t}\right) \quad t_i < t < t_1 \quad (5.11)$$

Понякога $t_i \gg t_1$. Сравнено с идеалните уравнения за развитие на надеждността (5.11) се модифицира от ефективния фактор на ускорение. В случай, че $A = 1$ се получават идеалните уравнения за развитие на надеждността.

Средното MTBF за i -тата фаза се дава с:

$$M_i = \frac{t_i - t_{i-1}}{H_i} \quad (5.12)$$

където H_i е средният брой откази за i -тата тестова фаза. H_i се определя от:

$$H_i = N(t_i) - N(t_{i-1}),$$

$$\text{където } N(t_i) = \lambda_i t_i \left(\frac{b}{t_i} \right)^{1-\alpha} \quad (5.13)$$

III. Задачи за изпълнение

1. Електронна система е подложена на тест за развитие на надеждността с определена продължителност и са отчетени времената на поява на отказите. Да се изчисли параметъра на развитие и да се построи графиката на Дуетн.
2. Да се определи средното време между отказите в края на теста и да се оценят горната и долна доверителни граници на средното време между отказите.
3. Да се изчисли параметъра на развитие на надеждността и да се построи кумулативната графика по модела N.H.P.P.
4. Да се сравнят кумулативните графики за двата модела на Дуетн и N.H.P.P. и да се прецени кой модел дава по-реална оценка на параметъра на развитие.
5. Разглежда се нова система с оценена първоначална средна стойност между отказите. Клиент иска да закупи системата от фирмата, но има изискване за друга по-висока стойност на средното време между отказите. Да се оцени възможността за достигане на желаната стойност при ускорено изпитване. За същата електронна система да се изчислят изходните времена и стойностите на MTBF без ускорение.
6. Да се построи ускорената и не ускорената крива на развитие на надеждността за стойностите на моделните параметри.

IV. Указания за работа

За изпълнение на задачите се използва програма за оценка на развитие на надеждността на електронни системи.

По задачи 1 + 3 :

Следват се инструкциите за работа с програмата за оценка на развитието на надеждността по съответните задачи дадени в сайта.

По задача 4:

Получените графики от задача 1 и задача 3 се анализират и се определя ефективна ли е приложената тестова програма.

По задача 5:

Като се използват инструкциите за работа по тази задача се отчита стойността на средното време между отказите. Резултатът се сравнява със зададената стойност от клиента и се прави оценка възможно ли е достигане на желаната стойност.

По задача 6:

Избира се команден бутон "Криви на развоая на надеждността", за да се построят ускорената и не ускорената крива на развитие на надеждността за стойностите на моделните параметри.

V. Контролни въпроси

1. Кои са трите основни елемента при достигането на развитие на надеждността?
2. Какво определя наклона на идеализираната крива на развитието?
3. Кой модели съответно не се използват, когато наличните данни са за стойностите на надеждността или когато се работи с данни за времената на отказ?
4. Какви допускания се правят при моделите на Дуетн и N.H.P.P?
5. При какви условия може да се прилага ускорено развитие на надеждността?
6. Какви типове данни могат да се използват в моделите на Дуетн и N.H.P.P?

Построяване и анализ на дърво на отказите

I. Цел на упражнението

Запознаване с процедурите на създаване на дървовидни структури за анализ на неизправности в електронни системи. Извършване на анализ на чувствителността на дърво на отказите и получаване на сечение на дърво на отказите.

II. Теоретична част

Анализът на дървото на събитията (ETA) представлява логическо представяне на значимите реакции на системата за определени изходни събития, където всяка последователност на поява на тези събития води или до безопасно състояние, или до аварийно състояние. ETA позволява да се проследи изпълнението на следните функции: определяне на аварийни последователности, на необходимите функции на безопасност, изчисляване на честотата на последователностите.

Анализът чрез дървовидни диаграми на неизправностите/отказите (FTA) е метод, който се използва предимно за анализ на ниско ниво – ниво компоненти. Той определя чрез логически връзки коя неизправност на дадено ниво в йерархията би причинила неизправност на по-високо ниво в системата. Тази методика е полезна при анализа на сигурността, тъй като блоковата диаграма помага да се избегнат пропуски и недоглеждания, които именно биха могли да се получат при FMEA [20] (виж. Лаб. упр. №7). Двата вида анализи FTA и FMEA са съвместими методи за оценяване на риска, но съществуват и някои различия.

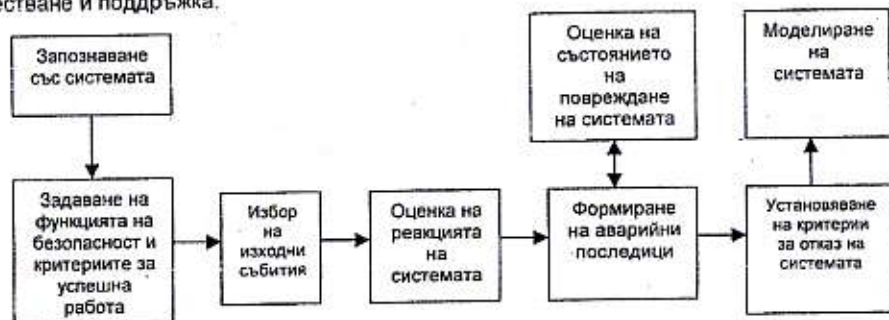
FTA е дедуктивен метод за анализ на отказите, насочен към представяне на всички възможни пътища, които могат да доведат до възникване на нежелани събития. Той се изразява чрез логическо представяне на вероятните откази, които могат да доведат до нежелани събития. Нежеланото събитие заема положение на върха на дървото на отказите. Логическите елементи на дървото на отказите задават логическите комбинации на базовите събития, които водят към крайното събитие. Дървото на отказите може да се използва за определяне на "слабостите" на системата и може да помогне да се разбере взаимната зависимост между отказите. При анализа на дървото на отказите се търсят минимални сечения (минималната комбинация на откази, която е необходима да се прояви интересуващото ни събитие - напр. аварийна последователност, отказ на системата итн.) и вероятност за отказ на системата. Дървото на отказите се състои от логически елементи (представящи извършването на булеви операции - напр. обединение, пресичане итн., над подаваните на входа им събития) и базови събития в качеството на изходни данни в логическите елементи.

Процедурите за създаване на дърво на събитията и дърво на отказите са показани съответно на фиг.6.1 и фиг.6.2.

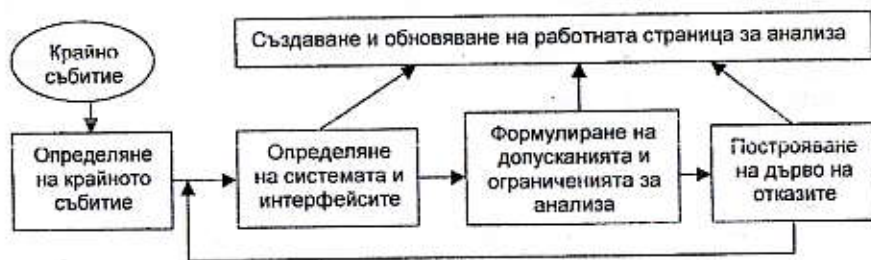
FTA е особено полезен в случаите, когато комбинацията от няколко не толкова съществени събития причини някое критично събитие. Диаграмите предоставят сбито и ясно описание на различни възможни комбинации от ситуации, които могат да доведат до някоя критична изходна реакция. FTA може да започне в самото начало на проектиране и прогресивно да се подобрява и обновява. В началото блоковете на диаграмите може да представляват функционалните блокове и с развитието на проекта да се конкретизират с индивидуални елементи и компоненти.

Резултатите от FTA са полезни в следните случаи:

1. Намиране на вероятностите за критични режими на неизправност измежду системни повреди на по-ниско ниво.
2. Сравняване на алтернативни варианти на проекта от гледна точка на сигурността.
3. Намиране на критични пътища, по които може да възникне повреда.
4. Преценка на вариантите за коригиращи действия.
5. Разработване на процедури за откриване и обработка на грешки при работа, тестване и поддръжка.



Фигура 6.1. Процес на построяване на дърво на събитията



Фигура 6.2. Процедура за създаване дърво на отказите

На фиг. 6.3а са показани две дървета на откази и надеждности блокови диаграми (RBD) представляващи една система с два компонента А и В, за случая когато системата е неизправна ако двата блока откажат да функционират. На фиг. 6.3в са показани съответните диаграми за една система с три компонента А, В и С, за случая когато системата е неизправна, когато един от трите компоненти А, В или С откаже.

FTA включва следните етапи [20]:

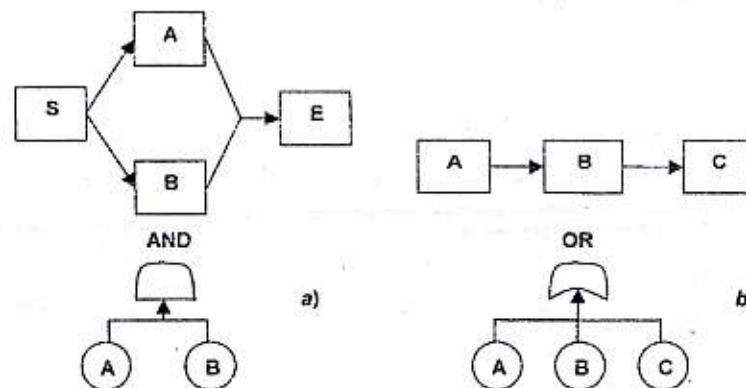
Етап 1

Построяване на функционална блокова диаграма на отказоустойчивостта: построява се функционална блок диаграма на системата за онези места, в които критичният режим на повреда трябва да се избегне или премахне.

Етап 2

Построяване на дървовидната диаграма: построява се дървовидната диаграма засягаща всички събития, които биха предизвикали нежелания ефект определен на

етап 1. Дървото трябва да показва всички пътища, водещи до следващото по-високо ниво на функционалната конфигурация.



Фигура 6.3 Примери на дървета на откази за две различни системи

Етап 3

Разработване на вероятностен модел: разработва се математическият модел на дървото за изчисление на вероятността за поява на неизправността

Определяне на вероятността за повреда или идентифициране на самата повреда: определя се вероятността за поява на всяко събитие или режим на повреда в модела. Изчисляват се параметрите на сигурността на системно ниво като се ползва информация от етап 3.

Определяне на критичните места и пътища: когато вероятността на несигурен режим на повреда на системно ниво превишава определените толеранси се определя пътя, който оказва най-голямо влияние за появата на проблема.

Използват се три метода за анализ на дървовидните диаграми:

1. Директна симулация – по метода на Латинския хиперкуб (LHS)
2. Monte Carlo анализ (MCS)
3. Директен анализ - основно използва апарата на булевата логика, съпоставен едно към едно с логическата диаграма на неизправностите.

III. Задачи за изпълнение

1. Да се конструира дърво на отказите за зададено електронно изделие.
2. На съставеното дърво на отказите да се получат сечения и се прегледа информацията по базисно събитие за всяко отделно сечение.
3. Да се извърши анализ на неопределеността за дървото на отказ от задача 1.
4. Да се анализира чувствителността на дървото на отказите.

IV. Указания за работа

За задача 1

Предварително се разучават използваните в програмата за анализ означения и дефиниции на базови събития, логически елементи, преходи, съединителни линии и особеностите при задаване на имена на базови събития и логически елементи от допълнителната информация в сайта (www.ecad.tu-sofia.bg/knea).

За задача 2

За да е възможно да се получат сечения на дървото на отказите трябва да са спазени някои условия:

- при съставянето му да се използва графичния редактор на софтуера;
- преходите на дърветата на отказите да са моделирани коректно, така че в дървото да отсъстват логически цикли, да има само един краен логически елемент и да е спазено съответствието между имената на елементите на прехода и имената на файловете на дърветата на отказите.

В тази опция се използва логиката на всички дървета на отказите, свързани с крайния логически елемент за дадена система. Количественото определяне на вероятността на дърветата на отказите се провежда по различни методи.

Следвайки инструкциите за работа с програмата по разглеждания пример на екрана се показват базовите събития, вероятността им за отказ и описание. Базови събития са тези, които водят до неуспех в работата, такъв може да бъде отказ на системата, човешка грешка или неблагоприятно условие.

Преглежда се информацията за всяко отделно базово събитие и се извършва търсене по логическата схема на дървото на отказите, като точно се указва от какво място на дървото на отказите са взетите събития.

За задача 3

При анализа на неопределеността се изследва изменчивостта на вероятността на крайното събитие на дървото на отказите на основата на неопределеността на вероятностите на базовите събития. За базовите събития програмата поддържа 12 вида разпределения. Препоръчва се работа с познатите логнормално и нормално разпределения. В програмата се използват методите LHS и MCS. За пресмятане на неопределеността след избор на един от посочените методи се въвежда броят на симулациите и начално число за генератора на случайни числа. Отчитат се по-важните резултати, получени на екрана.

За задача 4

Изследва се чувствителността на дървото на отказите, като се извършва коригиране на данните за базовите събития и се внасят изменения в логическата схема на дървото. Използвайте графичния или логическия редактор на дървото на отказите за внасяне на изменения в:

- логическата схема на дървото на отказите (например, да се добави или отстрани базово събитие, или да се замени логически ИЛИ(OR) с И(AND) елемент)
- данните – стойността на вероятностите или класа на събитията
- обновяване на сечение

Получава се отчет за внесените изменения и се извършва сравнение на отчетите с внесени изменения. Анализират се сеченията на дърветата на отказите.

V. Контролни въпроси

1. Какви са основните характеристики на метода FTA?
2. В кои случаи е особено полезен и трябва да се прилага FTA?
3. Да се опишат основните етапи на анализа на отказите посредством FTA?
4. Какви методи се използват за анализ на дървовидни диаграми на неизправностите?
5. Опишете процедурите за създаване на ETA и FTA?
6. Импълнението на какви функции може да се проследи при прилагане на ETA?

**Анализ на режимите на отказ и техните последствия.
Анализ на критичността**

I. Цел на упражнението

Прилагане на процедурите за анализ на видовете откази и техните последствия (FMEA) и анализ на отказоустойчивостта (FMECA) за електронни изделия.

II. Теоретична част

Подобно на качеството, надеждността изисква непрекъснат мониторинг, управление и подобряване. За обслужване на процеса на събиране на информация за надеждността (включваща отказите), на анализ и на проектиране са развити специални процедури. Примери за такива процедури са: FRACAS – "Система за отчитане на откази, анализи и коригиращи дейности" (изискване на MIL-Q-9858, който е основата на сериите ISO 9000) и FMEA – "Процедура за анализ на неизправностите и последствията от тях" (изискване на стандарт QS 9000). По-популярно (особено при производство на електронни изделия за невоени цели) от FRACAS е FMECA. През концептуалната и проектантската фази, както и през фазата на производство FMECA е една значима процедура за предотвратяване на появата на откази. FMECA набляга на дефектите преди да станат факт. Процедурата опитва да идентифицира всички потенциални дефекти, които могат да се появят и това се прави достатъчно рано, за да се постигне предотвратяване на откази в действителната крайна идея и конструкцията на изделието. Процедурата е стандартизирана [15, 21]. Пример за FMEA процедура е даден на фиг. 7.1.

FMEA е надеждностна процедура, която документира всички възможни дефекти в конструкцията на една система (компонент, сборка, апаратура) с помощта на определени основни правила. Тя определя (чрез извършване на анализ на вида на отказа, въздействието на всеки отказ върху работата на системата) и идентифицира местата на единични откази, които са критични за успеха на мисията или безопасността. Тя може да подреди по значимост (дава ранг) всеки отказ според категорията на критичност на въздействието на отказа и вероятността за появяването му. Процедурата е резултат на две стъпки: FMEA и CA. При прилагане на анализа, всеки изследван отказ се разглежда като отделен и единствен отказ на системата т.е. анализ на единичен отказ. FMEA може да се извърши без критичен анализ (CA). Провеждането на CA изисква чрез FMEA предварително да са идентифицирани критичните видове откази за компонентите при проектирането на системата. Когато са извършени двете стъпки, пълната процедура се нарича FMECA.

FMEA използва индуктивна логика в подхода "отдолу нагоре" Започвайки от най-ниско ниво на системната йерархия (т.е. от компонентите) и от едно познаване на режимите на отказ на всяка част, анализът проследява системната йерархия, за да се определи въздействието на всеки режим на отказ върху работата на системата. FMECA е процес свързан с отказоустойчивостта, при който се документират по определени базисни правила всички неизправности, които могат да възникнат в дадена система. Това дава възможност да се определят последствията от всяка възможна неизправност при работа на системата и да се откриват характерни особености от критично значение за реализирането на поставените задачи или за сигурността на работещите. Повредите се подреждат както по значимост, така и в зависимост от вероятността им да се появят. Оценкаването се прави на две стъпки: анализ на неизправностите и последствията и критичен анализ [21].

Лабораторно упражнение 7

FMEA могат да се прилагат за анализиране на готови продукти. Изпълнението на анализа протича лесно с причинно-следствения и структурния тип анализ на "дървото на отказите - (FTA)".

Причинно – следствените диаграми (виж Сем. упр. №2) показват логическата връзка между причините (събития, които не се анализират по-задълбочено) и последствията. Диаграмите показват последствията най-отгоре, а причините отдолу. FMEA се занимава с долната част от диаграмите. FTA е също част от диаграмите (виж Лаб. упр. №6). То се състои само от едно последствие и всичките му асоциирани разклонения. Причинно – следствената диаграма се изгражда като се насложат поотделно създадените дървовидни структури.

FMEA се състои от две фази, които предоставят в документиран вид анализа на всички критични за една система компоненти. Първо обаче трябва да се дефинира понятието повреда на ниво система, подсистема и понякога дори на ниво компонент.

Първата фаза започва едновременно със започването на проектирането и се обновява периодично по време на разработката, за да се отразяват последно направените промени. Втората фаза се провежда преди или по време на изготвянето на подробните чертежи [21].

Фаза 1 включва:

1. Съставяне на символна логическа блок диаграма
2. Провеждане на анализ на повредите, като се вземат в предвид различните случаи: отворени връзки, къси съединения, пробив в диелектрик, остаряване, промяна на параметрите
3. Подходящо идентифициране

на системата и частите

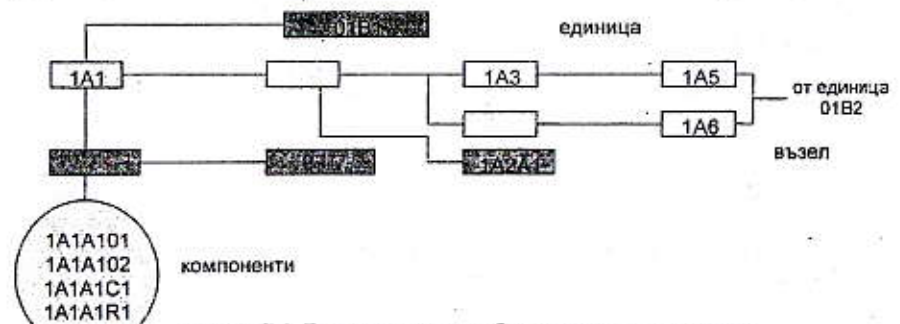
4. Съставяне на списък с критичните за правилната работа на системата елементи

Лабораторно упражнение 7

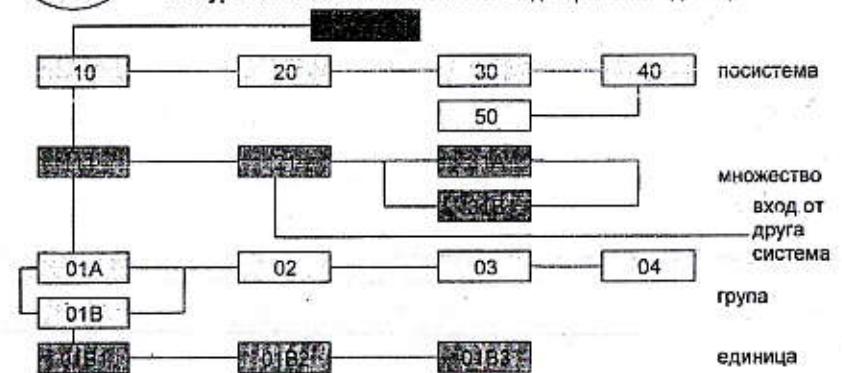
По време на отказ на фаза 2 резултатите от фаза 1 се преразглеждат и обновяват съответно новите промени в дизайна. Като допълнение се преценява степента на критичност в системата.

По време на първата фаза се преминава през следните стъпки:

1. Съставя се символна логическа блокова схема. Тя се разработва за цялата система, за да може да се отразят функционалните връзки между елементите на системата и да определи и обозначи нейните подсистеми. Това не е функционална схема или схема на сигналните потоци, а модел за първоначален анализ на слабите места. На фиг. 7.2 и 7.3 са представени две типични блокови диаграми. Първата илюстрира функционалните зависимости между подсистемите, подгрупите обхванати в дадената система. Втората диаграма показва зависимостите между различните съставни части и възли, които изграждат единичен блок от първата диаграма.



Фигура 7.2. Типична символна блок диаграма на единица



Фигура 7.3. Типична символна логическа блок диаграма на системата

2. Провежда се анализ на повредите/отказите за всеки блок от диаграмата, който отразява ефекта от всяка повреда на даден елемент върху производителността на следващото по-високо ниво в диаграмата.

Фаза 2 включва:

1. Символната блок диаграма, анализа на отказите и техните последствия, като номенклатурата и списъка с критичните елементи се преразглеждат и обновяват.

2. Определят се критичността, според приложимия за дадената единица режим на повреда, вероятностния коефициент за повреда и неизправност. Тази част от анализа е предимно количествена.

Критичността се дефинира с уравнението:

$$(KR)_i = \alpha_{ij} \beta_{ij} \lambda_i \quad (2.1)$$

където: α_{ij} - вероятностен коефициент за елемент "i" в "j"-ти режим на повреда; β_{ij} - вероятност за възникване на системна повреда заради елемент "i", който е в "j"-ти режим на повреда; λ_i - честота на повреда на елемент "i"; $(KR)_i$ - критичност (степената на системна повреда поради елемент "i", който е в "j"-ти режим на повреда).

Приоритетен рисков ранг (Risk Priority Number - RPN)

Алтернативен подход на критичния анализ е определянето на приоритетен рисков ранг. RPN предоставя качествена оценка на риска на проектиране. Този номер се използва за подреждане на различните видове откази, с които се занимава FMEA. RPN се дефинира с:

$$RPN = (C) * (P) * (O), \quad (7.1)$$

където (C) – сериозност (P) – повторяемост/честота, а (O) е откриваемост.

Сериозността (C) е оценка за степента на влияние на потенциалния режим на отказ върху следващия компонент, подсистема, система или потребител, ако тя се случи. Оценява се по скала от 1 до 10 [25].

Повторяемостта (P) е възможността дадена причина да се появи. Това е по-скоро индексен номер, отколкото вероятност. Единственият начин за намаляване на повторяемостта е чрез премахване или контролиране на причините за повреда чрез промяна в проектирането. Оценява се също по скала от 1 до 10 [25].

Текущ контрол при проектиране

Това е допълнителен параметър, който се дефинира като предпазващи, проверяващи, утвърждаващи и др. действия, които осигуряват достатъчна защитеност на проекта от възникване на анализираната неизправност. Това са проверката на проекта, математическите описания, оценката на осъществяемостта, тестването на прототип и т.н.

Съществуват три вида текущ контрол:

- такъв, който предотвратява появата на причинителя на отказ или на самия отказ, или намалява степента на тяхната повторяемост
- такъв, който засича причината за отказ
- такъв, който засича самия отказ

Откриваемостта (O) е оценка на способността на втория и третия текущ контрол за откриване на потенциални причинители и механизми за възникване на неизправност или само за откриване на неизправности преди компонента, подсистемата или системата да отиде за производство. Оценява се по скала от 1 до 10 [25].

III. Задачи за изпълнение

1. Да се експериментират с примерни данни особеностите на отделните стъпки от анализа и оформяне на отчета за надеждността процедура FMEA.
2. При зададени примерни данни за проектиране на изделие да се реализира процедурата Design FMEA.
3. Да се изпълнят стъпките за количествен анализ на отказоустойчивостта FMECA за избран компонент и да се генерира отчет на анализа във формат по стандарта Mil-Std-1629A.

IV. Указания за работа

За задача 1.

Първата стъпка е да се стартира софтуера и да се въведе необходимата работна среда чрез Setup Wizard като се конфигурира софтуера за специфичния начин на работа. След това трябва да се отвори съществуващата стандартна база данни. В прозореца Project на който трябва да се зададе име са представени всички единици, функции, откази, ефекти, причини, контроли, дейности и аксесоари, които трябва да се дефинират в един проект и които осигуряват всички тези елементи да се добавят или редактират в документа. Същият прозорец е разделен на два табла. На лявото табло се изобразява системната йерархия, която включва всички единици, които са дефинирани в проекта. На таблото в дясно се изобразяват функциите, отказите, ефектите, причините, контрола и дейностите свързани с текущата избрана единица от таблото на системната йерархия. Колоните в двата панела могат да се преконфигурират чрез User Setup. За запознаване с работната среда се работи с менюто и командите по указанията в сайта (www.ecad.tu-sofia.bg/knea). Целта е да се променя броя на единиците, да се изучи вида на работната страница и двата вида представяне на анализа - в табличен формат и като дървовидна структура, да се филтрира FMEA информацията свързана с избрана единица, избор на на-висок приоритет и задаване на ранг и цвят на приоритетите, генериране отчет и диаграма на анализа.

За задача 2.

Създава се нова база данни и за нея се създава нов проект и се извършват всички необходими настройки за новия анализ по указанията в сайта (www.ecad.tu-sofia.bg/knea). Дефинира се системната конфигурация на изделието. Прозорецът Analysis Properties позволява да се дефинира заглавната информация, която трябва да се изпише отгоре на работната страница на FMEA отчета. Дефинират се функциите на единицата от примера, потенциалните откази, следствията/ефектите от потенциалните откази, причините за откази, след което автоматично се определя началния и ревизирания RPN. За всяка причина може да се идентифицира контрола за намаляване или елиминиране на риска свързан с потенциалната причина за възникване на отказ. Също така може да се дефинират дейности за подобряване на контрола. Отчетът може да се генерира в средата на Microsoft Word и/или Excel като графики или диаграмиза графична презентация.

За задача 3.

Създава се нов проект за FMECA. Дефинира се изделието и изпълняваната от него функция по указанията в сайта (www.ecad.tu-sofia.bg/knea). Въвеждат се потенциалните причини за откази и въздействието на отказите заедно с фактора на критичност, определен за всеки вид отказ. Извършва се автоматичен анализ на отказоустойчивостта според избрания стандарт. Накрая се генерира отчет на FMECA.

V. Контролни въпроси

1. Възможно ли е FMEA да замени нуждата от задълбочени инженерни анализи по време на проектирането и да предостави решение на проблемите?
2. Кои са най-важните функции на FMEA?
3. Какъв тип логика се използва при FMEA и FTA?
4. Анализирайте двете фази на FMEA?
5. Какво представлява приоритетния рисков ранг?
6. Сравнете процедурите FMEA и FMECA.

ОКАЧЕСТВЯВАНЕ НА ТЕСТОВИ СТРУКТУРИ ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ЕЛЕКТРОХИМИЧНА МИГРАЦИЯ

I. Цел на упражнението

Запознаване с технологичен метод и качествяването му при изготвяне на тестови структури. Изследване на електро и електро-химичната миграция на тънки проводящи слоеве от сребро по метода "на капката" с оглед определяне на надеждността им при използване в микросхеми.

II. Теоретична част

Във връзка с микроминиатюризацията на електронните устройства, в частност при създаването на мощни полупроводникови прибори и интегрални схеми с повишена степен на интеграция, електромиграцията в тънкослойните проводници се е утвърдила като една от основните причини за техните откази. Повишеният интерес към явлението се обуславя от целите и задачите при създаването на високонадеждни съединения в интегралната схемотехника. Това е свързано с изменението на свойствата на веществото намиращо се в тънкослойно състояние. Изменението на свойствата е обусловено от две основни причини: структурната нееднородност на тънките слоеве и зависимостта на свойствата на слоя от неговата дебелина, така наречения "размерен ефект".

Предмет на изследването е тестова структура от фолиран диелектрик, на която тънките проводници са покрити със сребърно покритие.

Технологичният метод за изготвяне на тестовата структура включва следните операции:

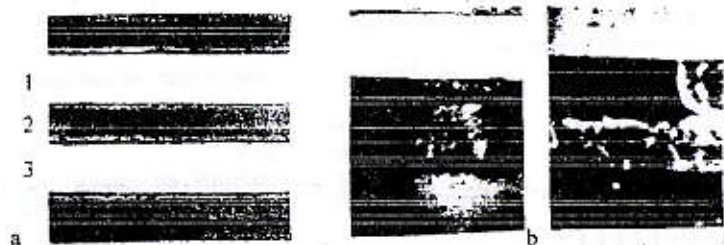
1. Визуален контрол на изходния материал – фолиран диелектрик.
2. Ламиниране на субтракта с негативен сух фоторезист
3. Експониране и проявяване на фоторезиста
4. Ецване на медното фолио
5. Сваляне на фоторезиста
6. Покриване на проводниците с покритие от сребро-антимон с дебелина 6 μm

Електромиграция

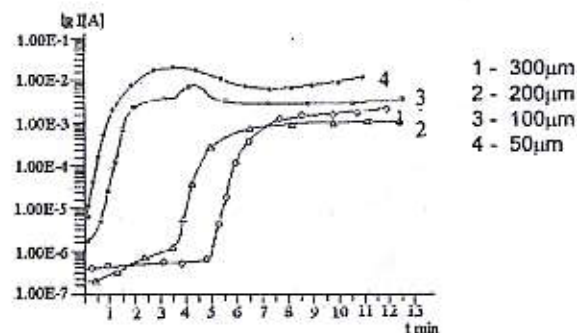
Много характерно явление за тънките проводящи слоеве е преноса на маса, стимулиран от електрически ток, наречен електропренос, електродифузия или електромиграция. Електромиграцията на металите в тънките слоеве има ред особености, обусловени от изменението на свойствата на веществата в тънкослойно състояние, предизвикано от структурната нееднородност и зависимостта на свойствата на тънките слоеве от тяхната дебелина. В резултат на това при електромиграцията на тези слоеве се натрупва маса от метала върху единия от краищата на проводника, а другия край "обеднява" на маса, вследствие на което се образуват празни пространства, прерастващи в пукнатни и разкъсвания на проводника. Този процес включва три етапа: електроразтваряне, което най-често протича на анода, йонно пренасяне чрез електромиграция и електроотлагане. Тези три етапа могат да се видят на фиг. 8.1а, б и с. Върху този тип миграция на слоевете оказват влияние и фактори като: вид и състав на слоевете, геометрията им, вида на подложката, дебелина на слоевете и разстояние между тях, температура [12, 13] На фиг. 8.2 са дадени типични криви на изменение на миграционния ток с времето при различни ширини на слойните проводници.

За изследване на електрохимичната миграция съществуват главно две групи методи.

1. ТНВ-тест (температура, напрежение, влага) се реализира като субстрати с изследваните проводници се поставят във влажна среда при определена температура и приложено напрежение в камера (термостат) за ускорени изпитания.



Фигура 8.1. Снимки на тестова структура а) преди миграция между слоеве AgSn (шини 1 и 3) отложени върху ситал (2); б) по време на миграция с) след миграция



Фигура. 8.2 Зависимост на миграционния ток от времето за различни ширини на Ag слойни проводници

Възможно е варирането на указаните вече условия на теста и използването на газови замърсители (SO₂, H₂S, HCl) във влажния въздух на камерата, т.е. използва се неконтролируема среда. Средното време на отказите при изпитването с ТНВ-теста е от няколко седмици до няколко месеци.

2. "Drop test", се реализира, като между два съседни тънкослойни

проводника, лежащи успоредно, намиращи се под напрежение, се поставя капка дестилирана вода. При теста могат да се вариат всичките условия, от които зависи електрохимичната миграция, например температура, напрежение или конструктивно-технологични фактори. Вместо вода, могат да се използват разтвори на електролити, съдържащи NaCl, KJ, лимонена киселина и др. Скоростта на електрохимичната миграция при "drop test" е 10⁴ пъти по-голяма от тази при ТНВ-теста и затова тя с право се приема за ускорен метод за изпитване на процеса.

III. Задачи за изпълнение

1. Запознаване с конструкцията и предназначението на тестовата структура.
2. Измерване на ширините на две двойки проводници и разстоянието между тях.
3. Определяне точността на технологичния метод на базата на стойностите на $d_{отмст}$, σ_1 и σ_2
4. Кратко описание на технологичния метод за изготвяне на тестовата структура.

5. Построяване на миграционна крива ($\lg|A|/t(s)$) за различен тип подложка, проводници и разстояние между тях.

6. Да се анализират трите етапа на миграционната крива.

IV. Указания за работа

За задачи 1-4

Методиката за окачествяване на тестовата структура (фиг 6.1) включва следните задачи за изпълнение:



Фиг.6.1. Тестова структура

1. Измерване с микроскоп на ширините на две двойки проводници и разстоянието между тях. На фотошаблона на структурата в три точки: в края и средата на проводниците.

2. Същите измервания се правят на тестови структури с проявен фоторезист и на структура с ецвано медно фолио и със свален фоторезист.

3. Резултатите се нанасят в табл. 6.1.

4. Отклонението от размерите на шините в проценти (колони 5 и 11 от таблицата) се определя като на измерените стойности за ширина на шините се определи средна аритметична стойност a_n [µm] по формулата

$$a_{откл} = \frac{\bar{a}_n - a_w}{a_w} \cdot 100\%$$

където $a_{откл}$ е процентното отклонение от размаха, а a_w е ширината в µm, взета от шаблона фиг.6.1. Отклонението в разстоянието между шините $\sigma\%$ (колони 6,7 и 12,13 от таблицата) се определя по формулите:

$$\sigma_1 = \frac{b_{ГК} - b_{СР}}{b_{СР}} \cdot 100\%$$

$$\sigma_2 = \frac{b_{ДК} - b_{СР}}{b_{СР}} \cdot 100\%$$

Табл. 6.1

номер на конфигурация	ширина на линиите	разстояние между линиите
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

където $b_{ГК}$ е разстоянието между шини горния край, $b_{ДК}$ е разстоянието между шините в долния край и $b_{СР}$ е разстоянието между шините в средата в µm.

5. Прави се извод за точността на технологичния метод на базата на стойностите на $a_{откл}$, σ_1 и σ_2 от таблица 6.2.

6. Да се опише кратко технологичния метод за изготвяне на тестовата структура.

За задачи 5 и 6

Методика за изследване на електрохимична миграция на тънки слоеве от сребро по метода "drop test":

1. Изходния субстрат от фолиран диелектрик, върху който проводниците от Cu са покрити със сребърно-антимонов покриване с дебелина 6µm. Тестовата структура на проводниците, разстоянията между тях и вида на носителя.

Табл.6.2.

Вид на образца	Първи комплект линии						Втори комплект линии					
	първа шина µm	втора шина µm	Разстояние между шините µm	$a_{откл}$ %	σ_1 %	σ_2 %	първа шина µm	втора шина µm	Разстояние между шините µm	$a_{откл}$ %	σ_1 %	σ_2 %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Обр. 1 Фото резист												
Обр. 2 След I ецване												
Обр. 3 След II ецване												

2. Между два (указани от преподавателя) успоредно разположени проводника на тестовата структура се капва капка дестилирана вода с обем 0,01ml. От токоизточник на двата проводника се задава постоянно напрежение (0,5V и 1,2 V). Миграционните токове се отчитат с цифров амперметър. Те са от порядъка на µA до mA и се измерват през 10s.

3. Резултатите се нанасят в табл.6.3.

Табл.6.3.

№ на шините от шаблона	Време, s	Миграционен ток, mA							

4. На базата на табл.6.3 се построява миграционна крива ($\lg|A|/t(s)$), която се характеризира с три етапа:

- първи, характеризира се с ниски стойности на миграционния ток (µA), който съответства на насищането на капката със сребърни йони от анода;
- втори, характеризира се с рязко нарастване на миграционния ток, който съответства на протичането на йонен ток през електролита;
- трети, харктеризира се с висока (mA) и постоянна стойност на миграционния ток. В този етап токът протича през сребърни дендрити (мостчета) върху диелектрика, израстнали от "анода" към "катода". От кривата се прави извод за скоростта при конкретните условия.

V. Контролни въпроси

1. Опишете накратко технологичния метод за изготвяне на тестовата структура.
2. Характеризирайте носителя на тестовата структура.
3. Какви са методите за изготвяне на печатна платка?
4. Дефинирайте явлениято електромиграция в микроелектронните устройства.
5. Кой са методите за изследване на електрохимичната миграция?
6. Какви дефекти се появяват в приборите в резултат на електромиграцията?

СИСТЕМИ ЗА УПРАВЛЕНИЕ НА КАЧЕСТВОТО. ОДИТ

I. Цел на упражнението

Запознаване с основните изисквания на системите за управление на качеството. Проиграване на основни моменти от одит, при което студентите се подготвят като одитирани и като одитиращи.

II. Кратка теоретична част

Изискването за въвеждане на системите за управление на качеството (СУК) в организацията става все по-наложително. Съществуват няколко стандарта регламентиращи тези системи, като основен може да се приеме ISO 9000 [3, 6]. В него са залегнали следните основни елементи:

1. Клауза 4 от стандарта регламентираща общите постановки в СУК. Включени са изискванията към документацията, наръчника по качеството, управлението на документите и записите.
2. Клауза 5 се отнася до отговорността на ръководството, което трябва да декларира своята ангажираност, ориентираност към потребителя, политиката си по качеството, планирането, отговорности и правомощия, прегледа на системата.
3. Клауза 6 е относно управлението на ресурсите, включително човешки заедно с обучението, инфраструктурата, работната среда.
4. Клауза 7 дава изискванията по реализацията на продукта. Планиране, процеси свързани с клиента, проектиране (с неговите елементи) разработка, закупуване, производствени и обслужващи дейности, управление на средствата за контрол и измерване.
5. В 8 клауза са разгледани измерванията, анализа и подобряванията на процесите.

Задължение на ръководството на организацията е да мотивира персонала за въвеждането на СУК. Оценка за ефективността на системата се получава чрез одита. Одитът може да бъде вътрешен и външен. Всяка организация работеща по изискванията на ISO 9000 гарантира качеството, но трябва да бъде убедена, че и нейните партньори също имат действаща СУК. Това се постига чрез взаимен одит. В най-концентриран вид политиката по качеството в една фирма е представена в наръчника по качеството.

За да се гарантира изискването, т.е. качеството е необходимо нещата да се правят така както трябва. Второто условие е, че трябва да е изградено съзнание за правене на нещата така както е написано. Накратко това е дисциплина и самодисциплина. Описанието (процедурите) обхващат практически всички страни на процесите. Например част от изискванията на стандарта QS 9000 са:

Управление на процесите - Елемент 4.9

- Наблюдение на процесите и указания за работа на операторите - 4.9.1
- Поддържане на управлението на процесите - 4.9.2
- Изменение на изискванията към управлението на процесите - 4.9.3
- Проверка на настройката на операциите - 4.9.4
- Изменения на процесите - 4.9.5
- Въпроси, свързани с външния изглед - 4.9.6

Контрол и изпитване - Елемент 4.10

- Общи положения - 4.10.1
- Приемателен контрол и изпитване - 4.10.2
- Контрол и изпитване по време на процеса - 4.10.3
- Краен контрол и изпитване - 4.10.4
- Документи и данни от контрола и изпитването - 4.10.5

Изисквания към лабораториите на доставчика - 4.10.6
Акредитирани лаборатории - 4.10.7

Всяко едно от изискванията се характеризира с нова поредица от изисквания. Целта е да се гарантира стабилност на изпълнението на процесите.

Наблюдение на процесите и указания за работа на операторите 4.9.1

Доставчикът трябва да осъществи документирано наблюдение на процесите и работни инструкции за всички служители, които имат отговорности за осъществяването на процесите. Тези инструкции трябва да бъдат достъпни на работното място. Работните инструкции трябва да бъдат на разположение през времето, когато са необходими, без прекъсване на работата, която се извършва от оператора. Те трябва да бъдат взети от източниците, изброени в Наръчника.

Планиране на повишено качество на продукти и план за контрол

Наблюдението на процеса и инструкциите за работа могат да бъдат във вид на операционни карти, инструкции за контрол и лабораторни изпитвания, маршрутни карти, процедури за изпитване, стандартни операционни карти или друга документация, която обикновено се използва от доставчика за осигуряване на необходимата информация.

Наблюдението на процесите и указанията за работа трябва да включват или да се позовават, когато е необходимо, на:

- Наименование на операцията и номер, присвоен на процеса в Диаграмата за протичане на процеса
- Наименование и номер на детайла или на групата от детайли
- Текущо състояние на обработка/дата
- Необходими инструменти, измервателни прибори и друго оборудване
- Идентификация на материала и инструкции за разпореждане
- Специални характеристики, определени от клиента и до доставчика
- Изисквания за статистически контрол на процеса
- Съответните стандарти за обработка и производство
- Указания за контрол и изпитване (виж 4.10.4 от сайта на КНЕА)
- План за действие
- Дата на преразглеждане и утвърждаване
- Визуални помощни средства
- Интервали за смяна на инструментите и указания за настройка

III. Задачи

1. Да се формулира предмет на дейност и да се опишат основните изисквания за качество към него.
2. Да се изработи декларация на висшето ръководство за ангажиментите по отношение на качеството.
3. Да се изработи кратък макет на наръчник по качеството.
4. Да се подготвят въпроси за одит на СУК чрез които да се провери нейното функциониране.
5. Да се извърши одит по изготвения въпросник.
6. Да се направи анализ на отговорите на въпросника и да се набележат коригиращи действия.

IV. Методически указания по изпълнението на задачите

От сайта на дисциплината (www.ecad.lu-sofia.bg/knea) студентите трябва предварително да са се запознали с "Указания за разработване на наръчници по качеството" и "Указания за одит на системи по качеството".

Групата се разделя на две подгрупи, които обособяват две организации. Всяка от организациите формира две групи. Първата е отговорна за въвеждането на СУК, а втората е изпълнителският персонал. При група А това са А1 и А2, и при организация Б – съответно Б1 и Б2.

Етап първи:

Първа част

Групи 1 подготвят кратък материал по въвеждането на системата (основни процедури). Време за изпълнение – 25 до 30 минути. Групи 2 се подготвят за вътрешен одит, като подготвят въпросници включващи отворени и затворени въпроси.

Втора част

В тази част групи 2 извършват одит на подготвеното от групи 1. Попълват се съответните документи. Време за изпълнение 15 до 20 минути.

Трета част

Групи 2 подготвят кратък отчет за одита в рамките на 10 минути и след това се докладва в рамките на 10 минути пред групи 1 на собствената организация.

При докладването двете групи работят паралелно. След това водещият дава думата на "ръководството" на двете групи да направят оценка в рамките на 5 – 10 минути.

Етап втори:

Първа част

При този етап отново се проиграват ситуацията от етап първи с тази разлика, че групи 2 извършват корекции в собствените си организации, като резултат от одита и се подготвят за одит. Групи 1, отчитайки резултатите от одита подготвят въпросници за одит в другата организация. Времетраене на етапа – 25 до 30 минути.

Втора част

Групи 1 извършват одит в другата организация по схемата от първия етап. Времетраене до 20 минути.

Трета част

Тя е аналогична на тази от етап първи, като докладва одитиращата група 1 пред група 2 на другата организация.

Етап трети:

При този етап всяка подгрупа 1, 2 подготвя оценка по шестобалната система за представянето на другите групи – в собствената и в другата организация.

V. Изводи

Всяка група оформя собствените си записи. Описателно се прави заключение относно възприемането на СУК от екипа и декларираната политика по качеството.

VI. Контролни въпроси

1. Каква е целта на СУК?
2. Какво представляват процедурите в СУК?
3. Какво е наръчник по качеството?
4. Каква е ролята на одита?
5. Какво е процесен подход?

ПРИЧИННО-СЛЕДСТВЕНА ДИАГРАМА. МЕТОД НА ТАГУЧИ

I. Цел на упражнението

Изготвяне на причинно-следствена диаграма. Запознаване с метода на Тагучи при проектиране на експерименти за определяне качеството на електронна апаратура.

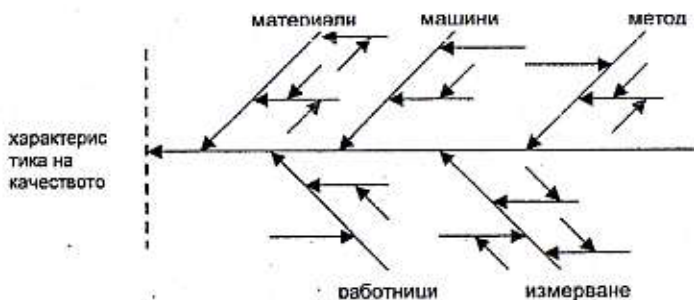
II. Кратка теоретична част

II.1. Причинно - следствена диаграма (Диаграма на Ишикава)

Диаграмата представя по нагледен начин структурната връзка между характеристиката на качеството и действащите върху нея фактори [9, 4]. Тези фактори е прието да се наричат фактори на разсейването или причинни фактори, а характеристиката на качеството представлява следствието от въздействието им. Основна задача при съставяне на диаграмата е да се определят всички възможни източници на разсейване и от тях да се отделят няколко съществено влияещи. След това тези няколко фактора се стандартизират и управляват, така че при поддържането им в определени граници, измененията на характеристиката на качеството да са допустими. За да се получи достатъчно пълна диаграма, при построяването ѝ е много важно да участват в активна дискусия (метод на мозъчната атака) повече хора, познаващи изследваното производство.

Последователността на изготвяне на диаграмата включва:

- а) Определяне и записване на характеристиката на качеството, като срещу нея се начертава хоризонтална черта;
- б) Определяне на причинните фактори. Най-напред се нанасят основните и се означават със стрелки към главната стрелка. След това към тях се начертават стрелките, съответстващи на вторичните фактори ит.н. (фиг. 3.1).



Фиг. 3.1 Диаграма на Ишикава

г) На всеки един от факторите се преписва значимост като се отбелязват тези от тях, които съществено влияят върху характеристиката на качеството;

д) Върху диаграмата се записва допълнителна информация (дата, вид на изследването, участници и др.).

Методите за построяване на причинно-следствената диаграма са:

- а) Чрез анализиране на разсейването – При изготвяне на диаграмата (фиг.3.1) непрекъснато се задава въпросът защо се получава разсейването, докато се открият

и свържат всички фактори, обуславящи изменението на характеристиката на качеството. Препоръчва се отговорът да се търси чрез правилото на "петте М". Това означава вариациите да се търсят по следните пет направления: в машините и екиперовката (Machinery) и екиперовката; в метода (Method) на работа; в работниците (Manufacturer); в измерванията (Measurement). В зависимост от конкретната задача е възможно някои от тези направления да се обединят, а също и да се използват и други направления като пари, процедури и др.

б) Чрез класифициране на производствения процес – Построяването на диаграмата се извършва в последователността, в която се реализира производствения процес. Във всеки етап на процеса се търсят причинните фактори.

в) Чрез изброяване на причините – Методът обединява следните две дейности: изброяване на възможно повече причини и систематичното им подреждане. За построяване на диаграмата изброените причини се подреждат систематично, започвайки от малките разклонения към средните, докато се стигне към големите клонове.

II.2. Метод на Тагучи за анализ на дефекти

Целта на методите за проектиране на експерименти (Design Of Experiments - DOE) е да се идентифицират условията подобряващи избрани критерии [15, 16]. DOE, базиран на метода на Тагучи, дава възможност за бързо усъвършенстване на качеството и намаляване на цената на електронното изделие. Методът на Тагучи е широко разпространен, защото може да се прилага успешно във всяка инженерна дейност, включително проектиране на продукта и процеса на изготвянето му. В основата на метода на Тагучи стои концепцията, че изделието трябва да се произведе на оптимално ниво, което се постига чрез намаляване на чувствителността на продукта или процеса към неконтролируемите фактори. Намирането на тези оптимални условия обикновено не е лесно.

Подходът на Тагучи състои от две основни стъпки: създаване на изделието по възможно най-добрият начин (с минимални отклонения) и производство на идентични изделия (малки отклонения между различните изделия).

Метода на Тагучи за проектиране на експеримент с цел подобряване на качеството на изделията включва десет основни стъпки за оптимизиране на продукцията, които се обединяват в четири фази – планиране на тестванията, провеждане на експериментите, анализирание на резултатите и прилагане на решенията:

1. Фаза на планиране:

Стъпка 1. Разпознаване и определяне – Проблемът трябва добре да се разучи. Той може да е свързан с разработка на нови изделия и процеси, подобряване на работни характеристики на изделието, усъвършенстване на процеси.

Стъпка 2. Характеристики на качеството – Изборът им определя броя на тестовите. Тези изходни величини могат да бъдат променливи или константни.

Стъпка 3. Избор на фактори – Това е най-важната стъпка при проектирането. Подобен експеримент изследва най-важните фактори, като броят на изследваните им нива е възможно най-малък – обикновено 2 нива.

Стъпка 4. Класификация на факторите – Те се класифицират на контролируеми, шумови (неконтролируеми) и сигнални. Сигналните фактори са тези, които оказват влияние на работните характеристики на изделието, но не влияят върху дисперсията на характеристиките.

Стъпка 5. Определяне на нивата – За количествени фактори (налягане, скорост итн.) обикновено се използват две нива, особено в ранните стадии на тестване. За качествените фактори обаче са необходими повече от две нива. Тагучи

препоръчва използването на три нива, ако се очаква нелинейно въздействие на контролните фактори върху характеристиката на качеството.

Стъпка 6. Взаимовръзка – Връзка между два изследвани фактора има, когато ефекта на единия върху характеристиката на качеството се променя при промяна на нивото на другия фактор. Трябва да се реши дали да се изследва дръзката. Обикновено връзките при шумовите и сигналните фактори не се изследват при производственото проектиране.

Стъпка 7. Ортогонален ред – Избира се подходящ ортогонален ред. Ортогоналните редове са набор от таблици създадени от Тагучи, позволяващи да се изучи ефекта на многоконтролни и шумови фактори върху качествените характеристики с минимален брой опити. Ако експеримента изследва шумови фактори са необходими два ортогонални реда. Изборът на ортогонални редове се определя от броя на изследваните оптимизационни фактори, броя на връзките между тях, броя на нивата на изследване на всеки фактор и от цената. За да сме сигурни, че сме направили правилния избор трябва да проверим дали степените на свобода на ортогоналния ред са повече или поне равен брой на степените на свобода необходими за изследване на ефектите. След избор на подходящ ортогонален ред се разполагат факторите и връзките между тях.

2. Фаза на провеждане:

Стъпка 8. Провеждане на експеримента и отчитане на резултатите – За да сме сигурни в успешното провеждане на експеримента предварително се проверяват наличност на апаратура, място и околна среда за провеждане на експеримента, анализ на разходите, записване на данните, повторение на експеримента, зависимост на експеримента от времето.

3. Фаза на анализ:

Стъпка 9. Анализ на резултатите – Анализът включва:

- Определяне на факторите, оказващи влияние върху работните характеристики на изделието;
- Определяне на параметрите на процеса, които влияят на отклонението на работните характеристики;
- Определяне на нивата на проектираните фактори, даващи оптимални резултати;
- Решение дали е възможно по-нататъшно усъвършенстване.

4. Фаза на решение:

Стъпка 10. Прилагане на решение – За да се направят изводи за проведения експеримент е необходимо да се проведе потвърждаващ тест. Ако резултатите се потвърждават се преминава към усъвършенстване на изделието. След прилагане на решението се конструират контролни карти за характеристиките на качеството. Ако обаче резултатите от потвърждаващия експеримент се различават от тези на първоначалния, се търсят възможните причини за това.

III. Задачи

- Да се построи по два различни метода причинно – следствена диаграма за етап от производствения процес на електронно изделие.
- Използване метод на Тагучи при проектиране на експеримент за анализ на дефекти от спояване.

IV. Методически указания по изпълнението на задачите

За задача 1

Посочва се една от характеристиките на качеството на електронно изделие и съответните параметри, които при излизане от зададените им стойности я нарушават.

Описват се отделните операции на избран процес и целта на провеждането им. Като се имат предвид разгледаните операции, трябва да се построят две причинно-следствени диаграми:

1. Чрез анализиране на разсейването и търсене на възможните фактори, причиняващи разсейването в петте направления споменати по-горе;

2. Чрез класифициране на производствения процес като се има предвид последователността на операцията и маркиране на тези, които влияят върху разглежданата характеристика.

Сравняват се двете диаграми и се записват предимствата и недостатъците на двата метода за тяхното построяване.

За задача 2

Първоначално се дефинира проблема, след което се определят важните за разглеждания процес фактори. Съответните фактори, влияещи върху изходната характеристика се класифицират на контролируеми и шумови (неконтролируеми). Избират се изходните характеристики и критерии. Попълва се табл.3.

Табл.3.1. Фактори на процеса

Фактори, мерна единица	Ниво 1	Ниво 2	Ниво 3
A:			
B:			
C:			
D:			

V. Изводи

Да се посочат предимствата и недостатъците на различните методи за построяване на причинно-следствена диаграма. Да се анализират най-добрите резултати за разглеждания пример по метода на Тагучи. Да се изброят възможните причини в случай, че резултатите от потвърждаващия експеримент се различават от тези на първоначалния.

VI. Контролни въпроси

1. Какво е основното предназначение на причинно-следствената диаграма?
2. Кои са етапите при изготвяне на причинно-следствената диаграма?
3. Какви методи се използват при изготвяне на причинно-следствена диаграма?
4. Кога и защо се прилага метода на Тагучи?
5. Какви са особеностите на фазите и стъпките при проектиране на експерименти по метода на Тагучи?
6. Какво представляват ортогоналните редове за метода на Тагучи?

ПРОВЕРОЧНИ (КОНТРОЛНИ) ЛИСТОВЕ. ДИАГРАМИ НА ПАРЕТО

I. Цел на упражнението

Съставяне на различни видове контролни листове. Построяване на диаграми на Парето. Анализиране на данни от контролни листове чрез общи и разслоени Парето диаграми.

II. Кратка теоретична част

II.1. Проверочни (контролни) листове

Проверочните (контролните) листове представляват предварително подготвени формуляри, в които се записват данни за изследваното изделие или процес. Контролните листове дават възможност да се класифицират данните още в момента на тяхното постъпване. Главната цел при употребата им е двустранна: да се направи лесно събирането на данни и да се подреждат автоматично данните, така че след това лесно да се използват [2, 8].

Събирането и записването на данните изглежда просто, но е особено важно предварително да се обмисли добре формата на контролния лист.

Да допуснем, че ни интересува разсейването на действителната стойност на капацитета на кондензатор около номиналната му стойност равна на 120 pF. За даденния клас кондензатори е необходимо отклоненията да са в граници $\pm 5\%$ от номиналната стойност, т.е. 120 ± 6 pF. Формулярът се приготвя предварително. Върху оста, съответстваща на измерваната величина, се нанася номиналната стойност, а разграфяването встрани от нея се извършва с известен резерв (например в случая $\pm 10\%$ pF). Върху другата ос, съответстваща на честотите, разграфяването се извършва в зависимост от предвидения общ брой на измерванията. След всяко измерване е необходимо единствено да се постави избрания символ (например кръстче) на съответното място и хистограмата е готова след завършване на измерванията. Полученият проверочен лист след измерването на капацитетите на партида от 100 кондензатора е показан на табл.3.1.

Табл.3.1 Проверочен лист за разпределение

честоти → проверки ↓	15	18	20	14	13	9	6	3	1	1
25			x							
20		x	x							
15	x	x	x	x						
10	x	x	x	x	x					
5	x	x	x	x	x	x				
отклонения (pF)	-10	-8	-6	-4	-2	0	2	4	6	8
номин. стойн. (pF)	120									

Контролният лист, освен че дава представа за вида на разпределението, е полезен и с възможността да се направи сравнение със специфицираните граници.

С оглед да се намали броя на дефектните изделия е необходимо да се знае не толкова техния брой, а кои видове дефекти (или позиции на дефектност) са най-често срещани и кои - по-рядко. Ако се разполага с такива данни, може да се състави проверочен лист за позиции на дефектност и да се направи промяна в производствения процес, там където е необходимо.

При проверочни листове за причините за дефектност се използва едно по-нататъшно изследване на данните с цел да се установят причините за дефектите. За целта още преди събирането на данните трябва да е ясно кои са причинните фактори и как да се отбелязва съответствието между данните, отнасящи се до причините и данните за следствието от причините. Събраните по такъв начин данни се анализират чрез разслояване по причинни фактори или с помощта на диаграми на разсейване. В по-простите случаи съответните изводи могат да се извлекат направо от контролния лист.

II.2. Диаграми на Парето

При производството на дадено изделие се оказва, че отклоненията в качеството му обикновено се дължат на голям брой причини. Но въпреки многообразието им те се разделят на две основни групи. Едната се състои от малко на брой, но съществено влияещи причини. Другата група включва всички останали, оказващи несъществено въздействие върху характеристиката на качеството. Диаграмите на Парето позволяват експериментално да се отделят "няколкото съществени" причини от "многого незначителни" [18, 21]. Възможно е също да се определи количествено значимостта на всяка от причините.

Целта при построяване на диаграма на Парето е да се открият съществените причини и значимостта на тяхното влияние върху качеството. Ако тази цел се осъществи, диаграмата открива възможност за значително намаляване на загубите от некачествена продукция.

Последователност за построяване на диаграмата на Парето:

1. Определяне на вида на проблема и начина на събиране на данните. Диаграмите на Парето се използват за построяване на всякакъв вид подобрения, но всичките те е възможно да се класифицират в следните основни групи:

а) *За явления* – към нея се отнасят диаграми, целящи откриването на проблема в направления като качество, стойност, доставки, безопасност и др.

б) *За причини* – обхваща диаграми, изследващи производствения процес в следните направления: работник, машина, суровини и материали, метод на работа и др.

След определяне целта на изследването се изяснява какви данни ще се събират, как ще се класифицират (напр. според вида на дефекта, метода, машините, работниците и др.), начина на събиране на данните и периоди от време (ден, седмица, месец и т.н.).

2. Съставяне и попълване на формуляра за събиране на данни. Позициите на дефектност предварително са изброени като последната носи названието "други". Оставя се необходимото място за сумите по отделните позиции, които се пресмятат след попълване на листа.

3. Съставяне на таблицата за построяване на диаграмите на Парето. Тя съдържа позициите, съответните им суми, натрупаните суми, процента на всяка една от сумите от общия брой дефекти и натрупаните проценти. При попълване на позициите те се пренареждат така, че съответните им суми да са в низходящ ред.

4. При това обаче, позицията "други" винаги се нанася накрая, независимо от съответната и сума.

5. Построяване на осите на диаграмата. Горизонталната ос се разделя на толкова интервала, колкото са класификационните позиции. Лявата вертикална ос се разграфява от 0 до общата сума, а дясната от 0 до 100%.

6. Построяване на стълбчатата диаграма. Височината на стълбчетата се определя от големината на сумата или процента за съответната позиция, в зависимост от това, коя вертикална ос се използва.

7. Построяване линията на натрупаната сума (крива на Парето). Строи се въз основа на натрупаната сума или натрупания процент и съответната вертикална ос.

8. Озаглавяване на диаграмата и записване на източника на данните, напр. вид изделие, време за снемане на данните, брой проверявани изделия, контролър, общ брой на дефектите и т.н.

III. Задачи

1. Да се състави проверочен лист за позиции на дефектност по данни зададени от преподавателя. Да се анализира резултата.

2. Да се състави проверочен лист за причините за дефекти на разглеждано изделие, при производството на което се работи на различни машини.

3. Да се построи диаграма на Парето и линията на натрупания процент. Да се анализира диаграмата за установяване на най-често срещаните дефекти като се използват данните за позициите на дефектност от задача 1.

4. Да се анализират данните от проверочния лист на задача 2 за причините за дефектите чрез различни Парето диаграми.

IV. Методически указания по изпълнението на задачите

За задача 1

От сайта на дисциплината (www.ecad.tu-sofia.bg/knea) се избира формуляр за проверочен лист за позиции на дефектност. При проведен 100% контрол видовете дефекти предварително са уточнени и трябва да се отбележат върху листа с чертичка срещу съответната позиция. Пресмята се броя на дефектите от всеки вид, а също и общия брой дефекти и се отбелязва във формуляра.

За задача 2

Като възможни причинни фактори в случая се разглеждат различните машини, операторите и дните от седмицата. За означаване на различните видове грешки при попълване на проверочния лист (формата му се взема от сайта) се използват различни символи: ●, ○, ■, □, ▲ и т.н.

За задача 3

Изготвянето на този проверочен лист съпада с извършване на т.1 и т.2 от описаната по-горе последователност за построяване на диаграмата на Парето. Въз основа на проверочния листа от задача 1 се съставя таблица от вида на фиг.3.1 (т. 3).

Като се използва таблицата от фиг.3.1 се построява диаграмата на Парето (т.4 ÷ 7).

За задача 4

Удобно е резултатите от използвания проверочен лист да се сумират и отразят в таблица, чиято форма се изтегля от сайта. След това се подготвя таблица за построяване на обща Парето диаграма от вида на фиг.3.1.

След това се следват долупосочените инструкции:

1. Определете кой вид дефекти е най-голям %.
2. Постройте общата Парето диаграма, като начертаете и линията на натрупания процент.
3. Постройте Парето диаграми и ги сравнете за различните оператори.
4. Постройте Парето диаграми и ги сравнете за отделните машини.
5. Постройте Парето диаграми и ги сравнете за отделните дни от седмицата. Анализирайте резултатите.
6. Дефинирайте проблемите, от решаването на които може чувствително да се намали общия брой дефекти в произвежданото изделие.

Фиг. 3.1. Позиции на дефектност подредени за съставяне на диаграма на Парето

Вид на дефекта	Сума на дефектите	Натрупана сума	% от общия брой	Натрупан процент
...
Други				
Обща сума на дефектите				

V. Изводи

Въз основа на разглежданите проверочни листове да се посочат основните видове дефекти. От диаграмите на Парето да се посочи най-високия % дефекти. След извършването на разслояване да се конкретизират причините за дефектите и да се определи накъде трябва да се насочат изследванията.

VI. Контролни въпроси

1. Каква е целта при употреба на контролните листове?
2. Кога е полезно да се съставя проверочен лист за позиции на дефектност?
3. Какво е необходимо да се извърши преди съставяне на проверочни листове за причините за дефектност?
4. Какво е предназначението на диаграмите на Парето?
5. Кои са основните стъпки при построяване на диаграмите на Парето?
6. Каква е разликата между стълбчатата диаграма и линията на натрупаната сума в диаграмата на Парето?

ХИСТОГРАМИ. ДИАГРАМИ НА РАЗСЕЙВАНЕ

I. Цел на упражнението

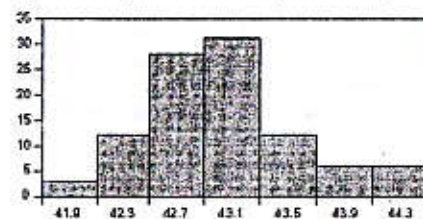
Построяване, разслояване и интерпретация на хистограми и диаграми на разсейване. Определяне на параметрите на разпределението и сравняване на емпиричното с теоретичното разпределение. Откриване на корелация и груби грешки.

II. Кратка теоретична част

В редица случаи за дадено електронно изделие се съди не по един, а по няколко показателя, които характеризират различни страни на качеството. Като правило стойностите им имат случаен характер, т.е. те могат да бъдат разглеждани като *случайни величини* (с.в.). Поради различни причини резултатите от измерванията на показателя на качеството, които се наричат опитни данни се разсейват в определен интервал наричан *интервал на разсейване*.

Хистограми

Един от широко разпространените начини за представяне на положението и разсейването на данните (емпиричния закон на разсейване) е графичното построение чрез *хистограма* (стъпаловидна фигура) фиг.4.1 или *полигон* (многоъгълник) [2, 9]. При изследване на даден признак опитните данни се получават в неподреден вид и обикновено се нанасят в *таблицы на суровите данни*. Тъй като плътността на разполагане на данните е различна се практикува групиране на данните в т. нар. *вариационен ред* (*честотна таблица*). За построяване на вариационен ред най-напред трябва да се определи *размахът* $R = x_{max} - x_{min}$ на данните. В интервала $[x_{min}, x_{max}]$ са разположени всички опитни данни. За да се определи, в кои части на този интервал тази плътност е най-голяма и в кои по-малка, целият интервал се разделя на K на брой *групови интервали* (*класове*), чиято ширина е равна на h . След уточняване на броя и ширината на груповите интервали е необходимо да се определят техните граници. Следващата стъпка е свързана с определянето на броя на данните от извадката, които попадат във всеки един от груповите интервали. При определянето на *честотите* n_i , трябва да се



уверим, че $\sum_{i=1}^k n_i = n$. От честотната таблица може да се получат *относителните честоти* $P_i = n_i/n$.

Стъпаловидната фигура (хистограмата), се състои от правоъгълници, основите на които представляват ширините на груповите интервали. Височините на правоъгълници-

Фиг.4.1. Общ вид на хистограма

те са пропорционални на съответните честоти. Мащабът трябва да бъде така подбран, че максималната височина на хистограмата, да бъде приблизително равна на нейната ширина ($n_{max} \approx R$).

При построяване на полигона върху хоризонталната ос се нанасят стойностите на средите на груповите интервали. Върху вертикалната ос се нанасят обикновено относителните честоти (но може и абсолютните). Съответните стойности по двете оси се свързват във вертикални отсечки, а върховете на отсечките се съединяват с прави линии. В резултат се получава един многоъгълник.

В редица случаи стойностите на случайната величина – показател за качеството са ограничени по спецификация. За тази цел се задават допускови граници, като стойността на качествения продукт не трябва да излиза извън тях. Ако на хистограмата се нанасят допусковите граници, сравнението на разположението и спрямо границите дава възможност да се направят някои заключения.

Разслояването или стратификацията на данните се налага тогава, когато е налице смесването на два или повече комплекта данни, получени при различни условия на изготвяне на продукта. При разслояването трябва да се обърне внимание на следното:

- ширината на класа h и броят на класовете K се избират по обединената извадка с обем n . Тази ширина се запазва за отделните хистограми и след разслояването;

- мащабите на всички хистограми се избират еднакви;

- в честотната таблица се представят честотните диаграми и честотите, както за обединената, така и за разслоените извадки;

- хистограмите се построяват една под друга.

Хистограмата е твърде полезно средство на предварителния етап от статистическия анализ на с.в. Основни параметри на емпиричното разпределение на с.в. са средната стойност \bar{x} , характеризираща местоположението и, и средно квадратичното (стандартното) отклонение S_x , характеризиращо разсейването и.

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad S_x = \sqrt{S_x^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)} \quad (4.1)$$

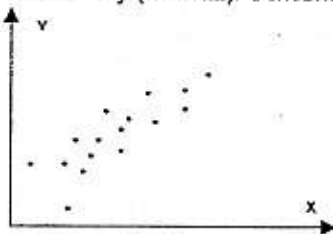
В случаите, когато броят на данните е голям се препоръчва използването на групирани данни, получени при построяването на хистограмата. Ако се предположи, че всичките n_i стойности, попадащи в i -тия групов интервал, са равни на x^*_i , което съответства на средата на интервала, тогава формулите приемат вида:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k x^*_i n_i, \quad S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^k n_i (x^*_i - \bar{x})^2 - \frac{h^2}{12} \quad (4.2)$$

Членът $h^2/12$ се нарича поправка на Шепард и се въвежда за корекция на грешката, която се допуска вследствие приравняването на всички стойности в i -тия групов интервал на x^*_i .

Диаграмата на разсейване (корелационно поле)

Тя представлява графично изображение на опитните данни в координатната система x - y (Фиг. 4.2). Основното предназначение на диаграмите на разсейване е да изясни дали между два показателя на качеството X и Y съществува някаква връзка (зависимост) [15, 20]. Всяка точка от диаграмата характеризира резултатите от даден опит (наблюдение, измерване). След нанасяне на резултатите от всички опити върху диаграмата се получава един "облак" от точки, чиято конфигурация дава възможност да се проследи визуално наличието (или отсъствието) на зависи мост между X и Y .



Фигура 4.2. Общ вид на ДР

Като правило тази зависимост не е напълно определена в смисъл, че на дадена стойност на показателя X съответства строго определена стойност на показателя Y . Обикновено тя се проявява като тенденция на изменение на едната

величина при нарастване или намаляване на другата. Такъв тип зависимост се нарича *вероятностна (стохастическа) зависимост*.

Интерпретация на диаграмата на разсейване

Връзката между двете случайни величини се нарича *корелация*. Между две с.в. съществува *положителна корелация*, когато при нарастването (намаляването) на едната от тях другата също проявява тенденция към нарастване (намаляване). За *отрицателна корелация* се говори, когато на нарастването (намаляването) на една от величините съответствува намаляване (нарастване) на другата. Ако опитните данни не разкриват някаква определена тенденция, корелация между величините отсъства.

В някои случаи, малка част от точките са разположени значително встрани от основния "облак" от точки. Това се дължи обикновено или на груби грешки при измерването (определянето) на стойностите на величините, или на съществени изменения в условията на провеждане на съответните на тези точки опити. Във всички случаи такива точки изискват внимателно оглеждане на условията на експеримента и при констатиране на една от горепосочените причини те се отстраняват от комплекта данни при по-нататъшен анализ.

За количествено определяне на силата на връзката между две с.в. се използва характеристиката – *коэффициент на корелация* (КК). Стойностите на коефициентите на корелация дават количествена оценка на степента (силата) на линейната вероятностна зависимост между величините X и Y . Те се изменят в границите от -1 до $+1$ т.е. $(-1 \leq r \leq 1)$.

Абсолютната стойност на коефициента на корелация показва силата на линейната връзка между X и Y . Колкото $|r|$ е по-близо до единица, толкова по-силно е изразена корелацията. Стойността на коефициента на корелация близка до нула може да съответства или на отсъствие на връзка (корелация) между величините, или на нелинейна корелация с изразен екстремум.

Точките от диаграмата на разсейване се разполагат при наличие на линейна корелация около някаква права линия. Уравнението на тази права в общ вид е

$$y = a + bx \quad (4.3)$$

се нарича *линия (права) на регресия*. Променливата x се нар. *независима*

променлива, а y – *зависима променлива*. Параметърът a е

константа, а параметърът b се нар. *коэффициент на*

регресия. С помощта на регресионното уравнение може

да се предскаже стойността на зависимата променлива y

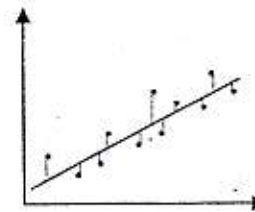
при произволна стойност на независимата променлива x .

Определянето на параметрите a и b става като се

използват опитните данни. Критерият, заложен при

определянето им, се състои в минимизиране на сумата на

квадратите на отклоненията по координатата y на опитните



Фиг. 4.3. Регресионна линия

резултати (метод на най-малките квадрати- МНК) от линията на регресия (ЛР) – виж фиг. 4.3.

III. Задачи

1. По зададени опитни данни да се построи хистограма и полигон. От получената хистограма направете заключение за качеството на продукцията. Определете параметрите на разпределението. Сравнете емпиричното с теоретичното разпределение.

2. За данни от проведен експеримент установете зависимостта между фактор и показател на качеството и начертайте ДР.

3. Разделете зададените експериментални данни на групи (слоеве) и постройте ДР на слоевете. Да се изчислят коефициентите на корелация, съответно на пълната и на разслоените извадки и да се построи регресионната права.

IV. Методически указания по изпълнението на задачите

За задача 1

Предварително се изтегля съответната таблица на суровите данни от сайта (www.ecad.tu-sofia.bg/knea). Построява се честотна диаграма, а след това две графики – хистограма и полигон, като се следват инструкциите. По формули (4.2) се изчисляват параметрите на разпределението

За задача 2

Следват се долуизброените инструкции за работа:

1. Експериментът съдържа определен брой чифта данни за величините x (фактор на качеството) и y (показател на качеството). Данните се нанасят в подходяща таблица, която се взема от сайта.

2. Определят се минималните и максималните стойности на x и y в извадката:

$$x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}$$

3. Като се вземат предвид получените стойности, се извършва подходящо мащабиране по осите x и y . Мащабирането се извършва по такъв начин, че дължината на отсечката $\Delta x = x_{\max} - x_{\min}$ по оста x да бъде приблизително еднаква с дължината на отсечката $\Delta y = y_{\max} - y_{\min}$. Всяка двойка опитни резултати се нанася в координатната система x - y и се получава диаграмата на разсейване.

4. Записва се наименованието. Означават се хоризонталната ос и вертикалната ос. Нанасят се точките, съответстващи на резултатите за отделните опити. Ако има 2 опита с еднакви (или близки) резултати, те се нанасят или като по-голяма точка (точка заградена с кръгче), или като две разположени една до друга точки. Записват се броят на опитите n и времето на получаване на данните.

За задача 3

1. Опитните данни се нанасят в подходяща таблица от сайта.

Построява се ДР с използването на всички опитни данни. Определя се вида на корелацията, ако съществува такава.

2. Данните се разделят на групи (слоеве). Построява се ДР за слоевете. Определя се вида на корелациите, ако съществуват такива.

3. Изчисляването на КК, който се бележи с r , става с помощта на следната последователност от изчисления:

1. Пресмятат се средните стойности на величините X и Y :

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m x_i, \quad \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (4.4)$$

2. Пресмятат се средноквадратичните отклонения на величините X и Y :

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right)}$$

$$S_y = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2 \right)} \quad (4.5)$$

3. Пресмята се ковариацията:

$$\hat{K}_{xy} = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}) = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y} \right) \quad (4.6)$$

4. Пресмята се коефициентът на корелация: $\hat{r}_{xy} = \frac{\hat{K}_{xy}}{S_x S_y}$ (4.7)

Като се сравнят (4.5), (4.6) и (4.7), коефициентът на корелация може да се пресметне и направо:

$$\hat{r}_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n\bar{x}^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n\bar{y}^2 \right)}} = \frac{Q_{xy}}{\sqrt{Q_x Q_y}} \quad (4.8)$$

При непосредствено пресмятане по формула (4.8) се губи информацията относно с.к.о. S_x и S_y , която обикновено също е полезна. За удобство данните се нанасят в таблици, където се отразяват и някои помощни изчисления. Като се следва горепосочения алгоритъм последователно се изчисляват: $\bar{x}, \bar{y}, S_x, S_y, \hat{K}_{xy}, \hat{r}_{xy}$ и се записват в съответната таблица от сайта.

5. Разполага се с n чифта опитни стойности на променливите x и y : $(x_1, y_1); (x_2, y_2); \dots; (x_n, y_n)$. Означават се с \hat{a} и \hat{b} някакви (за сега произволни) стойности на неизвестните параметри a и b в ур. (4.3), които се наричат *оценки*. Заместени в уравнението, те дават възможност да се определят предсказаните стойности

$$\hat{y}_i = \hat{a} + \hat{b}x_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.9)$$

$$\text{Разликите } e_i = y_i - \hat{y}_i = y_i - (\hat{a} + \hat{b}x_i), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4.10)$$

се наричат *остатъци*. Критерият, по който се търси минимумът, може да бъде записан по следния начин:

$$Y(a, b) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a - bx_i)^2 = \min(a, b) \quad (4.11)$$

Стойностите на \hat{a} и \hat{b} , при които се получава минимумът на (4.11), се наричат *МНК – оценки* на параметрите на линейното регресионно уравнение (4.3). Получаването им може да стане с помощта на следния алгоритъм:

1. Получават се средните за x и y по формула (4.4)
2. С помощта на формули (4.5) и (4.6) се пресмятат стойностите S_x и \hat{K}_{xy}
3. Пресмята се оценката на регресионния коефициент $\hat{b} = \frac{\hat{K}_{xy}}{S_x^2}$ (4.12)
4. Пресмята се оценката на свободния член (константа) $\hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x}$

V. Изводи

Да се анализират хистограмите и диаграмите на. Да се анализира влиянието на мащаба върху вида на зависимостите. Да се интерпретира линията на регресия и влиянието на рязко отклоняващи се точки върху наклона ѝ.

VI. Контролни въпроси

1. Какво е предназначението на хистограмата и ДР при оценка на качеството?
2. Каква е последователността на построяване на хистограма и полигон?
3. Какви са последователностите при построяване на ДР и линията на регресия?
4. Кои са основните моменти при интерпретирането на ДР и РЛ?
5. Каква е целта при разслояване на хистограмите ДР?
6. Как се откриват груби грешки при измерването (определянето) на стойностите?

ПРОЕКТИРАНЕ НА КОНТРОЛНИ КАРТИ ЗА КОЛИЧЕСТВЕНИ И АЛТЕРНАТИВНИ ПРИЗНАЦИ

I. Цел на упражнението

Запознаване с процедурите на конструиране на контролни карти за количествени и за качествени признаци. Изготвяне и разчитане на контролни карти.

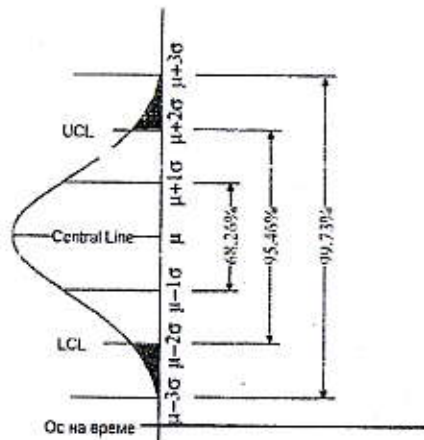
II. Кратка теоретична част

Изменението на качеството на произведените при даден процес електронни изделия е свързано с два вида причини: случайни и систематични. Ако разглежданите данни (наблюденията) се подчиняват на някакъв статистически закон на разпределение, то тяхната вариация е предизвикана от случайни причини и не може да се предполага наличие на значими (систематични) причини. Тогава се казва, че съответният процес е "под контрол" или че е в "състояние на статистически контрол". С помощта на КК, използвани съвместно или отделно от другите методи, се постига анализ и регулиране на технологичните процеси с цел довеждане и поддържане в състоянието на статистически контрол [2, 9].

КК се състои от "централна линия" (ЦЛ) - CL (Central Line) и двойка контролни граници (КГ) едната "горна контролна граница - UCL (Upper Control Limit)", а другата "долна контролна граница - LCL (Lower Control Limit)" (фиг.5.1).

Стойностите на контролираната величина (електрически параметър или характеристика на изделието, параметър на технологичен процес или др.) X се отбелязват като точки в полето на контролната карта. Ако има точки извън контролните граници или има някаква тенденция в разположението и последователността им, тогава наблюдаваното състояние или процес е "извън контрол".

Контролната карта е средство за описание на състоянието на статистическия контрол, за постигане на това състояние и за оценка на степента на достигането му.



Фиг. 5.1. Контролни граници

Широко известни са следните два вида контролни карти: за количествени признаци (или за непрекъснати величини) и за качествени признаци (или за дискретни величини).

Признак, по който за всяко контролирано изделие се определя величината, чиито стойности се изразяват чрез дадена мерна единица (напр. температура в градуси, електрическа характеристика в омове, ампери или волтове и т.н.) се нарича **количествен**.

Признак, по който всяка от контролираните единици може да се класифицира в една от няколко категории (напр. I, II, III качество) се нарича **качествен**. Ако тези категории са две (съответстващо-несъответстващо, годно-негодно), признакът се нарича **алтернативен**.

Обикновено при анализа на един процес се цели откриване на значимите причини за изменение на наблюдавания признак. Това може да се извърши чрез

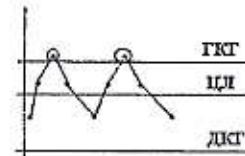
групиране и разслояване на данните. Групирането е важна стъпка от предварителната подготовка, предшестваща въвеждането на КК. При образуване на предварителната голяма извадка за наблюдавания количествен признак трябва да се спазват две изисквания: еднакви условия на производство на всички изделия и в една подгрупа да са включени данни събрани в сравнително кратък период от време. Разслояването на данните от друга страна позволява сравнително лесно да се открият причините за вариация на данни. По този начин могат да се анализират разликите между тези фактори

III. Задачи

1. Да се конструира комбинирана $(\bar{x} - R)$ -карта за едновременно следене на средната стойност и разсейването на количествения признак X.
2. Да се конструира КК за алтернативен признак: *np* - карта.
3. Да се конструира $(\bar{x} - R)$ -карта за комбинации на два фактора.

IV. Методически указания по изпълнението на задачите

За задача I



Следната схема дава възможност да се проследят последователните стъпки при процедурата на конструиране на $(\bar{x} - R)$ -карта.

Означения:

x_i - индивидуални наблюдения на количествения признак X; n - брой на наблюденията в извадка от данни на X (n може да бъде между 2 и 10); \bar{x}_i - средна аритметична стойност на извадка от n елемента

Фигура 5.2. Общ вид на контролна карта

(x_1, x_2, \dots, x_n) на i - подгрупа; \bar{x} - средна аритметична стойност на серия от k средни стойности или средна аритметична стойност на средно аритметичните стойности на подгрупите; k - брой на подгрупите; R_i - размах на i - подгрупа; \bar{R} - средна аритметична стойност на серия от k размаха или размах на i - подгрупа; CL - централна линия (ЦЛ); K_U (UCL) - горна контролна граница (ГКГ); K_L (LCL) - долна контролна граница

$$UCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} + 3\sigma_{\bar{x}}$$

$$LCL_{\bar{x}} = \bar{\bar{x}} - 3\sigma_{\bar{x}}$$

$$UCL_R = \bar{R} + 3\sigma_R$$

$$LCL_R = \bar{R} - 3\sigma_R$$

Табл.5.1. Процедура

№	Процедура	Пример
1	Прави се предварителна голяма извадка от N наблюдения на признака X. Данните се разделят на подгрупи от по n наблюдения. Ако няма никакви съображения за образуване на подгрупите, те се образуват като се разделят данните в реда на получаването им.	Табл.5.2
2	Изчисляват се средните аритметични стойности	\bar{x}_i
3	Изчислява се средната аритметична стойност на k средни	$\bar{\bar{x}}$
4	Изчислява се за всяка подгрупа	$R = x_{max} - x_{min}$
5	Изчислява се средната аритметична стойност на k подгрупа	\bar{R}
6	Изчислява се ЦЛ и КГ за \bar{x} - карта	Приложение от сайта на КНЕА

	$\text{ЦП} = \bar{X} \quad UCL_{\bar{X}} = \bar{X} + A_2\bar{R} \quad LCL_{\bar{X}} = \bar{X} - A_2\bar{R}$ $R - \text{карта}$ $\text{ЦП} = \bar{R} \quad UCL_R = \bar{R} + D_4\bar{R} \quad LCL_R = D_3\bar{R}$	(www.ecad.tu-sofia.bg/knea)
7	Начертава се контролната карта като хоризонталната ос се разделя на равни интервали за номерата на поредните извадки, а вертикалната ос – в мерните единици на X	Използвайте за удобство при работа с милиметрова хартия
8	Начертават се точките (\bar{X}_i, R_i) като се означават с "*" в случай, че попадат между КГ и с "+" – извън контролните граници	
9	Записва се в долния ляв ъгъл на КК обемът на извадката n, както и други характеристики (контролен елемент, период, измервателен уред, смяна, машина или др.)	

Табл.5.2. Таблица за записване на данните

№	да та	час	ИЗМЕРВАНИЯ										\bar{X}_i	R _i	комен тар	
			X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	X ₁₀				
1																
2																
3																
4																
5																
6																
7																
8																
9																
10																
11																
12																
13																
14																
15																
16																
17																
18																
19																
20																
21																
22																
23																
24																
25																
Общо																
Средни стойности																

За задача 2

Означения: $\bar{p} = \frac{\sum np}{\sum n}$ средна дефектност

Табл.5.3. Процедура

№	Процедура	Пример
1	Предварителните данни се събират като се правят периодично малки извадки с определен обем и се определя броя на дефектните (несъответстващите) изделия. Данните се записват в реда на тяхното получаване	Табл.5.4
2	Изчислява се средната дефектност и се определя ЦП	ЦП = $n\bar{p}$
3	Изчисляват се КГ	$UCL = n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$

		$LCL = n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$
4	Конструира се КК на броя на дефектните изделия като се начертава ЦП с плътна линия, а КГ с пунктирани линии	Използвайте за удобство при работа с милиметрова хартия

Табл.5.4. Таблица за записване на данните

№	Обем на подгрупата, n	Брой на дефекти единици, np	Дял на дефектни единици, p%	UCL %	LCL %
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					

За задача.

Използва се същата процедура както при задача 1 и се построява по зададените от преподавателя данни обща и разслоени за всеки фактор ($\bar{x} - R$) - карти. След това се анализират общата КК и разликите между отделните фактори.

V. Изводи

Да се начертаят на милиметрова хартия и анализират контролните карти от задачи 1 и 2. Да се посочат критериите за оценка на състоянието на процесите. Да се посочи причината за вариацията на наблюдавания признак открита при разслояване на данните.

VI. Контролни въпроси

1. Защо и кога се използват контролни карти?
2. Кои са елементи на контролната карта?
3. Кои са основните видове контролни карти? По какво те си приличат и по какво се отличават?
4. Каква е процедурата за построяване на ($\bar{x} - R$) контролна карта?
5. Каква е процедурата за построяване на np контролна карта?

ПРИЕМАТЕЛЕН СТАТИСТИЧЕСКИ КОНТРОЛ НА КАЧЕСТВОТО (ПСКК)

I. Цел на упражнението

Прилагане на извадкови планове за приемателен статистически контрол на качеството при различна кратност.

II. Кратка теоретична част

Приемателният статистически контрол на качеството (ПСКК) се прилага в следните звена от структурата на производството на електронните изделия: при входящ контрол, при производствения контрол на всяко основно производствено звено, при изходящ контрол. ПСКК се използва за окачествяване на готова продукция (включително материали и полуфабрикати), която отговаря на следните изисквания: добре настроен (статистически управляем) производствен процес; однородност; резултат на масово и едросерийно производство; разделена на партиди (за някои разновидности на ПСКК това е необходимо); складирана (опакована) така, че да може да се вземат случайни (репрезентативни и независими извадки).

Поради това, че извадката, въз основа на която се провежда приемателния контрол, е част от цялата партида или продукцията, то не винаги изходите за качеството на последната са точни. Трябва да се има предвид обаче, че даже при едно разсортиране (100%-ов контрол) се пропускат (не се откриват) определен обем некачествени изделия. Поради тези причини производителят и потребителят могат да се договорят за някакъв допустим процент дефектни изделия.

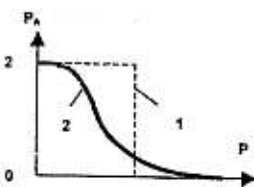
Стандартизираната процедура, чрез която една партида се приема или отхвърля след проверка на характеристиките ѝ се нарича *извадков план за приемателен статистически контрол на качеството*. С помощта на извадковата проверка се постигат следните цели: отделане на добрите от некачествените партиди, намаляване на обема на контрола; намаляване на рисковете от вземане на грешно решение [2, 9].

За начините на провеждане на случайния избор и използване на таблиците за случайните числа може да се ползват указанията в БДС 8090-82 и БДС 14884-79.

Под *дефектност* на дадена партида се разбира отношението

$$P = \frac{\text{Брой на дефектните изделия}}{\text{Брой на проверените изделия}} \times 100, (\%) \quad (6.1)$$

Дефектността на дадена партида може да се определи и чрез броя дефекти в 100 изделия:



Фиг. 6.1 Общ вид на оперативна характеристика

$$P = \frac{\text{Брой на дефектите}}{\text{Брой на проверените изделия}} \times 100 \quad (6.2)$$

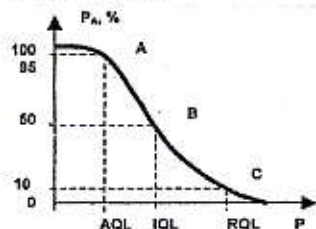
Това се прави, когато в едно изделие може да има повече от един дефект.

Важно понятие в извадковия статистически контрол на качеството е оперативната характеристика на даден план. Под *оперативна характеристика* (ОС – крива) се разбира кривата, с която се представя вероятността за приемане на партидата P_A в зависимост от нейната действителна дефектност P . Типови оперативни характеристики са

показани на фиг. 6.1. Идеалната оперативна характеристика (линия 1) би се получи-

ла, ако проверката се прави върху всички елементи на партидата, т.е. при 100%-ов контрол. При статистическия приемателен контрол се проверяват само част от елементите на извадката и оперативната характеристика има вида показан с линия 2. Въз основа на ОС-кривата на извадковия план се определят няколко характерни равнища на дефектност.

Приемателно равнище на дефектност (AQL) се нарича абсисата на точката, чиято ордината е равна на зададената вероятност за приемане P_A . *Риск на производителя* (α) се нарича величината $(1 - P_A)$. Той определя вероятността да бъдат отхвърлени като негодни партиди, които са фактически годни. *Риск на потребителя* (β) се нарича вероятността да бъдат приети като годни фактически негодни партиди.



Фигура 6.2. Реална оперативна характеристика

Отхвърлящо равнище на дефектност (RQL, използва се също означението LQ) е абсисата на точката, характеризираща риска на потребителя. *Безразлично равнище на дефектност* (IQL) е точката от оперативната характеристика, която съответства на равен риск за потребителя и производителя (фиг.6.2).

Като се разглеждат видовете електронна продукция, получени в резултат на различни производствени процеси, може да се разграничат два вида продукция: дискретна продукция и безформена продукция. Приемателният контрол на

качеството на двата вида продукция се различава съществено по начина на оформяне на извадките или пробите.

В зависимост от това дали контролираният признак е алтернативен или количествен съществува ПСКК по *алтернативен признак* (БДС 4315-82) и ПСКК по *количествен признак* с нормално разпределение (БДС 11051-82). Съществуват и други по-специални видове приемателни планове.

За определяне на плана за ПСКК по алтернативен признак, по който да се проверяват и приемат партиди от дискретна продукция, е необходимо да се зададат предварително следните характеристики: равнище на контрол; кратност на контрола; обем на партидата N ; приемателно равнище на дефектност AQL (или p_a).

Тези характеристики се договарят между производителя и потребителя на даден вид електронно изделие за всеки показател или признак поотделно.

На фиг. 6.3 е дадена последователността от действия при определяне на планове за ПСКК по алтернативен признак. Цитираните таблици са включени в БДС 4315-82.

Използват се три общи равнища на контрол (I, II, III) и четири специални (S-1, S-2, S-3, S-4). Равнището на контрол е свързано с относителния обем на проверката спрямо обема на партидата. При равнище I този относителен обем е най-малък, а при равнище III е най-голям. Специалните равнища за контрол се характеризират със значително по-малък относителен обем от този при общо равнище I. Те се прилагат при разрушителен контрол.

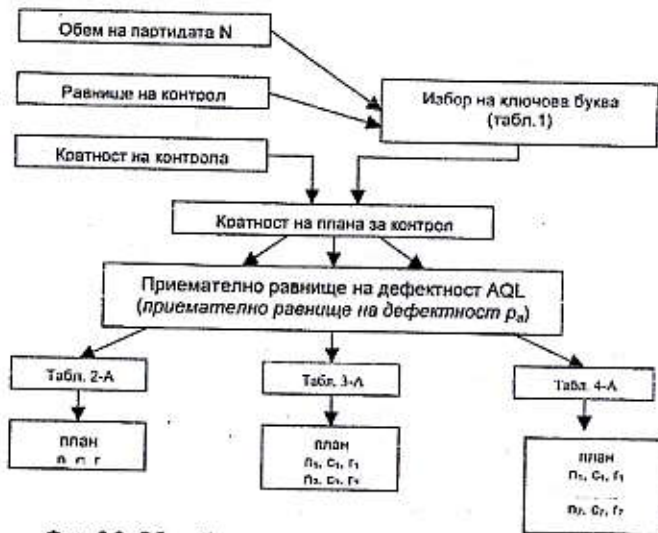
Плановете за контрол по алтернативен признак могат да бъдат: едностепенни; двустепенни; многостепенни; последователни.

Една особено важна характеристика за избора на плана за контрол по алтернативен признак е приемателното равнище на дефектност AQL или както още е известно, допустимата дефектност (p_a). Това е горната граница на процента дефектна продукция, която се приема за задоволителна от гледна точка на средното

качество на производения процес. В таблиците (например табл. 2-А) с плановете на ПСКК по алтернативен признак се използват редици от предпочитани стойности, както за процента, така и за броя на дефектите. В случай, че предварително определената стойност за AQL не е между предпочитаните числа, препоръчва се да се използва най-близката по-малка стойност от таблицата. Стойностите за AQL, по-малки или равни на 10 се разглеждат или като процент или като брой на дефектите в 100 изделия, а тези, които са по-големи от 10 – само като брой на дефектите в 100 изделия.

По-важните методи за определяне на AQL са:

1. Възможно е да се използва за AQL допустимия технологичен брак или умножената с коефициент 0,8 стойност на технологичния брак за даден тип производство.
2. Едно реалистично определяне на AQL за конкретно електронно изделие е използването на средната дефектност \bar{p} на процеса с помощта на p -карта и след това задаване на $AQL = 0,8\bar{p}$.
3. При определяне на AQL може да се използва зададена от потребителя максимална стойност на средното изходно качество (AOQL), която може практически да се зададе по-лесно от AQL.



Фиг. 6.3. Обща блок-схема на ПСКК по алтернативен признак

III. Задачи

1. Партида електронни изделия се изследва за процент на дефектни изделия по отношение на определен количествен признак. Задава се обема на извадката и броя на изделията със стойност на признака по-голям от горната граница на допусък и броя със стойност на признака по-малък от долната граница на допусък. Да се определи дефектността в % по отношение на този признак.
2. Партида електронни изделия се изследва за брой на дефектите по отношение на група признаци. Задава се броя на всички проверени изделия и броя на изделията с различни дефекти. Да се определи дефектността на партидата.

3. Да се определи риска на производителя да се приеме партида и точката на равен риск за потребителя и за производителя от фиг. 6.2, ако $P_A = 0,10$.
4. Да се определи риска на производителя и на коя точка той съответства от на оперативната характеристика от фиг. 5.2, ако $P_A = 0,95$.
5. Да се определи AQL, ако са зададени: AOQL, обем на партидата N, равнище на контрол и вида на плана за контрол.

IV. Методически указания по изпълнението на задачите

За задачи 1 и 2

След задаване на данните се използват зависимости (6.1) и (6.2).

За задачи 3 и 4

Да се определи на кои точки от оперативната характеристика на фиг. 6.2 съответстват двата случая.

За задача 5

За изпълнението на задачата се използват долупосочените таблици от сайта (www.ecad.tu-sofia.bg/knea). От табл. 1 на стандарт БДС 4315-82 при зададен обем на партидата и зададено равнище на контрол се определя ключова буква на съответния извадков план. От табл. 5-А на БДС 4315-82 при избраната ключова буква се намира обемът на извадката $n=?$. Пресмята се коригиращ коефициент $(1-n/N)$. Пресмята се AOQL/(1-n/N). От същата таблица се определя най-близкото по големина число в същия хоризонтален ред, което не надминава частното AOQL/(1-n/N). Отново от същата таблица се определя стойността на AQL, която се намира във вертикалния стълб, в който е избраното от горната стъпка число.

V. Изводи

Посочете какви са съображенията, когато се задава кратността за избор на плана и какви при определяне на AQL.

VI. Контролни въпроси

1. Какви изисквания трябва да се спазят, за да може прилагането на приемателния контрол да е ефективно и да води до намаляване на разходите, свързани с контрола?
2. Какви са целите на извадковата проверка?
3. Кои са характерните равнища на дефектност?
4. Какви характеристики трябва да се зададат предварително при определяне на плана за ПСКК по алтернативен признак?
5. Какво представляват равнищата на контрол?
6. Как се извършва избор на извадков план, когато трябва да се проверява отделна, изолирана партида?

ОСИГУРЯВАНЕ КАЧЕСТВОТО НА КОМПЛЕКСНИ СИСТЕМИ – ОПИСВАНЕ НА СОФТУЕРНИ ГРЕШКИ И ПРОГНОЗИРАНЕ ИЗПРАВНОСТ НА ХАРДУЕРА

I. Цел на упражнението

Прогнозиране изправността на ремонтируеми комплексни електронни системи. Описване на софтуерни дефекти.

II. Кратка теоретична част

Нарастващата комплексност на уреди и системи изисква въвеждане на процесори и компютри за управление и контрол на хардуера. В тази връзка съществуват различни модели за описване на хардуерни и софтуерни дефекти.

Модел за описване на софтуерни дефекти

Софтуерът за управление и контрол на комплексни уреди и системи играе все по-важна, и от гледна точка на разходите, все по значима роля. В сравнение с хардуера обаче софтуерът няма фаза на производство, защото може безпогрешно да се копира. Друга разлика с хардуера се състои в това, че софтуерът не се занимава с проблеми свързани с откази, дрейф, износване, стареене. Той обаче може да съдържа дефекти (грешки), които да предизвикат откази на ниво уреди и системи.

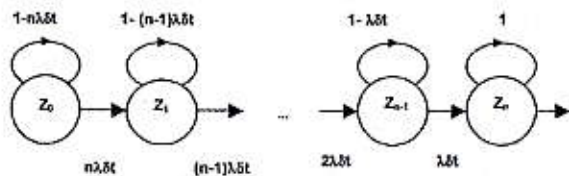
За изследване на вероятността за настъпване на софтуерни дефекти съществуват множество модели. В част от тях софтуерът се наблюдава като един елемент (черна кутия) и се базира на хардуерни модели, където настъпването на дефект се означава като отказ. Една група модели се характеризират с това, че интензивността на отказите $\lambda(t)$ зависи от броя на все още съществуващите дефекти. Ако за време $t = 0$ софтуерът съдържа n дефекти и $\lambda(t) = const$, може да се състави диаграма на вероятностите на прехода от едно състояние (Z_i) в друго (Фиг.7.1).

Тук успешно се използва теорията на Марковските процеси [5]. Процесът е Марковски, ако бъдещето зависи само (се определя се изцяло) от последния наблюдаван момент. Тогава състоянието на процеса в даден бъдещ момент е проста сума на състоянието му в момента и случайната величина, определяща нарастването му.

$$P_i(t) = \Pr\{i \text{ дефекти настъпват за време } t \mid n \text{ дефекта са открити за } t = 0\}$$

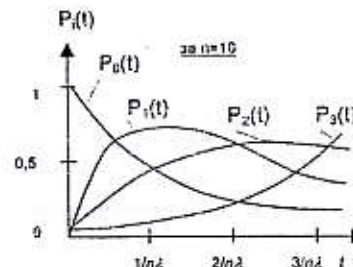
$$P_0(t) = e^{-n\lambda t}$$

$$P_i(t) = \int_0^t (n-i+1)\lambda e^{-(n-i)\lambda x} P_{i-1}(t-x) dx, i=1, \dots, n$$



Фиг.7.1. Марков модел за софтуерни дефекти – диаграма на вероятностите на преход за $(1, t+\delta t)$

Може да се изчислят вероятностите на състоянието показани на Фиг.7.2.



Фиг. 7.2. Ход на изменение на вероятностите на състоянията за марковския модел

Вероятности на състоянията:

$$P_0(t) = e^{-n\lambda t}$$

$$P_1(t) = n\lambda e^{-n\lambda t} (e^{\lambda t} - 1)$$

$$P_2(t) = n(n-1)\lambda^2 e^{-n\lambda t} \left(\frac{e^{2\lambda t}}{2} + \frac{e^{-\lambda t}}{2} - 1 \right)$$

$$P_3(t) = n(n-1)(n-2)\lambda^3 e^{-n\lambda t} \left(\frac{e^{3\lambda t}}{6} + \frac{e^{-\lambda t}}{2} - \frac{e^{-2\lambda t}}{6} - \frac{1}{2} \right)$$

Няма да е трудно в този модел и параметърът λ да се направи зависим от броя на наличните дефекти. Процесът е без последствие (Марковски процес) затова, когато за време $t = t_0$ все още има k дефекта ($0 \leq k \leq n$) важи

$$\Pr\{\text{няма дефект в } (t_0, t] \mid \text{има } k \text{ дефекти за } t = t_0\} = e^{-k\lambda(t-t_0)}$$

Така изследваният модел съответства на модела за хардуера на система с топла неремонтируема редундантност 1 от n .

На ниво апаратура или системно ниво, ремонтпригодността има огромно влияние върху надеждността и наличността (достъпността). Възможността за поддържане в изправност е важен параметър при оптимизацията на наличността и себестойността.

За много практически приложения често е достатъчно да се знае *средното време за ремонт (възстановяване)* на системно ниво MTTRs (очакваната стойност на времето за ремонт на системно ниво) като функция на надеждността структурата на системата и на средното време до отказ MTTFi и средното време за ремонт на нейните елементи. MTTRs

Поддържката определя всички дейности извършвани за електронното изделие за запазване в или възстановяване на специфичното му състояние [11]. Възможността за поддържане е характеристика на едно изделие, която изразява вероятността превантивното поддържане (възможност за сервизно обслужване) или ремонт (възможност за ремонт) на изделието ще бъдат извършени в установен интервал от време чрез дадени процедури и ресурси, брой и ниво на умения на персонала, резервни части, тестово оборудване ит.н.).

Ако τ' и τ'' са (случайни) времена необходими за извършване на ремонт или за превантивно поддържане съответно:

$$\text{Ремонтпригодността} = \Pr(\tau' \leq t)$$

$$\text{Пригодността за сервиз} = \Pr(\tau'' \leq t) \tag{7.1}$$

За приблизително определяне на очакваните стойности (средни) на τ' и τ'' често се използват:

$$E[\tau'] = \text{MTTR} = \text{средно време за ремонт и}$$

$$E[\tau''] = \text{MTTPM} = \text{средно време за превантивно ремонтиране.}$$

Ако се допусне, че t е параметър, (7.1) дава респективно функциите на разпределение на τ' и τ'' . Както и надеждността, така и ремонтпригодността трябва да се създаде по време на фазите на проектиране и развитие.

Изчисляване на $MTTR_s$

Ако се разглежда система без редундантност, нейната надеждностна блок-диаграма на ниво заменяеми елементи съдържа n елемента $E_1 \div E_n$ при серийно (последователно) свързване. Известни са и времето за работа без откази ($MTTF_i$) и времето за ремонт ($MTTR_i$) за всеки елемент. Ако всички елементи показват еднакво нарастващо време за работа T (еквивалентно на допускането, че при всеки отказ системата остава в покой), то за елемент E_i настъпват средно $T/MTTF_i$ откази. Приема се, че включването и изключването на елементите не оказва влияние върху надеждността. Разходът на време за ремонт на елемент E_i ще възлиза средно на

$$MTTR_i \frac{T}{MTTF_i} \tag{7.2}$$

Следователно за цялата система ще има средно $\sum_{i=1}^n T/MTTF_i$ откази и средната стойност на цялото време за ремонт е от порядъка на

$$\sum_{i=1}^n MTTR_i \frac{T}{MTTF_i}$$

От тези равенства може да се изчисли средното време за ремонт на системата

$$MTTR_s = \frac{\sum_{i=1}^n MTTR_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_i}} \tag{7.3}$$

За средното общо време на работа в интервала $(0, t]$ важи равенството

$$\lim_{t \rightarrow 0} E = t \frac{MTTF_s}{MTTF_s + MTTR_s} \tag{7.4}$$

За средното общо време на покой на система в интервал $(0, t]$ се получава

$$\lim_{t \rightarrow 0} E = t \frac{MTTR_s}{MTTF_s + MTTR_s} \approx t \frac{MTTR_s}{MTTF_s} \tag{7.5}$$

Ако приемем константна честота на отказите за всеки елемент (λ_i), то $MTTF_s = 1/\lambda_s$,

където $\lambda_s = \lambda_1 + \dots + \lambda_n$.

За общото време на покой в интервала имаме $(0, t]$

$$\lim_{t \rightarrow 0} E = t \frac{\lambda_s MTTR_s}{1 + \lambda_s MTTR_s} \tag{7.6}$$

Тези равенства важат приблизително и за системи с редундантност. Тук обаче трябва да се прави разлика между време за ремонт и време на покой. В случай на топла редундантност, средната стойност на времето за ремонт на системата може да се пресметне с някое от равенствата:

$$MTTR_s = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{MTTR_i}{MTTF_i}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{MTTF_i}}; MTTR_s = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i MTTR_i}{\sum_{i=1}^n \lambda_i} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda_s} MTTR_i; \lambda_s = \sum_{i=1}^n \lambda_i \tag{7.7}$$

При предположение, че елементите в редундантност могат да се поправят без прекъсване на работата, тези равенства предлагат една добра оценка на средната стойност на времето на покой на системата, когато сумата включва последователно свързани елементи.

III. Задачи

1. Да се изчисли средната стойност на времето за ремонт на система със зададени блок-диаграма, $MTTF_i$ и $MTTR_i$. Да се определи средното време на покой на системата в интервал $(0, t]$ за $t \rightarrow 0$ без оглед на обслужването.

2. Да се определи как ще се промени $MTTR_s$ на системата от задача 1, когато се въвежда редундантност за един от елементите. Да се изчислят средното време на покой и на ремонт за системата с редундантност.

3. Разполагаме с междинната вероятност $P_i(t)$ за модела, съобразен с фиг.7.1 при допускането, че $\lambda = \text{const}$ $P_0(0)=1$. Да се приложи модела за описване на софтуерни дефекти.

IV. Методически указания по изпълнението на задачите

За задача 1

Първо се изчислява средното общо време за покой на системата от (7.2), а след това общото време на покой от (7.5).

За задача 2

За изчисляване на средната стойност на времето за ремонт се използва (7.2). Времето за покой практически се определя от серийно свързаните елементи, защото влиянието на редундантността върху времето на покой е много малко. Изчислява се средното време на покой в интервала $(0, t]$ от (7.4).

За задача 3

Анализира се модела и се решава системата диференциални уравнения. Построява се диаграма на междинните преходи.

V. Изводи

Да се анализират и сравнят получените стойности за времето за ремонт и времето за покой на разглежданите системи. Да се интерпретират диаграмите на междинните преходи. Да се анализира модела за описване на софтуерни дефекти.

VI. Контролни въпроси

1. Какви са основните разлики между хардуера и софтуера които трябва да се имат предвид при осигуряване на качеството на комплексни системи?
2. Каква е разликата между време на ремонт и време на покой?
3. Какви модели за изследване на вероятността за настъпване на софтуерни дефекти съществуват?
4. Анализирайте хода на изменение на вероятностите на състоянията за марковския модел?
5. Какви дейности се включват в поддръжката на комплексни системи?
6. Как се дефинира средното време за ремонт на системно ниво?

МОДЕЛИРАНЕ НА ОТКАЗИ В ЕЛЕКТРОННИ СХЕМИ

I. Цел на упражнението

Целта на упражнението е студентите да усвоят начините за моделиране и симулиране на откази в комбинационни схеми.

II. Кратка теоретична част

Оценяването на надеждността и качеството на електронните изделия се нарича тестване. Тестването на електронна система е процес, при който се прилагат входни въздействия и получените резултати на изхода се анализират, за да се установи правилното поведение. Неправилната операция на тестваната система се нарича грешка. Причините за наблюдаваните грешки може да бъдат *грешки при проектиране, грешки при производство, производствени дефекти и физически повреди*.

Физическите повреди се случват по време на жизнения цикъл на изделието, поради износване на компонентите и въздействие на външни фактори.

Грешките при производство, производствените дефекти и физическите повреди се наричат с общо наименование *физически откази*. *Отказът* означава физическия механизъм на дефекта, ефекта на отказ означава логическия ефект върху сигнална линия, а грешката е дефинирана като състояние на системата съдържаща отказ (отклонение от нормалното състояние). Отказите могат да се



Фиг.8.1. Класификация на отказите в електронни системи

разделят на класове, както е показано на фиг. 8.1. Отказите могат да се разделят също на единични и съставни.

По принцип, физическите откази не позволяват директно математическо моделиране на тестването. Поради това са въведени логически модели на откази, които отразяват ефекта на физическите откази върху поведението на системата [8]. Отказът се открива чрез наблюдаване на грешката причинена от него. Най-разпространения логически модел на отказ е *константният отказ*, който представлява сигнална линия постоянно свързана към '0' или '1'.

Тъй като грешките при проектиране предшестват производството на системата, за верификацията на проекта се използва модел на системата. В такъв аспект, „модел“ означава компютърно представяне на системата с помощта на структури и програми. Този процес се нарича *логическа симулация* или *верификация* [8]. С негова помощ се определя развитието на сигналите в модела в отговор на приложените стимули.

Важен проблем при тестването е оценката на теста, която характеризира неговата ефективност или качество. Оценката на теста се извършва обикновено в

контекста на модела на отказ, и качеството на теста се изчислява като отношение между броя на отказите, които открива и общия брой на отказите в приетото множество; това отношение се нарича *покриване на отказите*. Оценката се извършва чрез симулиране на тестването наречено *симулация на отказите*, което изчислява изхода на схемата в отговор на оценявания тест. Отказ се открива, когато изходът на схемата се различава от очаквания.

Генерирането на тестови вектори е процес на генериране на групи от вектори за стимулиране на входовете на схемата по такъв начин, че откриваемите откази да се проявят (ако съществуват). Процесът може да се раздели на две части: (1) получаване на теста и (2) прилагане на теста. За (1) трябва първо да се избере подходящ модел за схемата и за отказите, а след това да се открие такава входна комбинация, че изходът на схемата с отказ да е различен от този на схемата без отказ. Генерирането може да става ръчно, чрез алгоритмични методи или чрез псевдо - произволни методи. За част (2), теста се прилага последователно много пъти за всяка система и трябва да бъде ефективен от гледна точка на място (да не заема много памет) и време. Главните фактори при оценката на теста е времето за генериране, размера на генератора на тестови вектори, т.е., софтуерните или хардуерните модули използвани за стимулиране на тестваната схема; броят на векторите, времето за зареждане на тестовите вектори, и необходимата допълнителна екипировка.

Логическите модели на откази представляват ефекта от физическите откази върху поведението на моделираната схема. При зададени логически откази и модел на системата, би трябвало да се определи логическата функция на системата в присъствието на отказ. По такъв начин моделирането на откази е тясно свързано с типа на моделирането на системата. Откази дефинирани заедно със структурния модел се наричат структурни откази. Те оказват влияние върху съединенията между компонентите. Функционалните откази се дефинират заедно с функционалния модел: например, ефекта от функционален отказ може да бъде промяна в таблицата на истинност на компонента или забрана на операция на ниво регистри.

По принцип, при структурния модел на отказ се приема, че компонентите са безотказни и само техните съединения могат да откажат. Отказите в съединенията биват: късо съединение и прекъсване. Например, в много технологии късото съединение между две сигнални линии обикновено създава нова логическа функция. Логическият модел, представляващ такова късо съединение се нарича *мостов отказ*. В зависимост от създадената функция се различават: 'И' мостов отказ и 'ИЛИ' мостов отказ.

В много технологии, ефектът от прекъсване на сигналните линии се състои в установяване на постоянно напрежение на съответния вход- т.е. константен отказ.

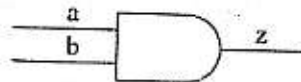
Този ефект може да се дължи на физически отказ, вътрешен за компонента, управляващ линията и без да се измерят и двете страни на линията не може да се различат двата случая.

От гореизложеното следва, че един логически отказ, а именно константният отказ на линия i – (означава се с $s.a$ - $a \in \{0,1\}$ от англ. "stuck-at"), може да представлява различни физически откази: прекъсване на i (фиг.8.2), късо съединение между i и захранване или земя, и някакъв вътрешен отказ в компонента управляващ i .



Фиг. 8.2. Константен отказ причинен от прекъсване

Повечето алгоритмични генератори на тестове са базирани на концепцията за чувствителния път (пътя на разпространение на ефекта от отказа). За дадена сигнална линия трябва да се намери чувствителният път, така че ефектът от възможния отказ да се покаже на изхода. Например, ако чувствителният път минава през входа на един И елемент, трябва да се установят всички други входове в единица, за да се позволи на грешния сигнал да премине. На фиг. 8.3 са обобщени принципите за генериране на тест. Всяка колона показва очаквания отговор за всяка входна комбинация на И-НЕ елемент. Колони от 3 до 8 показват изхода в присъствието на константен отказ. Изходните битове позволяващи откриването на съответният отказ са показани в квадратчета, и така на края са показани тестовите вектори, обхващащи минимален брой различни входни вектори необходими за откриването на всички единични константни откази.



a	b	z	a/0	a/1	b/0	b/1	z/0	z/1
0	0	1	1	1	1	1	[0]	1
0	1	1	1	[0]	1	1	[0]	1
1	0	1	1	1	1	[0]	[0]	1
1	1	0	[1]	0	[1]	0	0	[1]
Тест вектори			{11}	{01}	{11}	{10}	{00;01;10}	{11}

Минималният набор от тест вектори е: {(01),(10),(11)}

Фиг.8.3. Принцип на генериране на тест

Прекъсване на сигнална линия с разклонения може да предизвика съставен отказ в няколко от клоновете и. Ако се ограничим до разглеждането на единични константни откази, тогава трябва да се разглежда всеки отказ на клон отделно от другите.

III. Задачи

1. За дадени схеми съществуват мостови откази ИЛИ. Тези откази променят изходните функции. Да се намерят тестовите вектори, които откриват съответните мостови откази.

2. Да се намерят всички тестови вектори, които различават определени единични константни откази за зададени схеми.

3. Да се намерят тестовите вектори, обхващащи минимален брой от различни входни вектори необходими за откриването на всички единични константни откази за зададена схема.

IV. Методически указания по изпълнението на задачите

За задача 1

Преподавателят задава схема и маркира наличието на мостов отказ. Трябва да се определи как този отказ променя изходната функция. След това се намират тестовите вектори, които ще открият наличието на този вид отказ. За същата схема се маркира наличие на друг мостов отказ и процедурата се повтаря. За изпълнението на тази задача ползвайте таблица от вида:

вход	вход	изход	отказ	отказ
Входни вектори		Състояние на изхода при схема без отказ	Състояние на изхода при дадения отказ	Състояние на изхода при дадения отказ
.....	
Тест вектори			Входни вектори намиращи дадения отказ	Входни вектори намиращи дадения отказ

За задача 2

За зададена схема се маркират за изследване единични константни откази. Намират се всички тестови вектори, които различават определен отказ. За работа използвайте таблица от горе посочения вид.

За задача 3

За зададена схема първо се намират входните вектори, които откриват всички единични константни откази. След това се търси минималният брой на входни вектори за откриване на всичките единични константни откази на схемата.

V. Изводи

Да се посочи как се променят изходните функции при наличие на съответни мостови и константни откази за разглежданите схеми.

Да се посочи с колко вектора се е редуцирал минималния брой от различни вектори по отношение на пълния брой, когато трябва да се открият всичките единични константни откази.

VI. Контролни въпроси

1. Какво е грешка и отказ?
2. За какво се използват моделите на системите?
3. Как се извършва оценяването на ефективността на теста?
4. Каква е разликата между отказо-ориентирано или функционално-ориентирано генериране на тестове?
5. Кои откази са мостови и колко вида биват?
6. Кои са предимствата при използването на логически модели на откази?

ЛИТЕРАТУРА

1. Андонова, А., Ф. Филипов, Изпитване и надеждност на микроелектронни изделия, С., ТУ-София, 1998.
2. Бояджиева, Л., К. Велев, И. Вучков, М. Върбанова, Статистически контрол на качеството, Учебни записки, С., 1996.
3. БЮЛЕТИН. В помощ на специалиста, кн.2, СМБ, 2001.
4. БЮЛЕТИН. Качество, кн.3., ССКБ, 2002.
5. Въндев, Д., Записки по Теория на Вероятностите (prob.pdf), С., СУ "Кл.Охридски", 2002.
6. Европейски стандарти EN ISO 9000:2000.
7. Йенсен, Ф., Н. Петерсен, Технологично трениране, С., Техника, 1990.
8. Abramovici, M., M. Breuer, A. Friedman, Digital Systems Testing and Testable Design, N.Y., John Wiley & Sons Inc., 1999.
9. Besterfield, Dale, Quality Control, London, Prentice-Hall International Limited, 2001.
10. Bilal M. Ayyub, Richard H. Mccuen, Morgan, Probability, Statistics, and Reliability for Engineers and Scientists, CRC Press, 2002.
11. Birolini, A., Reliability Engineering. Theory and Practice, B., Springer, 2004.
12. Bojta, P. Németh and G. Harsányi, "Searching for appropriate humidity accelerated migration reliability tests", Microelectronics and Reliability, Vol. 36, No.4, pp. 534, 1996.
13. Bossche, A., J.R. Mollinger, Reliability Aspects of Electronic Components and Systems, Course Book, DUT, 1999.
14. Chan, A., P. Englert, Accelerated Stress Testing Handbook, IEEE Press, 2001.
15. Crowe, Dana, Design For Reliability, CRC Press LLC, 2001.
16. Feinberg, A. A., Gibson, G. J., Accelerated Reliability Growth Methodologies and Models, Recent Advances in Life-Testing and Reliability, Edited by N. Balakrishnan, CRC Press, 1995.
17. Freund, Rudolf J., William J. Wilson, Regression Analysis: Statistical Modeling of a Response Variable, Academic Press, San Diego, 1998.
18. MIL-HDBK-189, Reliability Growth Management, 2000.
19. MIL-HDBK-217F Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1998.
20. MIL-HDBK-338 Electronic Reliability Design Handbook, 1998.
21. MIL-HDBK – 1629, Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis, 1998
22. Patrick D. T. O'Connor, Practical Reliability Engineering, Halsted Press, 2002.
23. Reliability Growth - Statistical Test and Estimation Methods, IEC 1164, 1995.
24. System Analysis Reference <http://www.weibull.com/>
25. <http://ecad.tu-sofia.bg>

СЪДЪРЖАНИЕ

Въведение	3
Част първа – Лабораторни Упражнения	
1 ^а – Анализ на данни от изпитвания за надеждност <i>№1 W. Nakagaki</i>	3
4 ^а – Прогнозиране надеждността на електронни компоненти <i>№4 A. P. P.</i>	13
2 ^а – Прогнозиране надеждността на системи чрез симулиране на откази <i>№2 M. K. K.</i>	13
5 ^а – Ускорени изпитвания и анализ на данни <i>№5 A. T. R. G.</i>	18
3 ^а – Повишаване на надеждността <i>№3 D. H. K.</i>	23
Построяване и анализ на дърво на отказите	27
Анализ на режимите на отказ и техните последствия (FMEA).	31
Анализ на критичността	31
Окачествяване на тестови структури за изследване на електрохимичната миграция	36
Част втора – Семинарни Упражнения	
Системи за управление на качеството . Одит.....	40
Причинно-следствена диаграма. Метод на Тагучи	43
Проверочни (контролни) листове. Диаграми на Парето	47
Хистограми. Диаграми на разсейване.....	51
Проектиране на контролни карти за количествени и алтернативни признаци.....	56
Приемателен статистически контрол на качеството (ПСКК).....	60
Осигуряване качеството на комплексни системи – описване на софтуерни грешки и прогнозиране изправност на хардуера	64
Моделиране на откази в електронни схеми.....	68
Литература	72
Съдържание.....	73