



Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Радіотехнічний факультет

ЗВІТ ДО ПРАКТИКИ
тема магістерської дисертації:
«Надійність системи бортового живлення нано- та мікросупутників»

Керівник:
ст. вик. Непочтих Ю. В.

Виконавець:
ст. Сальус А. М.
гр. РІ-01мп

Київ, 2021

1 МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ТА АНАЛІЗУ НАДІЙНОСТІ

1.1 Аналіз методів підвищення надійності

1.1.1 Інформаційні методи підвищення надійності

Інформаційні методи в основному застосовують в обчислювальній техніці. Реалізуються вони у вигляді кодів, що коригують. Ці коди призначені для того, щоб виявляти і виправляти помилки в РЕА без переривання їх роботи.

Використання кодів, що коригують, передбачає введення у виріб деякої надмірності. Надмірності, можуть бути тимчасовими і просторовими. Тимчасова надмірність характеризується неодноразовим рішенням задачі. Отримані результати порівнюються, і якщо вони співпадають, то робиться висновок, що завдання вирішене правильно. Тимчасова надмірність вводиться в РЕА програмним шляхом. Просторова надмірність характеризується подовженням кодів чисел, в які вводять додатково контрольні розряди.

Принцип виявлення і виправлення помилок за допомогою кодів, що коригують, полягає в наступному. У кінцевій множині A вихідних слів пристрою виділяють підмножину B дозволених кодових слів (тобто $B \subset A$). Ці слова можуть з'явитися лише у тому випадку, якщо усі арифметичні і логічні операції, виконувані РЕА, здійснюються правильно. Тоді очевидно, що підмножина $B = C(A \setminus B = C)$ характеризуватиме заборонені кодові слова. Останні мають місце тільки за наявності помилок.

Далі усі слова на виході пристрою аналізують, і якщо на виході пристрою з'являється заборонене кодове слово c_i ($c_i \in B$), то це свідчить про наявність помилки, і вона фіксується. Для усунення виявлених таким чином помилок усі заборонені кодові слова розбиваються на групи. Кожній такій групі ставиться у відповідність тільки одне дозволене кодове слово. При декодуванні заборонені кодові слова c_i автоматично замінюються

дозволеними кодовими словами з тієї групи, до якої належить c_i . Таким чином, коди, що коригують, в змозі не лише виявляти помилки, але і усувати їх [1].

1.1.2 Структурні методи підвищення надійності. Резервування

Забезпечити безвідмовну роботу технічних пристроїв принципово неможливо, а максимально підвищити показники їх надійності реально. Підвищення рівня надійності РЕА досягається, передусім, усуненням причин, що викликають в ній відмови, тобто зведенням до мінімуму конструкторських, технологічних і експлуатаційних помилок.

Значного підвищення надійності РЕА можна досягти створенням нових елементів, застосування інтегральних мікросхем для побудови РЕА привело до значного підвищення надійності апаратури.

Проте підвищенням надійності елементів не вдається повністю розв'язати проблему побудови надійних РЕА, що викликано значним зростанням складності РЕА, що розробляються, великими витратами при отриманні елементів високої надійності, а також існуванням елементів, надійність яких досить низька і важко піддається підвищенню. Тому один з шляхів підвищення надійності РЕА – вступ схемної надмірності [1].

Підвищення надійності РЕА резервуванням. Резервування - це загальноприйнятий підхід для підвищення надійності системи. Додавання резерву збільшує вартість і складність конструкції системи, і завдяки високій надійності сучасних електричних компонентів в багатьох випадках системи не потребують резерву. Однак, якщо вартість відмови досить висока, це може бути правильним рішенням.

Залежно від умов роботи резервних елементів розрізняють [2]:

1) постійний (гарячий) резерв. Цей вид характеризується абсолютно однаковим режимом роботи резервних і основних елементів. Ресурс резервних елементів витрачається з моменту включення в роботу всієї системи;

2) резервування з заміщенням (холодний). Ресурс резервних елементів починає витрачатися з моменту відмови резервної системи;

3) полегшений (теплий) резерв. При цьому ресурс резервованих елементів починає витрачатися з моменту включення всієї системи в роботу, однак ресурс елементів до моменту включення їх замість системи, що відмовила значно нижче, ніж за звичайних робочих умовах.

За способом включення резерву розрізняють:

- 1) роздільне резервування;
- 2) загальне резервування.

1.1.3 Види резервування за способом резерву

Роздільне резервування

Роздільне резервування (рис. 1.1) - резервуються лише окремі, найменш надійні частини системи. Систему з загальним резервуванням заміщенням можна вважати окремим випадком системи з роздільним резервуванням, що має одну ділянку резервування. Роздільне резервування можливо як для порівняно великих вузлів і блоків системи, так і для окремих її елементів або навіть внутріелементних зв'язків [3].

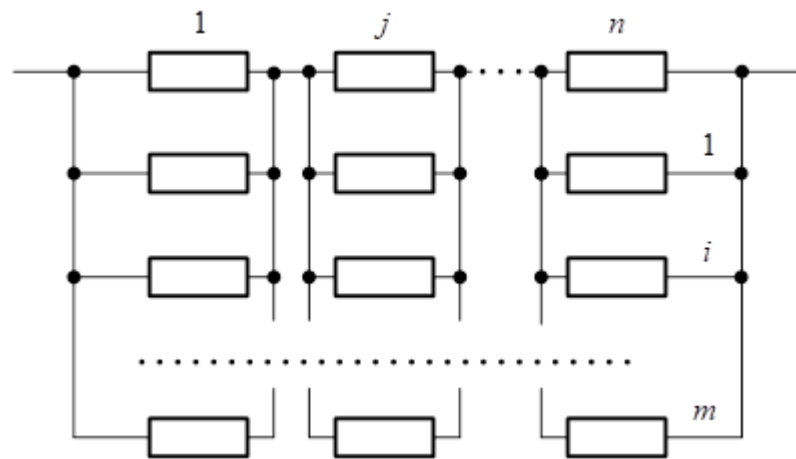


Рисунок 11.1 — Структурна схема системи із загальним резервуванням

Імовірність відмови всіх елементів ланцюга (основних і резервних) визначається за формулою:

$$Q_{\text{ланц}}(t) = \prod_{i=1}^n (1 - P_{ij}(t)). \quad (1.1)$$

де $P_i(t)$ – імовірність безвідмовної роботи елемента i , ланцюга j .

Імовірність безвідмовної роботи системи:

$$P_{\text{розд}}(t) = \prod_{j=1}^n \left(1 - \prod_{i=1}^{m+1} (1 - P_{ij}(t)) \right). \quad (1.2)$$

Якщо елементи однакові, то:

$$Q_{\text{розд}}(t) = 1 - (1 - Q(t)^{m+1})^n, \quad (1.3)$$

$$P_{\text{розд}}(t) = 1 - (1 - P(t)^{m+1})^n. \quad (1.4)$$

Роздільне резервування доцільно застосовувати для елементів, що мають невелику ймовірність безвідмовної роботи.

Загальне резервування

Загальне резервування - це резервування всієї системи в цілому (рис. 1.2). Завдяки своїй простоті цей спосіб резервування найбільш широко поширений, особливо його різновид - дублювання, при якому використовується тільки одна резервна система [3].

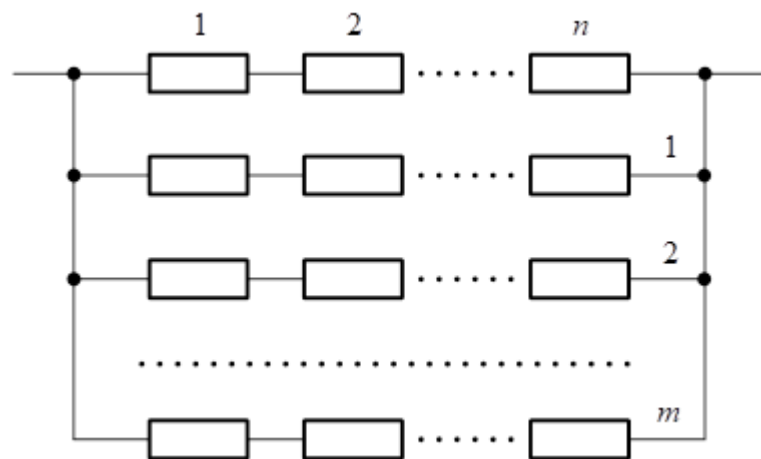


Рисунок 1.2 — Структурна схема системи із загальним резервуванням

Імовірність безвідмовної роботи та імовірність відмов системи визначають за формулами:

$$P_{\text{заг}}(t) = \prod_{i=1}^n p_i(t); \quad (1.5)$$

$$Q_{заг}(t) = 1 - \prod_{i=1}^n p_i(t); \quad (1.6)$$

1.1.4 Види резервування залежно від режиму роботи резерву

Постійне резервування

При постійному включенні резервний елемент включений паралельно основному і працює разом з ним (рис.1.3). При відмові основного елемента установка зберігає працездатність за рахунок резервного елемента, що приймає на себе все навантаження. У цьому випадку немає необхідності включати резервний елемент і відключати відмовив основний, але резервний елемент зношується і витрачає свій ресурс надійності разом з основним.

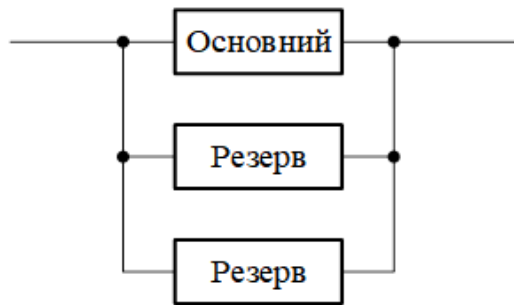


Рисунок 1.1.3 — Структурна схема системи із постійним включенням резерву

До переваг постійного загального резервування відносяться:

- відносна простота побудови схем;
- відсутність навіть короткочасної перерви в роботі при відмові від одного до іншого елементів системи;
- відсутність додаткових елементів, що підключаються, що знижують загальну надійність схеми.

Недоліки такого методу, крім збільшення габаритів і маси системи, - підвищенні витрати енергії, а також те, що резервні елементи «старіють» одночасно з основними елементами системи.

Резервування з заміщенням

Резервування заміщенням (рис. 1.4) має ту перевагу, що в більшості випадків не потрібно регулювання в момент відмови основного і включення резервного апарату резервний апарат до включення його в роботу може перебувати в теплому або холодному стані (так званий полегшений або ненавантажений резерв), це зберігає ресурс надійності кожного з пристроїв і підвищує загальну надійність всієї системи.

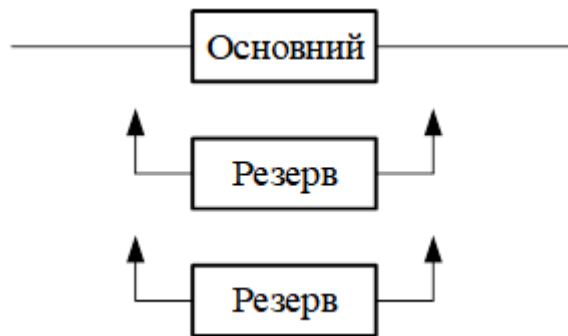


Рисунок 1.1.4 — Структурна схема системи із постійним включенням резерву

Основні переваги резервування з заміщенням:

- 1) більший виграш в надійності в порівнянні з постійним резервуванням (у випадках ненавантаженого і полегшеного резерву);
- 2) відсутність необхідності додаткового регулювання в разі заміщення основного елемента резервним, так як основний і резервний елементи однакові.

Основні недоліки резервування заміщенням:

- 1) складність технічної реалізації і пов'язане з цим збільшення маси, габаритів і вартості всього зарезервованого РЕА;
- 2) перерва в роботі в разі заміщення елемента, що відмовив;
- 3) необхідність мати перемикаючий пристрій високої надійності.

1.2 Аналіз методів розрахунку надійності системи

За основними принципами розрахунку властивостей, складових надійності, і комплексних показників надійності об'єктів розрізняють методи прогнозування, структурні і фізичні методи розрахунку.

1.2.1 Приблизний розрахунок надійності

Приблизний розрахунок дозволяє визначити принципову можливість забезпечення необхідної надійності виробу і ґрунтується на припущенні, що надійність всіх його елементів однакова ($\lambda = const$).

Приблизний розрахунок здійснюється наступними методами:

- при усередненою інтенсивності відмов;
- коефіцієнтним методом;
- за показником надійності.

Розрахунок за усередненою інтенсивності відмов застосовується для оцінки надійності виробу при порівнянні декількох варіантів його функціональних схем, а також для визначення мінімально допустимого рівня надійності елементів виробу, тобто рівня, що забезпечує задану надійність.

Розрахунок проводиться в наступному порядку:

- за довідниками і/або іншої технічної літератури визначається орієнтовна кількість активних елементів (N_a);
- визначається середнє число пасивних елементів, що припадають на один активний прилад (N_n);
- за довідковими даними визначається середнє значення інтенсивності відмов елементів ($\bar{\lambda}$);
- обчислюється загальне число елементів $N = N_a + N_n N_a$ і середня інтенсивність відмов виробу:

$$\lambda_c = \bar{\lambda} N = \bar{\lambda} (N_a + N_n N_a) \quad (1.7)$$

- визначаються середнє напрацювання системи на відмову (1.8) і ймовірність її безвідмовної роботи (1.9):

$$T_0 = 1 / \lambda_c \quad (1.8)$$

$$P_c(t) = e^{-\lambda_c t} \quad (1.9)$$

Розглянутий метод приблизного розрахунку дозволяє оцінити наближено надійність РЕЗ в лабораторних умовах. У реальних же умовах показники надійності гірше, ніж в лабораторних, через наявність різних

дестабілізуючих факторів. Для врахування дії цих факторів і застосовують коефіцієнтний метод розрахунку надійності, що полягає у введенні поправочний коефіцієнт K_λ , що показує у скільки разів збільшується інтенсивність відмов окремих елементів і системи в цілому в реальних умовах в порівнянні з лабораторними.

Для визначення очікуваної середньої інтенсивності відмов елементів в системі, призначеної для роботи в реальних умовах, необхідно середню інтенсивність її відмов в лабораторних умовах помножити на відповідний поправочний коефіцієнт:

$$\lambda_{c.p} = \lambda_c K_\lambda \quad (1.10)$$

Розрахунок за показником надійності дозволяє обчислити параметри системи з неодноразово працюючими елементами, так як показник надійності $A = \lambda t$ враховує не тільки інтенсивність відмов елементів, але і час їх роботи. Даний метод також зручний при розрахунку норм надійності для окремих вузлів і блоків системи при заданій надійності всієї системи.

Цим методом можна вирішити наступне завдання:

1) Система містить N елементів з інтенсивністю відмов відповідно $\lambda_1 \dots \lambda_N$. Елементи працюють неодноразово і час їх роботи $t_1 \dots t_N$. Потрібно визначити ймовірність безвідмовної роботи системи $P_c(t)$, де t - проміжок часу від початку роботи першого елемента до кінця роботи останнього. Розрахунок проводиться в наступному порядку:

– визначаються показники надійності елементів:

$$A_1 = \lambda_1 t_1, \dots, A_N = \lambda_N t_N \quad (1.11)$$

– визначається показник надійності системи:

$$A_c = \sum_{i=1}^N A_i \quad (1.12)$$

– обчислюються ймовірність безвідмовної роботи системи і середній час її напрацювання до першої відмови:

$$P_c(t) = e^{-A_c}$$

$$T_0 = -\frac{\ln(P_c(t))}{t} \quad (1.13)$$

1.2.2 Орієнтовний розрахунок надійності

Орієнтовний метод розрахунку надійності використовується на етапі ескізного проектування після розробки принципової електричної схеми системи. Цей метод дозволяє визначити раціональний склад елементів системи і намітити шляхи підвищення його надійності на стадії ескізного проектування.

Орієнтовний розрахунок, який враховує вплив на надійність системи тільки числа і типу застосовуваних елементів, ґрунтується на тих же припущеннях, що і приблизний, тобто для його проведення досить знати структуру системи, номенклатуру застосованих елементів і їх число.

Орієнтовний розрахунок надійності виконується двома методами:

- по середньогруповим інтенсивностям відмов елементів;
- коефіцієнтним методом.

Розрахунок надійності по середньогруповим інтенсивностям відмов елементів передбачає, що відомі інтенсивності відмов елементів різних типів λ_i число елементів N_i кожного типу, що входять в систему.

Сутність даного методу розрахунку надійності полягає у визначенні основних показників, що характеризують безвідмовність апаратури: напрацювання на відмову T_0 і ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$.

Порядок розрахунку:

1) всі елементи проекрованої системи розбиваються на кілька груп з приблизно однаковими інтенсивностями відмов всередині групи і підраховується орієнтовна кількість елементів N_i в кожній з цих груп;

2) за таблицями знаходяться значення інтенсивностей відмов елементів кожної групи λ_i (середнє або крайнє, якщо потрібно визначити максимальні і мінімальні значення показників надійності апаратури);

3) обчислюється добуток $N_i \lambda_i$, який характеризує частку відмов, внесених елементами даної групи в загальну інтенсивність відмов системи;

4) розраховується загальна інтенсивність відмов системи за допомогою підсумовування добутоків $N_i \lambda_i$ за всіма k груп елементів:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^k \lambda_i N_i \quad (1.14)$$

5) визначається напрацювання системи на відмову зі співвідношення (1.8);

б) розраховується ймовірність безвідмовної роботи системи (1.9).

Розглянемо коефіцієнтний метод орієнтовного розрахунку надійності, що полягає у використанні при розрахунку показників надійності системи коефіцієнтів, що пов'язують інтенсивності відмов елементів різних типів з інтенсивністю відмов елемента, характеристики надійності якого достовірно відомі.

Вважається, що інтенсивності відмов елементів всіх типів змінюються в залежності від умов експлуатації однаково, а отже, при різних умовах експлуатації:

$$\frac{\lambda_i}{\lambda_0} = K_i = const, \quad (1.15)$$

де λ_0 — інтенсивність відмов елемента, якісні характеристики якого достовірно відомі; K_i — коефіцієнт надійності i -го елемента.

Елемент з інтенсивністю відмов λ_0 називається основним елементом розрахунку системи.

Основну розрахункову формулу для даного методу отримаємо з виразу для інтенсивності відмов системи, замінивши в ньому λ_i , добутком середньої інтенсивності відмов системи в лабораторних умовах і поправочний коефіцієнт:

$$\lambda_c = \sum_{i=1}^k \lambda_i N_i = \lambda_0 \sum_{i=1}^k K_i N_i. \quad (1.16)$$

Інші показники надійності системи, тобто T_0 і $P(t)$, розраховуються за тим самим відомим формулами.

1.2.3 Остаточний розрахунок надійності

Остаточний розрахунок надійності також називають схемним, так як він виконується по принциповій електричній схемі. Проводиться цей розрахунок на етапі технічного проектування по дослідному зразку виробу для відомих умов експлуатації, режимів роботи всіх елементів і конструктивного оформлення.

Для остаточного розрахунку використовуються ті ж формули, що і для орієнтовного, тільки інтенсивності відмов елементів λ_e тут беруться з урахуванням реальних умов експлуатації, тобто вводиться ряд поправкових коефіцієнтів:

$$\lambda_e = \lambda_\sigma K_p \sum_{i=1}^n K_i \quad (1.17)$$

де, λ_σ — вихідна (базова) інтенсивність відмов електрорадіоелементів; K_p — коефіцієнт режиму роботи, що залежить від коефіцієнта навантаження і (або) температури навколишнього середовища; K_i — коефіцієнти, що враховують зміни експлуатаційної інтенсивності відмов в залежності від різних факторів; n — число чинників, що враховуються.

Таким чином, щоб розрахувати надійність необхідно знати реальні режими роботи всіх елементів електрорадіо виробу, які визначаються коефіцієнтами режиму роботи K_p , залежними від коефіцієнта електричного навантаження K_n і температури t навколишнього середовища. Коефіцієнти електричного навантаження в загальному випадку визначаються за формулою:

$$K_n = \frac{E_p}{E_{доп}}, \quad (1.18)$$

де E_p і $E_{доп}$ — реальне і допустиме значення електричного параметра.

Основні математичні вирази для визначення реальних інтенсивностей відмов і таблиці значень поправочних коефіцієнтів деяких ЕРЕ представлені в [Ямпурин].

1.2.4 Розрахунок надійності з використанням Марківської моделі

Моделювання Маркова - це метод моделювання, який широко використовується для аналізу надійності складних систем. Він дуже гнучкий щодо типу систем та поведінки системи, які він може моделювати. Ця методика моделювання дуже допомагає в більшості ситуацій. Насправді він широко використовується для аналізу надійності та доступності відповідальної системи з постійними відмовами та вірогідність відновлення роботи.

Розглянемо функціонування відновлюваного елемента, при наступних припущеннях: (1) потік відмов елемента - з параметром λ (інтенсивність відмов); (2) потік відновлень елемента - з параметром μ (інтенсивність відновлення). Припущення (1) і (2) рівносильні припущенням про експоненційний розподіл випадкового часу відмови і відновлення. Елемент може перебувати в двох станах: 1 - справний стан; 2 - стан відмови. Марковський діаграма переходів елемента між справним станом і станом відмови показаний на рис.5.1.

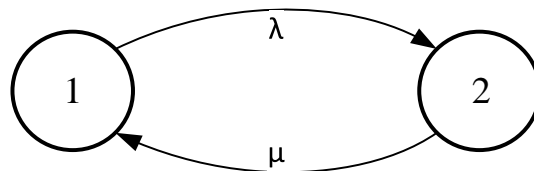


Рисунок 1.5 —

Позначимо: $P_1(t)$ - ймовірність знаходження елемента в момент часу t в стані 1. $P_2(t)$ - ймовірність знаходження елемента в момент часу t в стані 2. Подія А працездатності елемента (знаходження в стані 1) в момент часу $t + \Delta t$ може статися двома способами. Або відбудеться подія В, що складається в тому, що в момент t елемент вже знаходився в працездатному стані 1 і за час Δt не вийшов з цього стану (відмова за Δt не сталося). Або відбудеться подія С, що складається в тому, що в момент t елемент була в стані відмови 2 і за час Δt перейшов зі стану 2 в стан 1 (працездатність елемента була відновлена за Δt).

Ймовірність події В дорівнює:

$$P(B) = P_1(t)e^{-\lambda\Delta t} \approx P_1(t)(1 - \lambda\Delta t) \quad (1.19)$$

Ймовірність події С дорівнює:

$$P(C) = P_2(t)(1 - e^{-\mu\Delta t}) \approx P_2(t)\mu\Delta t \quad (1.20)$$

Тоді ймовірність події А (працездатності елемента в момент часу $t + \Delta t$), з урахуванням того, що події В і С несумісні, визначається як:

$$P(A) = P_1(t + \Delta t) = P_1(t)(1 - \lambda\Delta t) + P_2(t)\mu\Delta t \quad (1.21)$$

Якщо ми перенесемо $P_1(t)$ в ліву частину рівняння, розділимо отримане приріст функції на приріст аргументу, спрямувавши Δt до нуля, то отримаємо диференціальне рівняння щодо невідомої ймовірності $P_1(t)$:

$$\frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \quad (1.22)$$

Аналогічно розмірковуючи, можна отримати диференціальне рівняння щодо ймовірності $P_2(t)$. Таким чином, ми отримали для ймовірностей $P_1(t)$ і $P_2(t)$ систему звичайних диференціальних рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{dP_1(t)}{dt} = -\lambda P_1(t) + \mu P_2(t) \\ \frac{dP_2(t)}{dt} = \lambda P_1(t) - \mu P_2(t) \end{cases} \quad (1.23)$$

Цю систему рівнянь можна представити у матричному вигляді:

$$\begin{bmatrix} \frac{dP_1(t)}{dt} \\ \frac{dP_2(t)}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\lambda & \mu \\ \lambda & -\mu \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1(t) \\ P_2(t) \end{bmatrix} \quad (1.24)$$

Вирішивши систему диференціальних рівнянь з початковими умовами $P_1(0) = 1; P_2(0) = 0; P_1(t) + P_2(t) = 1$, отримаємо:

$$\begin{cases} P_1 = \frac{\mu}{\mu + \lambda} \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\mu + \lambda)t} \right) \\ P_2 = \frac{\lambda}{\mu + \lambda} \left(1 - e^{-(\mu + \lambda)t} \right) \end{cases} \quad (1.25)$$

Якщо ми будемо будувати Марківську модель надійності систем, що складаються з декількох елементів, враховувати додаткові чинники, то очевидно, що простір станів моделі буде збільшуватися. Система диференціальних рівнянь щодо $P_i(t)$ ($i = 1, 2, \dots, n$) в загальному вигляді записується як:

$$\begin{aligned} \frac{dP_1(t)}{dt} &= -P_1(t) \sum_{i \in g_1} \lambda_{1i} + \sum_{i \in G_1} P_i(t) \lambda_{i1} \\ &\dots \\ \frac{dP_n(t)}{dt} &= -P_n(t) \sum_{i \in g_n} \lambda_{ni} + \sum_{i \in G_n} P_i(t) \lambda_{in} \end{aligned} \quad (1.26)$$

де g_n — безліч станів, в які можливий безпосередній перехід з даного стану n ; G_n — безліч станів, з яких можливий безпосередній перехід в стан n ; n — кількість станів, в яких може перебувати система.

Імовірність безвідмовної роботи ($P_c(t)$) всієї системи:

$$P_c(t) = \sum_{i=1}^{n-1} P_i(t) \quad (1.27)$$

1.3 Висновки до розділу

Аналіз методів підвищення надійності, які використовуються в радіоелектричній апаратурі, показує, що найбільш доцільним способом для підвищення надійності в РЕА є метод резервування. Найбільшим недоліком такого методу є збільшення маси, та габаритів системи. Найбільш перспективним для використання в системі живлення, є загальне постійне резервування, також для системи розподілу живлення наносупутника використати резервування з заміщення.