

ЛЕКЦІЯ №5
Інженерні методи забезпечення надійності технічних систем
Поняття структурної схеми надійності (СШН). Основні розрахункові
співвідношення для показників безвідмовності.

Структурна модель надійності є наочним поданням моделі надійності системи. Вона показує логічний зв'язок компонентів в процесі роботи системи

Основні математичні моделі надійності

1. Логічні моделі

Надійність пристроїв на етапі проектування визначається за допомогою відповідних математичних моделей надійності, які являють собою модель функціонування пристроїв.

Математична модель встановлює аналітичну залежність показника, який характеризує надійність пристрою, від кількісних показників надійності елементів пристрою. Вигляд математичної моделі визначає імовірність застосування тих або інших розрахункових формул для визначення надійності пристрою.

Розрізняють такі математичні моделі [3]:

1) двопозиційні моделі, що описують пристрої, які знаходяться в одному із двох можливих станів: 1 (працездатний) або 0 (непрацездатний), при цьому елементи пристрою також знаходяться в одному із двох станів: 1 або 0 (наприклад, модель функціонування пристрою, що враховує тільки раптові відмови);

2) двопозиційні моделі, що описують пристрої, які знаходяться в стані 1 або 0, а елементи пристрою в цей час знаходяться в одному із проміжних станів від 1 до 0 (наприклад, модель функціонування пристрою, що враховує тільки параметричні відмови);

3) багатопозиційні моделі, що описують пристрої, які знаходяться в неперервній або дискретній множині станів від 1 до 0, а елементи пристрою в цей час знаходяться тільки в одному із двох можливих станів 1 або 0 (наприклад, модель функціонування складного пристрою в нормальних умовах до настання зношуваних відмов);

4) багатопозиційні моделі, що описують пристрої, які знаходяться так само, як і їхні елементи, у неперервній або дискретній множині станів від 1 до 0 (наприклад, модель функціонування складного пристрою в умовах впливу проникаючої радіації тощо).

В якості математичних моделей при визначенні надійності пристрою найбільш часто застосовують логічні моделі (схеми) надійності і метод графів (схеми станів).

Логічна модель надійності являє собою графічне зображення складових частин (елементів) виробу, у якому функціональні зв'язки між елементами замінюються логічними. При її побудові передбачається, що відмови елементів незалежні, а елементи і виріб можуть знаходитися в одному із двох можливих станів: працездатному або непрацездатному. Така модель дозволяє враховувати можливі стани виробу по стану його елементів.

Таким чином, логічна модель надійності характеризує безвідмовну роботу виробу в залежності від справності або несправності елементів виробу. Крім того, дана модель встановлює математичну залежність надійності будь-якої технічної системи від кількісних показників надійності елементів, що входять до її складу.

У випадку визначення надійності багатифункціональних систем, логічні моделі складають по кожній функції.

Найбільш простими логічними моделями надійності є послідовні та паралельні моделі, що складаються з незалежних елементів. Ці моделі найбільше часто використовують при попередніх визначеннях надійності простих пристроїв (систем).

Послідовна модель надійності являє собою логічну схему, у якій елементи між собою з'єднані послідовно. Таке з'єднання, з погляду надійності, називають послідовним (основним).

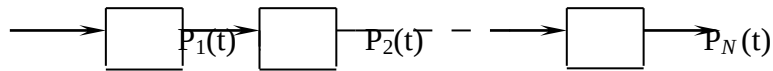


Рис.5.1. Послідовна модель надійності

На рис.5.1 зображена структурна схема системи з послідовним з'єднанням елементів. Для такої моделі умовою роботи без відмов є безвідмовна робота всіх елементів даного з'єднання. Таким чином, при послідовному з'єднанні елементів система зберігає свою працездатність при зберіганні працездатності всіма елементами послідовного з'єднання, а відмова одного з елементів веде до відмови всієї системи.

Якщо всі елементи системи працездатні та незалежні, то імовірність безвідмовної роботи такої системи за час t визначається за такою формулою:

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t) \quad (5.1)$$

де $P_i(t)$ - імовірність безвідмовної роботи i -го елемента за час t ; N -кількість елементів системи.

Імовірність відмови системи за час t визначається за формулою:

$$Q_c(t) = 1 - \prod_{i=1}^N P_i(t) \quad (5.2)$$

Надійність системи з послідовним з'єднанням елементів залежить як від кількості елементів, так і від їхніх показників надійності. Очевидно, що зі збільшенням кількості елементів, імовірність безвідмовної роботи системи зменшується.

Послідовні моделі надійності використовуються для оцінки надійності нерезервованих систем.

Паралельна модель надійності являє собою логічну схему, у якій елементи між собою з'єднані паралельно.

На рис.5.2 зображена структурна схема системи з паралельним з'єднанням елементів.

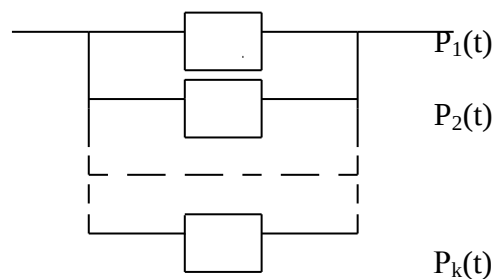


Рис. 5.2. Паралельна модель надійності

Таке з'єднання елементів, з погляду надійності, називають паралельним (структурним резервуванням) і розглядають його як спосіб підвищення надійності.

Для такої моделі умовою безвідмовної роботи є безвідмовна робота хоча б одного елемента паралельного з'єднання, а відмова системи настає при відмові всіх елементів даного з'єднання.

Надійність системи при паралельно з'єднаних елементах на логічній схемі визначається за формулами, що відповідають визначеному виду резервування.

Імовірність безвідмовної роботи системи, зображеної на рис.4.2, за час t визначається за формулою:

$$P_c(t) = 1 - \prod_{j=1}^k [1 - P_j(t)] \quad (5.3)$$

де $P_j(t)$ - імовірність безвідмовної роботи за час t j -го елемента системи; k - кількість паралельно з'єднаних елементів системи.

Імовірність відмови системи за час t визначається за формулою:

$$Q_c(t) = \prod_{j=1}^k [1 - P_j(t)] \quad (5.4)$$

Паралельні моделі надійності використовуються для визначення надійності резервованих систем. Таким чином, використовуючи математичні моделі, можна знайти значення показників надійності пристрою (системи) за даними про надійність елементів.

Незважаючи на простоту та наближеність розглянутих моделей вони достатньо широко застосовуються при попередніх визначеннях надійності при проектуванні пристроїв.

Очевидно, що достовірність результатів надійності пристроїв багато в чому залежить від повноти математичної моделі та повноти урахування всіх факторів, що впливають на надійність.

Головна складність при визначенні надійності - це складення логічної моделі та вибір відповідних формул розрахунку, за допомогою яких потім визначають кількісні значення показників надійності. Справа в тому, що логічна модель (схема) не завжди співпадає з функціональною (електричною) схемою пристрою. В цьому випадку віднесення з'єднання елементів до послідовного або паралельного з'єднання елементів на логічній моделі трохи ускладнене і звичайно залежить від виконуваної функції даним з'єднанням, а також виду відмов.

Як приклад побудови логічної моделі для визначення надійності розглянемо пристрій, електрична схема якого зображена на рис.5.3

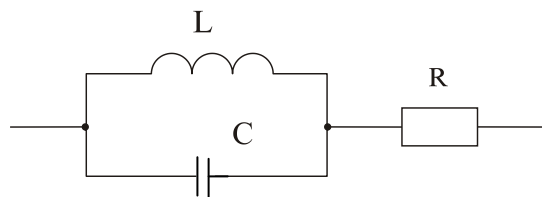


Рис.5.3. Електрична схема коливального контуру

Коливний контур буде нормально функціонувати, якщо всі елементи контуру будуть справні, тобто працездатні, а вихід із строю будь-якого з них призводить до порушення функціонування даної схеми, тобто відмови.

Таким чином, незважаючи на наявність у схемі паралельно-послідовного з'єднання елементів, визначення надійності даної схеми повинно проводитися по послідовній моделі, у якій елементи з'єднані між собою послідовно, оскільки саме ця логічна модель характеризує безвідмовну роботу даної схеми.

Приклад логічної моделі для оцінки надійності схеми наведено на рис.5.4.

Ліві частини рівнянь містять похідні за часом від імовірностей перебування виробу в j -му стані P_j в момент часу t , а кожен доданок правої частини рівняння дорівнює добутку інтенсивності переходу λ_j (або μ_j), що стоїть над відповідною стрілкою, на імовірність того j -го стану, з якого стрілка виходить. Знак добутку залежить від напрямку стрілки: «+», якщо стрілка спрямована вістрям до стану, і «-», якщо стрілка виходить із цього стану.

Система диференціальних рівнянь доповнюється нормувальною умовою

$$\sum_{j=0}^n P_j(t) = 1 \quad (5.6)$$

де $P_j(t)$ - імовірність перебування пристрою в j -му стані в момент часу t ; $n+1$ - кількість можливих станів пристрою.

Таким чином, уся множина можливих станів пристрою може бути подана у вигляді двох множин: множина станів n_1 , у яких пристрій працездатний, та множина станів n_2 , у яких пристрій непрацездатний.

Функція готовності пристрою визначається за формулою:

$$K_r(t) = \sum_{j=0}^{n_1} P_j(t) \quad (5.7)$$

де $P_j(t)$ - імовірність перебування пристрою в j -му працездатному стані.

Імовірність станів $P_j(t)$ пристрою, у випадку відмов його елементів, визначається шляхом розв'язання системи диференціальних рівнянь. При розв'язанні, як правило, використовують перетворення Лапласа (додаток Д1, табл. Д1-1).

Функція простою визначається з рівняння:

$$K_n(t) = 1 - K_r(t) = 1 - \sum_{j=0}^{n_1} P_j(t) \quad (5.8)$$

Якщо необхідно визначити коефіцієнт готовності K_r пристрою, то в цьому випадку розв'язують систему диференціальних рівнянь при сталому режимі експлуатації, тобто при $t \rightarrow \infty$.

У цьому випадку усі похідні $P_j'(t) = 0$ і система диференціальних рівнянь перетвориться в систему алгебраїчних рівнянь, розв'язуючи яку, з урахуванням нормувальної умови, отримують:

$$K_r = P_0 = \frac{1}{\sum_{j=1}^n \frac{\lambda_j}{\mu_j} + 1} \quad (5.9)$$

Середній наробіток пристрою до відмови визначається хом підсумовування середніх часів перебування пристрою в працездатних станах за формулою

$$T = \sum_{j=0}^{n_1} T_j \quad (5.10)$$

де T_j - середній час перебування пристрою в j -му стані.

Слід зазначити, що застосування логічних схем і відповідних їм формул розрахунку надійності резервованих виробів (систем) дозволяє визначити кількісні показники надійності (безвідмовності) значно швидше, ніж застосування методу графів станів із наступним розв'язанням системи диференціальних рівнянь.