

Одеський національний університет імені І. І. Мечникова
Факультет математики, фізики та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерних систем та технологій

Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»
«Технології та системи діагностування електронного обладнання»
«Technologies and systems for diagnosing electronic equipment»

Виконав: здобувач денної форми навчання
спеціальності 123 – Комп'ютерна інженерія
Освітня програма «Комп'ютерна інженерія»

Ішков Василь Юрієвич

Керівник д.т.н., професор Гунченко Ю.О.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали, підпис)

Рецензент к.ф.-мат.н., доцент Шугайло Ю.Б.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

Рекомендовано до захисту:
Протокол засідання кафедри
№ 5 від 25.12.2023 р.
Завідувач кафедри

Юрій ГУНЧЕНКО
(підпис) (прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № _____
протокол № _____ від _____ р.
Оцінка _____ / _____ / _____
(за національною шкалою, шкалою ECTS, бали)
Голова ЕК

Алла КОБОЗЄВА
(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса – 2023

АНОТАЦІЯ

У кваліфікаційній роботі розглянуто основні положення теорії надійності, класифіковано відмови, проаналізовано методику формування множин відмовлюючих-відновлювальних елементів складних технічних об'єктів. Розглянуто питання забезпечення достовірного прогнозування показників надійності та вартості експлуатації об'єкта.

Для економії ресурсів на відновлення, зменшення часу простою краще попереджати відмови вузлів та компонентів електронного обладнання шляхом введення систем самодіагностики на початку та в процесі функціонування об'єкта. Запропоновано використання можливості самодіагностики, для чого пропонується.

Для прикладу реалізації системи діагностики обрано об'єкт – стабілізатор напруги змінного струму, для якого виконано аналіз його структури, визначено елементи, відмова яких є критичною. Запропоновано алгоритми само діагностування на початку функціонування, поточне діагностування, діагностування при перемиканні силових ключів.

Розроблено тестову програму обміну повідомленнями яка дозволяє здійснювати зв'язок, накопичувати отримані дані для подальшого опрацювання та аналізу. Проведено тестування програми, показано її працездатність, наведено вкладки з отриманими параметрами.

Мета роботи - підвищення надійності функціонування електронного обладнання шляхом створення технології та системи діагностування.

Об'єкт дослідження - системи діагностики обладнання.

Предмет дослідження - процеси та технології діагностування та визначення працездатності електронного обладнання.

Робота складається з чотирьох розділів, містить посилання на 32 джерела, два додатки.

ABSTRACT

In the qualification work, the main provisions of the theory of reliability were considered, failures were classified, the methodology of the formation of sets of failure-recovery elements of complex technical objects was analyzed. The question of ensuring reliable forecasting of reliability indicators and the cost of operation of the object was considered.

In order to save resources for recovery and reduce downtime, it is better to prevent the failure of nodes and components of electronic equipment by introducing self-diagnosis systems at the beginning and during the operation of the object. It is suggested to use the self-diagnosis feature, for which it is suggested.

For the example of the implementation of the diagnostic system, an object was chosen - an alternating current voltage stabilizer, for which an analysis of its structure was performed, elements whose failure is critical were determined. Algorithms for self-diagnosis at the beginning of operation, current diagnosis, and diagnosis when switching power switches are proposed.

A test messaging program has been developed that allows you to communicate, accumulate the received data for further processing and analysis. The program has been tested, its functionality is shown, tabs with the obtained parameters are given.

The purpose of the work is to increase the reliability of the functioning of electronic equipment by creating a technology and a diagnostic system.

The object of research is equipment diagnostic systems.

The subject of research is the processes and technologies of diagnosing and determining the functionality of electronic equipment.

The work consists of four sections, contains references to 32 sources, and two appendices.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ТЕХНІЧНИЙ СТАН ТА ДІАГНОСТИКА ОБ’ЄКТІВ	7
1.1 Основні поняття і терміни теорії надійності.....	7
1.2 Показники надійності	11
1.3. Періоди роботи технічних пристроїв.....	14
1.4 Структурна надійність.....	15
1.5. Закони розподілу відмов	16
1.6 Висновки по розділу 1	17
2 МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ МНОЖИН ВІДМОВЛЮЮЧИХ- ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ’ЄКТІВ	19
2.1 Конструктивна та надійнісна структура об’єкта	21
2.2 Множина елементів що відмовляють та відновлюють	24
2.3 Алгоритми і методи формування множин	26
2.4 Реалізація алгоритмів	31
2.5 Висновки по розділу 2	34
3 СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ	36
3.1 Опис об’єкта контролю та діагностики	36
3.2 Аналіз відмов та можливості самодіагностики	38
3.3 Елементна база	39
3.4 Алгоритм початкової діагностики	41
3.5 Алгоритм поточної діагностики.....	42

3.6 Алгоритм діагностики при критичних подіях	44
3.7 Висновки по розділу 3	46
4 ПОБУДОВА СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО КОНТРОЛЮ ТА	
ДІАГНОСТИКИ	47
4.1 Алгоритм зв'язку та організації повідомлень	47
4.2 Програма діагностування	50
ВИСНОВКИ	54
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	56
ДОДАТОК А Лістинг програми	59
ДОДАТОК Б Копії демонстраційних матеріалів.....	69

ВСТУП

Сучасні електронні пристрої бувають дуже складними і відповідальними, можуть складатися з великої кількості різних елементів. Їх некоректне функціонування може призвести до виходу з ладу технічних систем, в яких будуть відбуватися критичні відмови. Це призводить до значних втрат на відновлення та компенсацію простою.

Одним з шляхів підвищення надійності електронного обладнання є створення комплексних систем діагностики і контролю, які можуть вчасно попереджати та визначати відмови, тим самим зменшувати втрати.

Тому актуальною є мета роботи - підвищення надійності функціонування електронного обладнання шляхом створення технології та системи діагностування.

Для досягнення мети необхідно вирішити наступні взаємопов'язані науково-практичні задачі:

- аналіз предметної області;
- класифікація відмов;
- аналіз систем діагностування об'єктів;
- вибір апаратних та програмних засобів реалізації системи діагностики;
- реалізація системи діагностування електронного обладнання;
- тестування системи діагностики.

Об'єкт дослідження - системи діагностики обладнання.

Предмет дослідження - процеси та технології діагностування та визначення працездатності електронного обладнання.

1 ТЕХНІЧНИЙ СТАН ТА ДІАГНОСТИКА ОБ'ЄКТІВ

1.1 Основні поняття і терміни теорії надійності

Ми представляємо поняття та терміни, які будуть використовуватися в майбутньому в теорії надійності, вони використовуються в теорії та розрахунку надійності елементів і систем технічних об'єктів (ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення»), елементи якого який далі цитуються.

«Об'єкт – система, споруда, машина, підсистема, апаратура, функційна одиниця, пристрій, елемент чи будь яка їх частина, що розглядається з погляду надійності як самостійна одиниця».

Об'єкти можуть включати технічні пристрої, технічний персонал або будь-яку їх комбінацію. Топ-плюсом можна вважати об'єкти, суміщені як загального, так і оперативного призначення.

«Надійність – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування».

Надійність — це комплексна характеристика, яка в залежності від призначення об'єкта та умов використання може включати надійність, довговічність, працездатність і працездатність або певну комбінацію цих характеристик.

Цей термін використовується лише для загальної не кількісної характеристики зазначених властивостей. Надійність (власивість) — здатність об'єкта виконувати необхідні функції в заданих умовах протягом певного інтервалу або продуктивності. Характеристики та показники надійності об'єктів наведені на рисунку 1.1.

«Довговічність – властивість об'єкту зберігати працездатний стан до настання граничного стану при встановленій системі технічного

обслуговування і ремонту.»

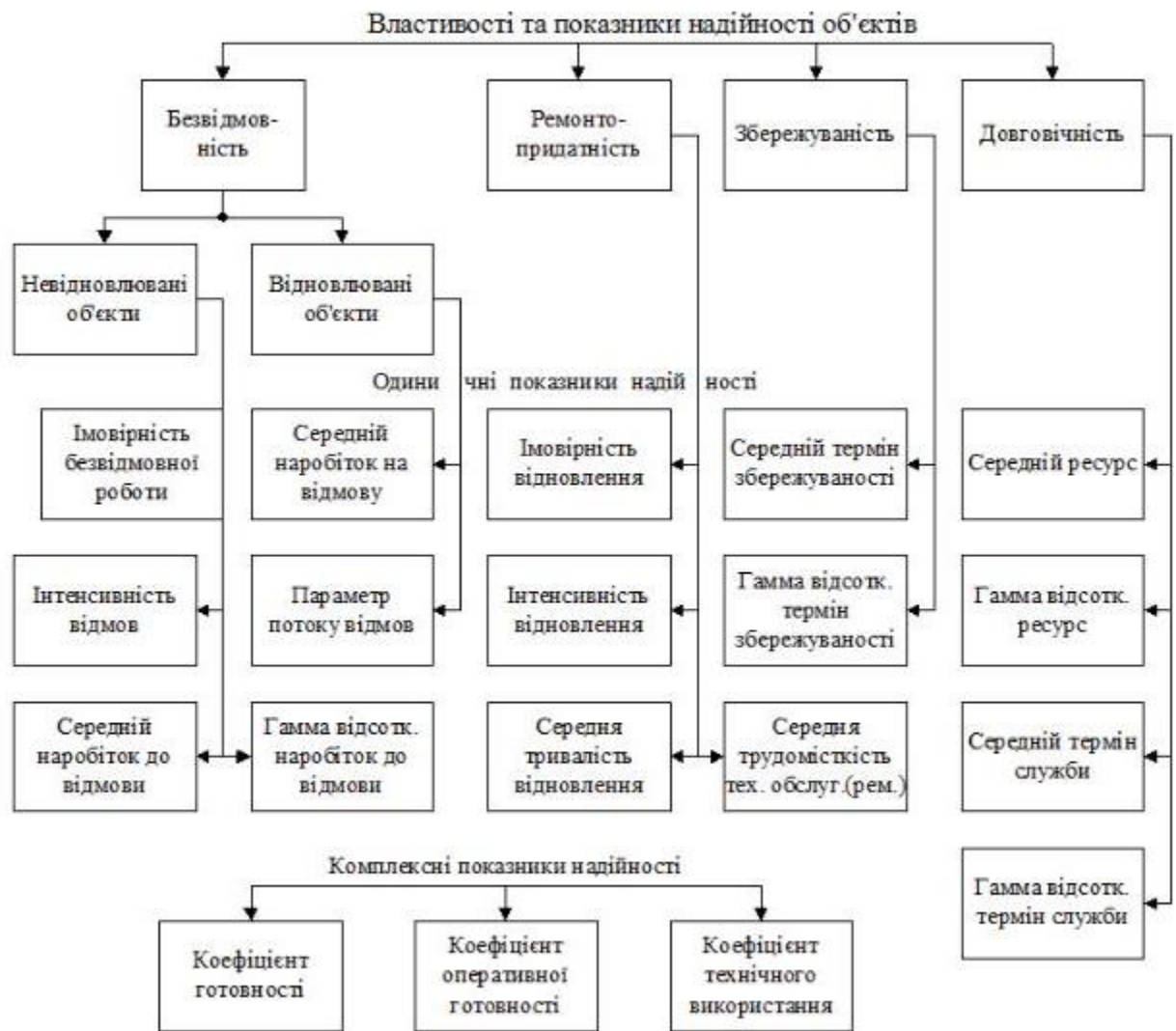


Рисунок 1.1 – Властивості та показники надійності об'єктів

«Ремонтпридатність – властивість об'єкту, що полягає в пристосуванні до попередження і виявлення причин виникнення відмов (пошкоджень), до підтримки і відновлення працездатного стану шляхом проведення технічного обслуговування і ремонтів».

«Збережуваність – властивість об'єкта зберігати в заданих межах значення параметрів, що характеризують здатність об'єкта виконувати потрібні функції, під час і після зберігання та (чи) транспортування».

«Працездатний стан (працездатність) – стан об'єкту, при якому значення всіх параметрів, що характеризують здатність виконувати задані

функції, відповідають вимогам нормативно-технічної і (або) конструкторської документації».

«Граничний стан – стан об'єкту, при якому його подальше вживання за призначенням недопустимо або недоцільно або відновлення його справного або працездатного стану неможливе або недоцільно».

«Відмова – подія, що полягає в порушенні працездатності об'єкту. Відмови класифікуються по характеру процесу прояву – на раптові і поступові, по зв'язку з іншими відмовами – на залежні і незалежні, по фізичній картині процесу – на катастрофічні і параметричні, по ступеню впливу на працездатність – на повні і часткові» (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Класифікація відмов

До раптової відмови можна віднести відмову елементів, порушення режимів або умов роботи, помилки обслуговуючого персоналу тощо. характеризується раптовою зміною параметрів під впливом багатьох випадкових факторів.

Прогресуючі поломки можуть виникати, коли параметри змінюються поступово в результаті старіння компонентів і матеріалів елементів або систем. Однак поділ між раптовою та поступовою невдачею все ще досить умовний. Відмова будь-якого вузла вважається незалежною, якщо вона не є результатом відмови інших вузлів. Інакше виникнуть помилки залежностей.

Параметричні дефекти є частковими відмовами складних виробів і проявляються у зниженні якості експлуатації виробу. Крім того, дефекти поділяються на конструктивні, виробничі та експлуатаційні.

«Відновлюваний об'єкт – об'єкт, для якого в тій ситуації, що розглядається проведення відновлення працездатного стану, передбачене в нормативно-технічній і (або) конструкторській документації».

Об'єкт, що не відновлюється, ні підлягає ностовленню на цьому сайті. Слід зазначити, що в залежності від ситуації навіть один об'єкт можна побачити з іншого боку.

«Напрацювання – тривалість або об'єм роботи об'єкту. Напрацювання повністю – напрацювання об'єкту від початку його експлуатації до виникнення першої відмови».

«Технічний ресурс (ресурс) – напрацювання об'єкту від початку його експлуатації або її відновлення після ремонту до переходу в граничний стан».

«Термін служби – календарна тривалість від початку експлуатації об'єкту або її відновлення після ремонту до переходу в граничний стан».

Резервування використовується в складних технічних виробках і системах як засіб підвищення надійності.

«Резервування – це вживання додаткових засобів і (або) можливостей з метою збереження працездатного стану об'єкту при відмові одного або декількох його елементів».

«Резерв – сукупність додаткових засобів і (або) можливостей, використовуваних для резервування». Коли вторинний елемент знаходиться в тому ж робочому режимі, що і первинний, вторинна частина розвантажується, і вторинний елемент може бути фактично навантажений (до того, як він почне виконувати функції первинного елемента), коли він не може витримати навантаження.

«Показник надійності – кількісна характеристика однієї або декількох властивостей, складових надійності об'єкту».

1.2 Показники надійності

Показники надійності можна розділити на дві групи, які описують невідновлювані та придатні для використання об'єкти [1-4]. Кількісні характеристики надійності невідновлюваних елементів: ймовірність відмови $P(t)$ і вірогідність відмови $Q(t)$, частота відмови $a(t)$, інтенсивність відмови $\lambda(t)$, середній час роботи до першої відмови $T_{ср}$.

«Ймовірність безвідмовної роботи (ІБР) – це ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу не станеться жодної відмови.»

Крім того, ймовірність $P(t)$ є функцією, яка спадає з часом (рис. 1.3), причому $0 \leq P(t) \leq 1$, $P(0) = 1$, $P(\infty) = 0$.

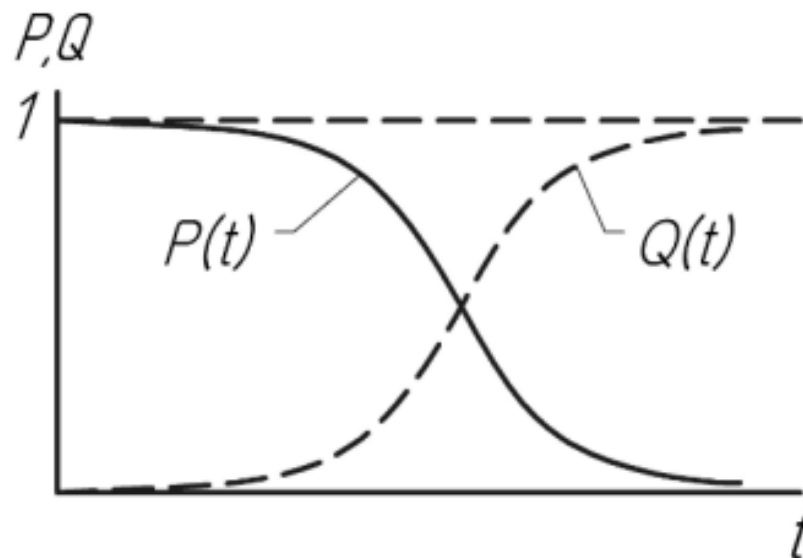


Рисунок 1.3 - Криві ймовірності безвідмовної роботи $P(t)$ і вірогідності відмов $Q(t)$

«Ймовірність відмови $Q(t)$ – це ймовірність того, що за певних умов експлуатації в заданому інтервалі часу станеться хоч би одна відмова. Відмова і безвідмовна робота – події протилежні і неспільні».

«Інтенсивність відмов $\lambda(t)$ – умовна щільність ймовірності і виникнення відмови, яка визначається як відношення числа виробів, що відмовили, в

одиницю часу до середнього числа виробів, що справно працюють в даний відрізок часу». Інтенсивність несправностей $\lambda(t)$ також є відношенням частоти несправностей до інтенсивності роботи в непошкодженому стані. Інтенсивність дефектів залежить від часу, тільки якщо діє експоненціальний закон розподілу дефектів $\lambda(t)=\text{const}$. На рисунку 1.4 показана залежність інтенсивності несправності від часу.

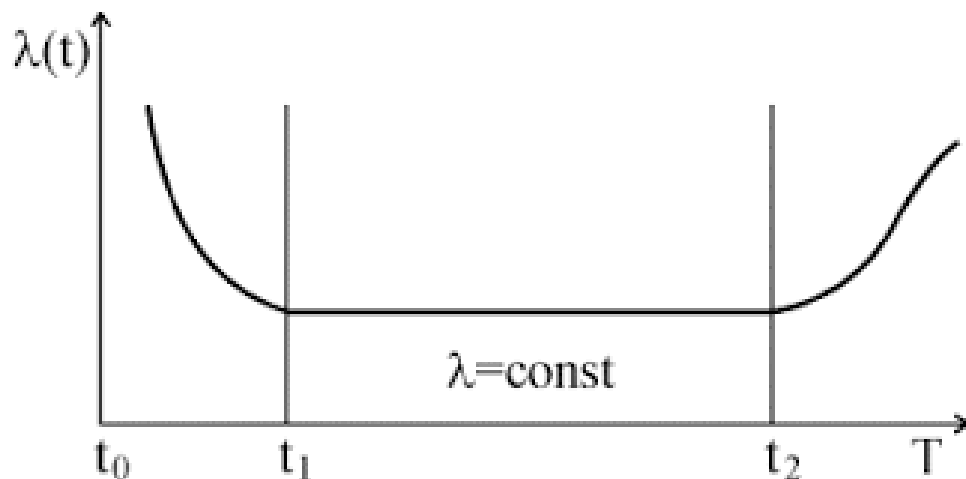


Рисунок 1.4 - Інтенсивність відмов. $t_0 - t_1$ – прироботка; $t_1 - t_2$ – нормальна робота; t_2 – далі – старіння елементів

«Середнім напрацюванням до відмови $T_{\text{ср}}$ називається математичне очікування напрацювання об'єкту до першої відмови». Для визначення $T_{\text{ср}}$ необхідно знати час безперервної роботи всіх перевірених виробів.

«Коефіцієнтом готовності K_g називається відношення сумарного часу справної роботи t_p до суми сумарних часів справної роботи t_p і вимушених простоїв $t_{\text{пр}}$ ».

Наведені вище показники надійності відносяться до непошкодженого показника. Крім того, ДСТУ 2860-94 «Надійність техніки. Терміни та визначення» визначено показники довговічності (середній ресурс, гамма-відсотковий ресурс, заданий ресурс, середній ресурс, гама-відсотковий ресурс, заданий ресурс) ; показники ефективності (ймовірність відновлення, середній час відновлення); показники терміну зберігання (середній термін

зберігання, гамма-процентний термін зберігання).

Для показників стабільності необхідно вказати тип заходів після початку граничного стану об'єкта (наприклад, середній ресурс до капітальної коригування; гамма-відсотковий ресурс до середнього коригування тощо). Якщо остаточне виведення об'єкта з експлуатації визначається граничним станом, то показники стійкості називаються: повний середній ресурс (термін служби), повний гама-відсотковий ресурс (термін служби), повністю визначений ресурс (термін експлуатації).

Повний термін експлуатації включає тривалість усіх видів ремонту нерухомості. Показники стабільності визначаються наступним чином.

«Середній ресурс – математичне очікування ресурсу.

Гамма-процентний ресурс – напрацювання, протягом якої об'єкт не досягне граничного стану із заданою вірогідністю, вираженою у відсотках.

Призначений ресурс – сумарне напрацювання об'єкту, при досягненні якого вживання за призначенням повинно бути припинено.

Середній термін служби – математичне очікування терміну служби.

Гамма-процентний термін служби – календарна тривалість від початку експлуатації об'єкту, протягом якої він не досягне граничного стану із заданою вірогідністю γ , вираженою у відсотках.

Призначений термін служби – календарна тривалість експлуатації об'єкту, досягши якої вживання за призначенням має бути припинене.»

Показники технічного обслуговування та продуктивності визначаються наступним чином.

«Імовірність відновлення працездатного стану – це імовірність того, що час відновлення працездатного стану об'єкту не перевищить заданого.

Середній час відновлення працездатного стану – це математичне очікування часу відновлення працездатного стану.

Середній термін збережуваності – це математичне очікування терміну збережуваності.

Гамма-процентний термін збережуваності – це термін збережуваності,

що досягається об'єктом із заданою вірогідністю, вираженою у відсотках.»

1.3. Періоди роботи технічних пристроїв

Кожний технічний виріб, у тому числі і електронні пристрої, в процесі експлуатації проходить три характерні робочі цикли: пуск ($0 < t < t_1$), починаючи з випуску нового виробу із заводу ($t = 0$); нормальна робота ($t_1 < t < t_2$) і старіння або знос ($t > t_2$) (рис. 1.4).

Період поломки характеризується великою кількістю дефектів, які поступово зменшуються. Ці дефекти викликані технічними, виробничими або конструктивними помилками в самому продукті або під час виготовлення (включаючи підготовку матеріалів, зберігання та транспортування). Робляться спроби усунути проблеми, що виникли під час тестового періоду, шляхом заміни або регулювання окремих вузлів. Відмови протягом періоду проникнення приблизно відповідають закону Вейбулла.

Період нормальної роботи характеризується мінімальною інтенсивністю несправності. Під час нормальної роботи виникають раптові збої, які мають випадковий характер. Природа цих дефектів пов'язана з неочікуваною концентрацією навантажень всередині (або зовні) продукту. Послідовність подій не враховується. Закон розподілу дефектів у цьому періоді експоненціальний.

Період морального зносу або зносу характеризується різким збільшенням вираженості дефектів. У якийсь момент елементи і деталі машини починають старіти і зношуватися. Дефекти викликані застарілістю матеріалів, конструкції та самого виробу. Розподіл відмов зазвичай нормальний або логарифмічний.

З кривою інтенсивності дефектів, наведеною на рис.2. 1.4 (її також називають «кривою довговічності» об'єкта), вказано значення t_2 - середній опір виробу. Середній час роботи до першої відмови зазвичай дуже важливий і описує запас міцності об'єкта під час нормального використання.

1.4 Структурна надійність

«Структурною надійністю системи називається результуюча надійність при заданій структурі і відомих значеннях надійності всіх вхідних в неї блоків або елементів» [5-9]. Поділ системи на блоки базується на єдності функціональних і фізичних процесів, що відбуваються під час роботи виробу.

Розрахунок надійності послідовного з'єднання елементів (основний). При виході з ладу технічного виробу одного з його вузлів такий виріб має ланцюгове (основне) з'єднання елементів (рис. 1.5, а). Якщо надійність окремих вузлів p_1, p_2, \dots, p_i не залежать один від одного, то надійність системи, що складається з N вузлів, визначається як добуток значень надійності окремих частин.

Розрахунок надійності при паралельному з'єднанні елементів (резервування). Для підвищення надійності часто використовується резервування або перекриття. Використовується паралельна робота електронних або електромеханічних пристроїв і їх вузлів і компонентів, наприклад, часто використовується паралельне з'єднання діодів. На малюнку 1.5b зображено структурну схему елементів, з'єднаних з M -паралельними гілками.

Розглянутим типом паралельного з'єднання є резервування з повною кратністю.

Розрахунок надійності паралельного послідовного з'єднання елементів. Зазвичай у більш складних системах елементи з'єднуються паралельно (наприклад, у радіо- та електронних схемах) [10,11]. Розглянемо два найбільш типових випадки паралельно-послідовних з'єднань. У першому випадку (званому загальним резервуванням із постійно діючим резервуванням і цілочисельним множником) система складається з M паралельних схем, кожна з яких складається з N блоків (рис. 1.5, в).

У другому випадку (його також називають постійним активованим резервом і дискретним резервом з цілочисельним множником) система

складається з N послідовно з'єднаних груп з M однакових блоків, з'єднаних паралельно (рис. 1.5, г).

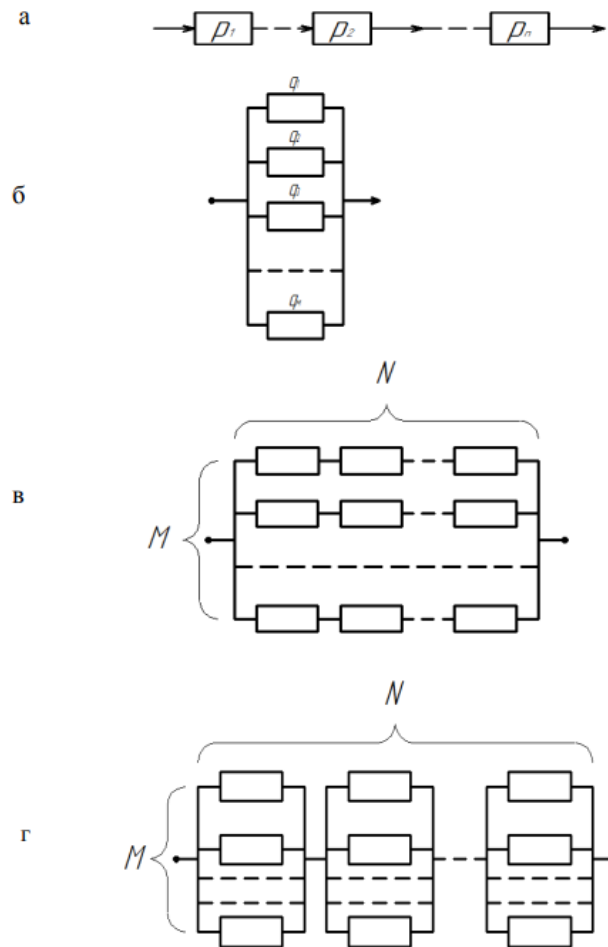


Рисунок 1.5 - Блок-схеми для визначення структурної надійності при послідовному (а), паралельному (б) і змішаному (в, г) з'єднанні елементів

1.5. Закони розподілу відмов

Як випадкові події, відмови типових електронних схем і електричних машин підкоряються різним законам розподілу в момент часу t .

Найважливіші з них: експоненціальний, Вейбулла, нормальний, логарифмічний нормальний [5,6].

Закон експоненціального розподілу. Цей закон поширюється на вихід з ладу деяких вузлів електричних машин малої потужності (наприклад,

колекторного вузла) і на вихід з ладу окремих типів машин малої потужності. Експоненціальний закон широко використовується в теорії масового обслуговування для опису надійності пристроїв керування пуском, елементів радіоелектроніки (діодів, триодипентодів, конденсаторів). Експоненціальний закон є однопараметричним законом, де інтенсивність дефекту постійна λ , тобто $\lambda = \text{const}$.

Розподіл Вейбулла широко використовується для оцінки надійності механічних, електромеханічних установок і частин радіоелектронної апаратури. В електричних машинах цей закон описує надійність підшипникових вузлів і розподіл напруги пробою в обмотках асинхронних двигунів. Розподіл Вейбулла є двопараметричним, який включає λ_0 як параметр масштабування та k як параметр асиметрії. Властивості закону змінюються відповідно до параметра k . При $k=1$ розподіл Вейбулла стає експоненціальним ($\lambda_0 = \text{const}$), при $k>1$ інтенсивність дефектів зростає, при $k<1$ інтенсивність дефектів спадає за законом, близьким до гіперболи.

Нормальний закон (закон Гаусса) широко використовується для оцінки надійності виробів, на надійність яких впливає кілька випадкових факторів, кожен з яких має незначний вплив на отриманий ефект (домінуючий фактор відсутній). В електричних машинах відмови колекторного блоку, контактних кілець і щіток (іноді підшипників і ізоляторів) зазвичай відбуваються за нормальним законом.

Логнормальний розподіл описує надійність металевих конструкцій, відмову підсилювачів електромашин, деяких типів трансформаторів електромашин тощо. використовується для опису. Розрахунок $P(t)$ при логнормальному розподілі за допомогою спеціальних таблиць.

1.6 Висновки по розділу 1

В розділі проведено огляд та аналіз предметної області. Наведено основні поняття і терміни теорії надійності, класифікацію відмов.

Розглянути і проаналізовано показники надійності об'єктів. Наведено криві безвідмовної роботи, вірогідність та інтенсивність відмов в залежності від часу напрацювання,

Проаналізовано термін служби та періоди роботи технічних електронних пристроїв.

Розглянуто структурну надійність пристроїв, методи розрахунку надійності при різних типах з'єднання елементів.

Наведено основні закони розподілу відмов в типових електронних схемах – експоненціальний, Вейбула, нормальний (Гауса), логарифмічно-нормальний.

2 МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ МНОЖИН ВІДМОВЛЮЮЧИХ-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Життєздатність охороняється при експлуатації складних технічних об'єктів. До таких об'єктів належать електростанції, виробничі лінії, системи зв'язку та навігації, транспортні засоби, комп'ютерні системи тощо. належить до. З усієї номенклатури таких об'єктів можна виділити технічні об'єкти з ієрархічною структурною структурою і довготривалого використання, що підлягають капітальному ремонту. окрема група. Типовими прикладами таких об'єктів є об'єкти електротехніки та радіоелектронної техніки, наприклад, радіолокаційні станції, елементи автоматизованих систем управління та ін., які за надійністю є відновлюваними об'єктами. Такі об'єкти характеризуються високими витратами як при розробці, так і при експлуатації. Технічне обслуговування (ТО) і ремонт (MO&R) проводяться для забезпечення необхідного рівня надійності (даних) під час використання. Необхідність технічного обслуговування полягає у своєчасній заміні елементів у попередньому стані, що призводить до підвищення безаварійної роботи. Ремонт проводиться з метою повернення об'єкта в працездатний або працездатний стан і відновлення працездатності всього об'єкта або його частини [1]. Розглянуті об'єкти характеризуються певними властивостями, які впливають та багаторазово ускладнюють створення математичних моделей для оцінки та прогнозування показників надійності та експлуатаційних витрат (ЕВ) на всіх етапах життєвого циклу цих об'єктів. Крім того, ці об'єкти підлягають безперервній модернізації на різних етапах життєвого циклу, як в процесі розробки, так і в процесі експлуатації, а тому потребують постійного уточнення показників надійності (ПП) і прогнозів РЕ.

Враховуючи складність таких об'єктів, головним чином у сенсі великої кількості (десятки та сотні тисяч) та різного типу складових елементів, для оцінки та прогнозування їх РН та VE часто використовується метод

імітаційного статистичного моделювання. структурна будова [12-18].

Питання про вплив параметрів конструктивної будови технічного об'єкта на його ПН та ВЕ є важливим, оскільки, з одного боку, зрозуміло, з іншого боку, механізми та рівень цього впливу не до кінця зрозумілі. Для творця складного технічного об'єкта дуже важливо володіти інструментами (методами) кількісної оцінки цього ефекту та використовувати їх при прийнятті тих чи інших конструктивних рішень, а також для творця математичних моделей для прогнозування ПН і ВЕ. Необхідно також розуміти механізми цього ефекту, а розроблені на їх основі моделі мають бути відповідними.

Останнім часом вийшло багато публікацій на цю тему. У [3] представлено метод успадкування та розвиток методів оцінки надійності на основі динамічних байєсівських мереж та сучасного чисельного моделювання на основі чисельного моделювання. Таким чином, він долає обмеження аналітичного методу та методу багаторівневого синтезу та забезпечує ефективний метод оцінки надійності складних динамічних систем. [4] запропоновано графовий метод розрахунку надійності. У [5] запропоновано метод моделювання надійності конструкції MEMS та метод FORM для отримання показника надійності та його чутливості до включених випадкових величин та їх параметрів, які можна використовувати не тільки для оцінки надійності об'єкта, а й . також може допомогти визначити ключові фактори для подальшого вдосконалення структури. З урахуванням деградації та невизначеності параметрів [6] запропоновано метод оцінки надійності двох постійних регульованих механізмів. [7] запропонували розширену коваріаційну модель Вейбулла-Корозії для оцінки надійності системи, яка піддається робочому стресу. У [8] для нерегенеративних автономних систем розроблено динамічну модель надійності з циклічним періодом кількох завдань. Розроблено алгоритми [9] для оцінки надійності систем у вигляді байєсівських мереж, де кількість збереженої інформації зростає експоненціально зі збільшенням кількості компонентів системи. [10]

запропонували композитний метод багатопараметричного аналізу надійності системи. Метод заснований на комбінації моделей BDD і MMDD. Запропоновані моделі та методи, безумовно, мають переваги, але не позбавлені і недоліків. Розглянуто загальну проблему розробки імітаційних статистичних моделей для прогнозування надійності складних технічних об'єктів та оптимізації параметрів технічного обслуговування та ремонту, деякі шляхи її вирішення.

У роботі розглянуто формальний опис структурної структури технічного об'єкта, на основі якого введено поняття сукупності відмовлених та відновлюваних елементів, які фактично є ендогенними параметрами ІЗМ. Запропоновано алгоритми та методи ідентифікації цих наборів, які забезпечують узгодженість процесу відновлення несправностей, змодельованого в ISM. Нарешті, наведено приклади визначення груп і різноманітних параметрів працездатності об'єкта, щоб проілюструвати вплив груп на прогнози ПН та ВЕ об'єкта.

2.1 Конструктивна та надійнісна структура об'єкта

В якості ПН і ВЕ в роботі розглядаються такі показники:

- середній час роботи на відмову (інтенсивність відмов);
- Середній час відновлення (показник ремонтпридатності);
- Фактичні експлуатаційні витрати заводу (показник ПЕ).

Експлуатаційні витрати розуміються у вузькому сенсі - враховуються лише витрати на заміну елементів, а також ремонт і використані витратні матеріали. В [23-27] розробили статистичну імітаційну модель (ICM) для отримання прогнозних оцінок для цих значень PN і VE. Вихідними даними ІНМ є параметри об'єкта, які в узагальненому вигляді можна задати виразом (2.1):

$$P_{\text{gen}} = \{G, Re, M, C\}, \quad (2.1)$$

де P_{gen} - Узагальнений параметр, що вказує на властивості об'єкта; G – граф, що описує структурну структуру об'єкта; Re , M і C - загальні параметри, що описують відмовність, ремонт (ремонт) і вартісні характеристики об'єкта. Подробиці цих параметрів обговорюються нижче.

Структурна структура об'єкта описується графом G (дерево): $G = \langle E, R \rangle$, де E – набір точок графіка, що представляють окремі структурні елементи об'єкта; R - багато ребер з'єднують ці вершини. Число R визначає коефіцієнт вкладеності елементів конструкції. Він позначається випадковим елементом структури e_i^u , де u — номер рівня структури (вхідного рівня) елемента, а i — порядковий номер (індекс) елемента $e_i^u \in E$. Номер конструктивного рівня обчислюється від кореневої точки графіка e^0 , який представляє загальний об'єкт. Відношення R — це набір пар форм $\langle e_i^u, e_j^{u-1} \rangle$, у яких елемент e_j^{u-1} є безпосередньо вкладеним елементом (e_i^u). Кожна пара $\langle e_i^u, e_j^{u-1} \rangle$ представляє відповідне ребро графа G , зображеного на малюнку 2.1.

Вважається, що елементи, що містять інші елементи, називаються складовими. Якщо композиція елемента не деталізована (не містить інших структурних частин), то такий елемент називається простим. Простим елементом може бути практично будь-який складний технічний виріб, але в даному випадку нас не цікавить його внутрішній пристрій. На рисунку 2.1 конструктивні частини зображено прямокутниками, а прості — колами. Прості елементи розташовані на нижньому рівні структурної структури.

Позначте множину всіх простих елементів E_{se}

Елементи, у складі яких є інші елементи, умовимося називати складовими. Якщо склад елемента не деталізується (не визначаються в його складі будь-які інші конструктивні елементи), такий елемент будемо називати простим. Простий елемент насправді може бути як завгодно складний технічний виріб, проте в даному конкретному випадку нас не

цікавить його внутрішній пристрій. На рис. 2.1, складові елементи зображені прямокутниками, а прості колами. На нижньому рівні конструктивної структури розташовуються прості елементи.

Безліч всіх простих елементів позначимо E_{se} , визначається множиною всіх $(u + 1)$ -го елементів рівня, які безпосередньо входять до елемента $E(e^u)$.

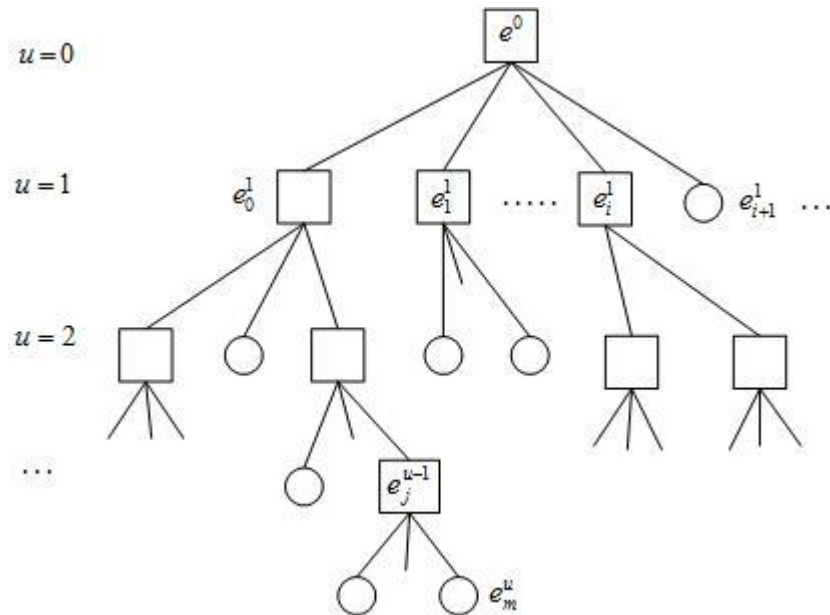


Рисунок 2.1 – Дерево конструктивної структури об'єкта

При побудові графіка G глибина деталізації елементів повинна бути такою, щоб там відображалися всі елементи, які видаляються і замінюються під час використання. Найдрібніші елементи, які неможливо або не можна розібрати в робочих умовах, повинні бути представлені на найнижчому рівні.

Структурна діаграма цільової надійності є послідовно-паралельною. Для надійності всі елементи масиву прийнято з'єднувати послідовно. Кожен елемент, зображений на графі G , може бути групою елементів одного (одного типу), з'єднаних послідовно або паралельно. Паралельне з'єднання елементів є фактично конструктивною перевагою. Групове бронювання може бути завантаженим (постійне) або розвантаженим (заміна).

2.2 Множина елементів що відмовляють та відновлюють

При моделюванні дефектів в ІСМ для об'єктів з ієрархічною структурною структурою виникає питання: які саме дефекти структурних елементів потрібно моделювати безпосередньо в ІСМ, дефекти елементів нижчого структурного рівня (вище називають простими) чи складових елементів проміжного продукту. рівень. Змоделювати відмову всіх простих елементів нереально, тому що, з одного боку, їх занадто багато, а з іншого боку, це непрактично, оскільки завжди можливо для будь-якої конструктивної частини з відомою конструктивною структура. обчислення інтенсивності відмов, необхідних для моделювання, а потім використання їх як вхідних даних для ІСМ. Тому при застосуванні ІСМ вирішується задача визначення початкового набору структурних елементів, для яких необхідно виконати моделювання відмов.

Щоб зрозуміти підмножину структурних елементів, відмови яких необхідно змоделювати (моделювати) в ІСМ у прогнозах РН та SE об'єкта, введемо (позначимо) поняття набору елементів, що відмовили ($E_0 \subset E$, $|E_0| \ll |E|$). Склад набору визначається користувачем і може бути змінений самостійно. Щоб звіти були більш точними, агрегати E_0 повинні відповідати вимогам повноти та надмірності.

Вимога повноти полягає в тому, що набір повинен містити всі елементи, відмова яких призведе до відмови об'єкта. Формально, якщо розглядати конструктивну структуру об'єкта, заданого графом G , вимога повноти забезпечується такою умовою: між коренем дерева (об'єктом) і залежною вершиною (а) не повинно бути на шляху простий елемент) не має жодного елемента, що належить множині.

Вимога ненадмірності полягає в тому, що будь-який шлях між коренем G і його залежною вершиною повинен містити щонайбільше один елемент,

що належить набору.

Зрозуміло, що сума всіх простих елементів завжди повна і надмірна. Множина може містити багато елементів і не рекомендується моделювати всі їх дефекти. З метою економії машинного часу вузол повинен мати якомога менше елементів, а для забезпечення узгодженості моделі вузол повинен мати конструктивні частини, які можна змінювати під час використання об'єкта.

На рисунку 2.2 зображено один із можливих варіантів виконання заданого завдання E_0 .

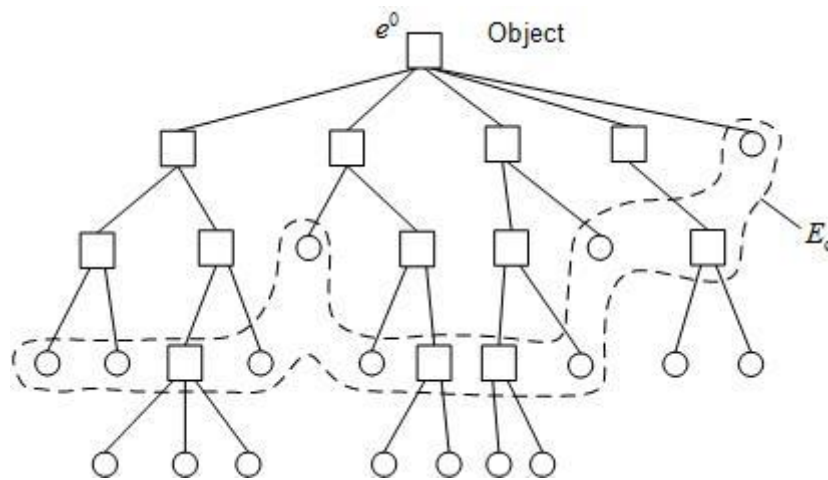


Рисунок 2.2 – Один з варіантів вибору елементів множини E_0

При виході з ладу об'єкта його працездатність відновлюється шляхом заміни несправного елемента, при цьому не обов'язково замінюється вийшла з ладу конструктивна частина - фактично, як правило, замінюється елемент найвищого конструктивного рівня, який вимагає найменших витрат. час, необхідний для його заміни.

Під відновлюваними елементами розуміються елементи, які можуть бути замінені в процесі експлуатації об'єкта у разі виникнення помилок. На практиці повертається (замінюється) сам несправний елемент або включається елемент вищого конструктивного рівня, якщо час його заміни значно менший за час заміни несправного елемента. Ми визначаємо набір

елементів для повернення E_R , і кожен елемент, який потрібно видалити, поєднується з одним елементом, який потрібно повернути $e_j \in E_R$.

Множини E_0 і E_R є модельними концепціями, і їх правильний вибір важливий для адекватного моделювання процесів усунення несправностей ІСМ. Алгоритми та методи визначення множин E_0 і E_R обговорюються нижче.

Нехай W буде відношенням, яке використовується для визначення відповідності між елементами, що вийшли з ладу, і елементами, які можна відновити. Відношення W — це набір пар $\langle e_i^u, e_j^r \rangle$ із несправним елементом $e_i^u \in E_0$ і елементом $e_j^r \in E_R$, який потрібно замінити, якщо елемент e_i^u виходить з ладу. Відношення W визначає цей тип функціонального представлення [11]. Кожен елемент відображається на один повертається елемент шляхом комбінування W . Враховуючи, що цей відхилений елемент визначається як відповідний повернутий елемент $e_j^r = W(e_i^u)$.

2.3 Алгоритми і методи формування множин

Для формування оптимальних наборів E_0 і E_R запропоновано наступну методику, яка включає три кроки:

- Попереднє складання рядів E_0 і W ;
- усунення можливих зайвих рядків E_0 ;
- останнє утворення (відношення) ряду W .

Кожен із запропонованих кроків є алгоритмом. Розглянемо ці алгоритми.

Алгоритм № 1 - множини та початковий алгоритм створення E_0 та W наведено на рисунку 2.3. Оператор 1 виконує підготовчі дії. Твердження 2, 7 і

8 утворюють цикл, у якому перераховані всі елементи множини. Для кожного простого елемента формується шлях $P(e_m)$, що з'єднує підвішену вершину з кореневою вершиною (оператор 3). Визначається елемент з найменшим часом обміну між елементами (оператор 4). Знайдений елемент додається до множини і створюється пара $\langle e_m, e_i \rangle$, яка одночасно додається до множини W (оператори 5,6). Користувач 9 видаляє повторювані елементи з послідовності.

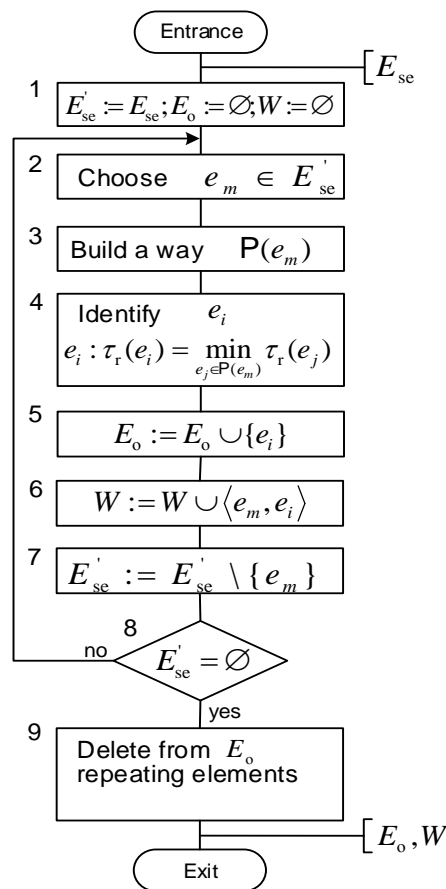


Рисунок 2.3 – Алгоритм 1

Набір елементів, створений за алгоритмом № 1, може бути надлишковим, надлишковість може включати елементи, що належать одному шляху $P(e_m)$. Видалення надлишковості рядків виконується на 2-му кроці аналізованої методики і виконується за алгоритмом №2, структурна схема

якого наведена на рисунку 2.4.

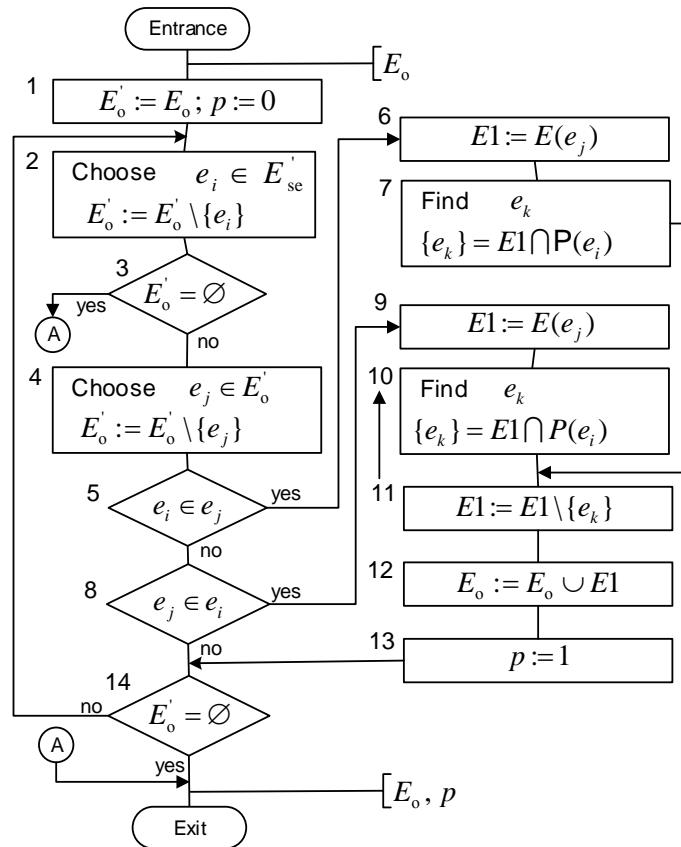


Рисунок 2.4 – Алгоритм 2

Оператор 1 формує допоміжну множину E'_o , яка використовується для сортування елементів вихідної множини (отриманої в результаті виконання алгоритму 1) і допоміжної властивості p , призначення якої пояснюється нижче.

Оператор 2 випадковим чином вибирає елемент E'_o із множини (і негайно видаляє його з множини E'_o). Якщо елемент унікальний, на ньому завершується алгоритм. Користувач 4 вибирає інший елемент. Оператор 5 перевіряє, чи є елемент e_i вкладеним відносно елемента e_j . Якщо так, оператори 6 і 7 виконуються для формування масиву елементів, прямою частиною якого є оператор 6. Оператор 7 будує шлях $P(e_i)$, що з'єднує елемент із вершиною дерева e^0 , а потім знаходить вершину (елемент) e_k , яка

лежить на перетині шляху $P(e_i)$ та множини E_1 . Такий перетин завжди відбувається, тому що елемент, який потрібно шукати, є вкладеним відносно елемента e_j .

Потім виконується оператор 11, який видаляє елемент із набору E_1 . 12-й оператор додає до набору всі елементи, що залишилися в наборі E_1 . Оператор 13 формує значення атрибута $p=1$, що фіксує наявність додаткових елементів у наборі.

Якщо елемент не є вкладеним, відносно елемента e_j , виконується оператор 8, щоб перевірити, чи елемент вкладений відносно елемента e_i . Якщо так, то виконуються оператори 9 і 10, їхні операції подібні до операторів 6 і 7 (елементи e_i і e_j міняються місцями). Потім виконуються оператори 12 і 13, призначення яких вже було розглянуто.

Оператор 14 перевіряє статус завершення перевірки всіх елементів початкового набору E_0 . Інформація, отримана в результаті роботи алгоритму, являє собою множину і знак p . Якщо $p=1$, то це означає, що під час виконання алгоритму було зафіксовано умову надлишковості початкової множини, а тому вжито заходів щодо її усунення (оператори 6, 7, 11, 12 або 9-12 оператори). У цьому випадку в міру додавання нових елементів необхідно ще раз перевірити набір на відсутність надлишковості (повторити Алгоритм 2). Якщо $p=0$ це означає, що серіал E_0 повний і забагато.

Набір (розділ) W , створений раніше на кроці 3, перетворюється з урахуванням набору E_0 , отриманого на кроці 2. Це перетворення здійснюється за алгоритмом №3, структурна схема якого наведена на рисунку. 2.5.

Оператори 2, 8 і 9 утворюють цикл, у якому перераховуються всі прості елементи, а для кожного елемента створюється рядок $P(e_m)$. У цьому рядку є елемент e_k , який йому одночасно належить (є лише один такий елемент). Множина W , сформована після попереднього виконання Алгоритму № 1,

містить пару $\langle e_m, e_j \rangle$ з елементом e_j , який замінюється при виході елемента з ладу (оператор 5). У знайденій парі елемент замінюється на елемент (оператор 6), а потім замінена пара зберігається в множині W (оператор 7).

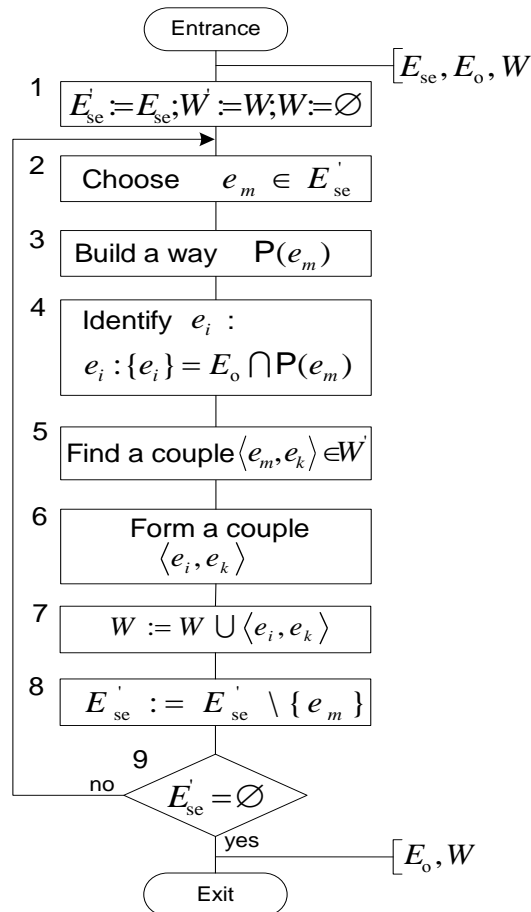


Рисунок 2.5 – Алгоритм 3

Три розглянуті алгоритми разом реалізують метод генерації оптимальних множин E_0 і E_R , і множина E_0 , у цьому випадку множина (відношення) W неявно асоціюється. На рисунку 2.6 показана діаграма, що визначає послідовність виконання алгоритмів, що реалізують дану методологію.

Згідно з цією схемою, Алгоритм № 2 можна виконувати багаторазово, доки не буде усунена надлишковість початкового набору E_0 (теоретично, якщо початкового набору виявиться більше одиниці, то Алгоритм 2 можна

виконати один раз).

Отримані набори є оптимальними, оскільки їх використання при моделюванні процесу відновлення несправності добре відповідає реальним властивостям працездатності об'єкта. Використання результуючих сил E_0 і E_R в ІСМ забезпечує найкраще наближення змодельованого процесу до фактичного процесу, який виконує персонал з обслуговування.

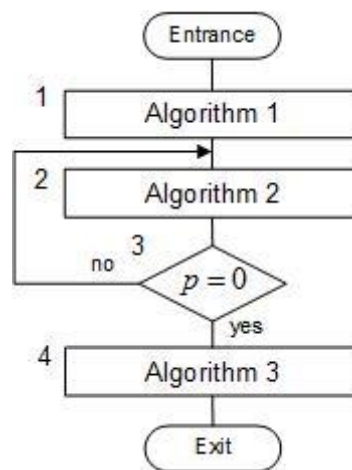


Рисунок 2.6 Схема розрахунків при формуванні множин E_0 і E_R

Крім того, набори, отримані цим методом, є оптимальними для здешевлення моделювання машинного часу, оскільки мають найменшу кількість елементів і при цьому є повними.

2.4 Реалізація алгоритмів

Множина, розрахована за вихідними даними тестового об'єкта (згідно з вищезгаданим методом), відповідає множині всіх простих елементів, так само, як і множина. В результаті моделювання цих вихідних даних ми отримуємо наступні приблизні оцінки для PN і SE об'єкта тестування:

- середня напруженість на відмову = 909,1 год.;
- Середній час відновлення = 1 година;

- Власні експлуатаційні витрати = 0,00330 у.о./год.

Далі ми проводимо невелике дослідження, щоб дослідити вплив цільових опорних характеристик на оптимальний сукупний вибір і прогнозні оцінки цільових значень PN і SE. Змінюємо ремонтпридатність об'єкта (вносячи зміни в деякі елементи), визначаємо оптимальні набори з урахуванням цих змін і шляхом моделювання визначаємо прогнозні оцінки PN і SE з новими наборами E_0 і E_R . На основі отриманих результатів робимо висновок.

Розглянемо три варіанти призначення вихідних даних РП, причому кожен наступний варіант відповідає покращеним властивостям (рис. 2.7).

Версія 1. Елемент «11» встановлюється на значення часу заміни $\tau_{sub11} = 0,5$ h, інші елементи залишаються без змін. Беручи до уваги цю зміну, розрахована загальна сума має бути такою, як показано на рисунку 2.7, а (відповідні елементи заштриховані). У той же час елемент '11' скасовується і повертається. Вносимо необхідні зміни в базу даних (БД) (для елемента «11» встановлюємо знак відхилення елемента), перезапускаємо програму розрахунку в режим моделювання та отримуємо розрахункові оцінки PN і SE об'єкта. Результати представлені в таблиці нижче. 2.1 (Версія 1).

Версія №2. Продовжимо зміни, які покращать властивість RP об'єкта – ми додатково встановимо для елемента 1 значення $\tau_{sub1} = 0,8$ h. Внесемо ці зміни в базу даних програми, виконаємо обчислення та переконаємося, що обчислені підсумки точно збігаються з показаними на рис. 10, б. Пункт «11» залишається таким же, як і раніше, із застереженням і поверненням.

Для елементів "12" і "13" елемент "1" буде повернутим елементом. Інші прості елементи: '211', '212', ... відхиляються та повертаються одночасно. В результаті моделювання ми отримуємо нові оцінки PN і SE. Отримані результати наведено в таблиці 2.1 (Версія 2).

Варіант №3. На додаток до змін, внесених раніше, ми також встановлюємо для h значення «2» (і вносимо відповідні зміни в базу даних).

Враховуючи цю зміну, розрахований набір елементів відхилення має бути таким, як показано на рисунку 1. 10 В. У цьому випадку елемент "2" буде видалено та оновлено. Вносимо необхідні зміни в базу, отримуємо нові результати в таблиці 2.1 (Версія 3).

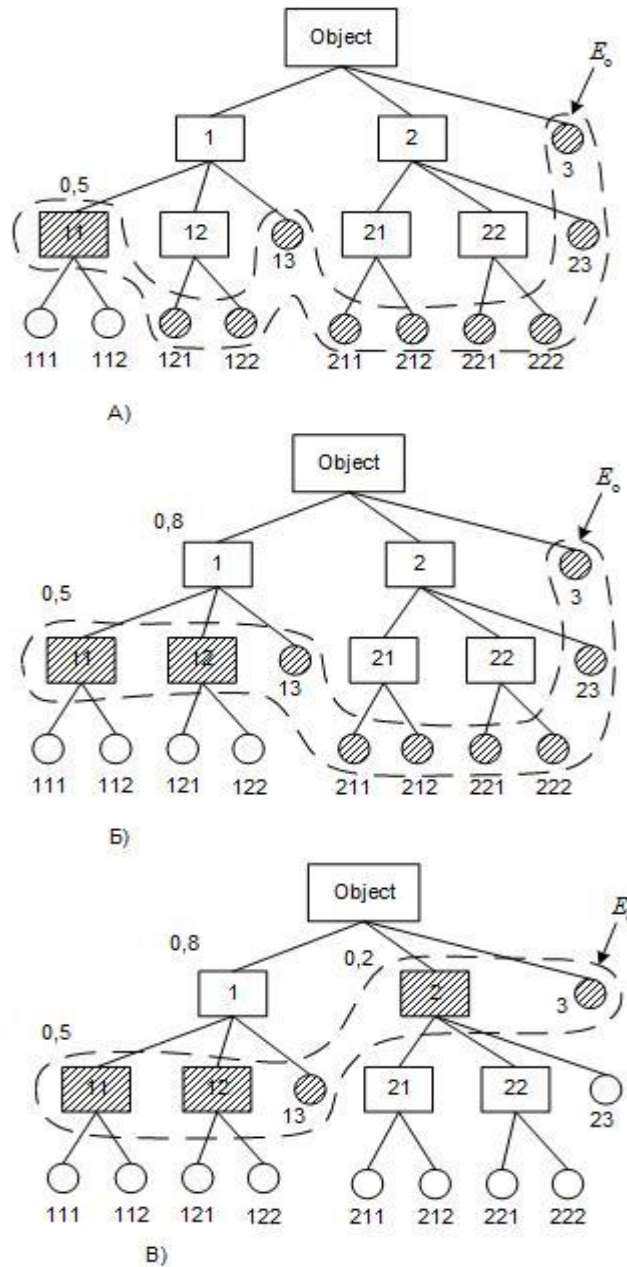


Рисунок 2.7 - Приклади отримання різної розрахункової (оптимальної) множини при різних варіантах завдання значень часу заміни елементів

Таблиця 2.1

Результати розрахунків множин E_0, E_R та прогнози оцінки ПН та СЕ
тестового об'єкту

Номер варіантів розрахунків	Змінення параметрів РП об'єкта	Множина E_0 (число елементів в множені)	Отримані оцінки ПН и СЕ об'єкта		
			\tilde{T}_0, h	\tilde{T}_R, h	$\tilde{c}_3, c.u./h$
0	$\tau_{subi} = 1h (\forall i)$	$ E_0 = 11$	909,1	1,0	0,00330
1	$\tau_{sub11} = 0,5h$	$ E_0 = 10$	960,1	0,93	0,00320
2	$\tau_{sub11} = 0,5h,$ $\tau_{sub1} = 0,8h$	$ E_0 = 9$	1062,3	0,89	0,00373
3	$\tau_{sub11} = 0,5h,$ $\tau_{sub1} = 0,8h,$ $\tau_{sub2} = 0,2h$	$ E_0 = 5$	1504,7	0,57	0,00361

2.5 Висновки по розділу 2

1. Результати, отримані в розглянутому прикладі, чітко демонструють вплив параметрів технічного обслуговування об'єкта на розрахункові (оптимальні) агрегати та розрахункові оцінки об'єктів ПН та СЕ: при покращенні якості ВЧ відбувається відповідне покращення. . в розрахункових значеннях показників і . Немає необхідності покращувати показник, і таке покращення не обов'язково можливо з іншими необробленими даними.

2. Кожна варіація значень параметрів технічного обслуговування об'єкта відповідає своєму «властивому» оптимальному набору, і для нього надаються адекватні прогнози оцінки PN і SE об'єкта.

3. Для того щоб процес моделювання відмови та відновлення об'єкта з ієрархічною структурною структурою був достатнім і відповідав реальним діям обслуговуючого персоналу під час ремонту, слід розраховувати ряди з урахуванням параметрів ремонтпридатності згідно з запропонований спосіб.

Це забезпечує надійний прогноз показників надійності та експлуатаційних витрат сайту, які можна реалізувати за допомогою ICM.

4. Для економії ресурсів на відновлення, зменшення часу простою краще попереджати відмови вузлів та компонентів електронного обладнання шляхом введення систем самодіагностики на початку та в процесі функціонування об'єкта.

5. Використовувати можливості самодіагностики, для чого пропонується:

- визначення критичних елементів та вузлів;
- використання незадіяних обчислювальних потужностей;
- здійснення початкової діагностики;
- здійснення поточної діагностики;
- коректні повідомлення та вивід об'єкта з функціонування при критичних відмовах.

3 СИСТЕМА ДІАГНОСТУВАННЯ СТАБІЛІЗАТОРА НАПРУГИ ЗМІННОГО СТРУМУ

3.1 Опис об'єкта контролю та діагностики

В якості об'єкта для системи діагностики оберемо стабілізатор напруги змінного струму, який зазвичай є електричним пристроєм з електронним керуванням. Він містить в своєму силові електронні компоненти – тиристорні або симісторні силові ключі, показники яких є дуже важливими для коректного функціонування пристрою.

На рисунку 3.1 наведено типову схему стабілізатора напруги змінного струму.

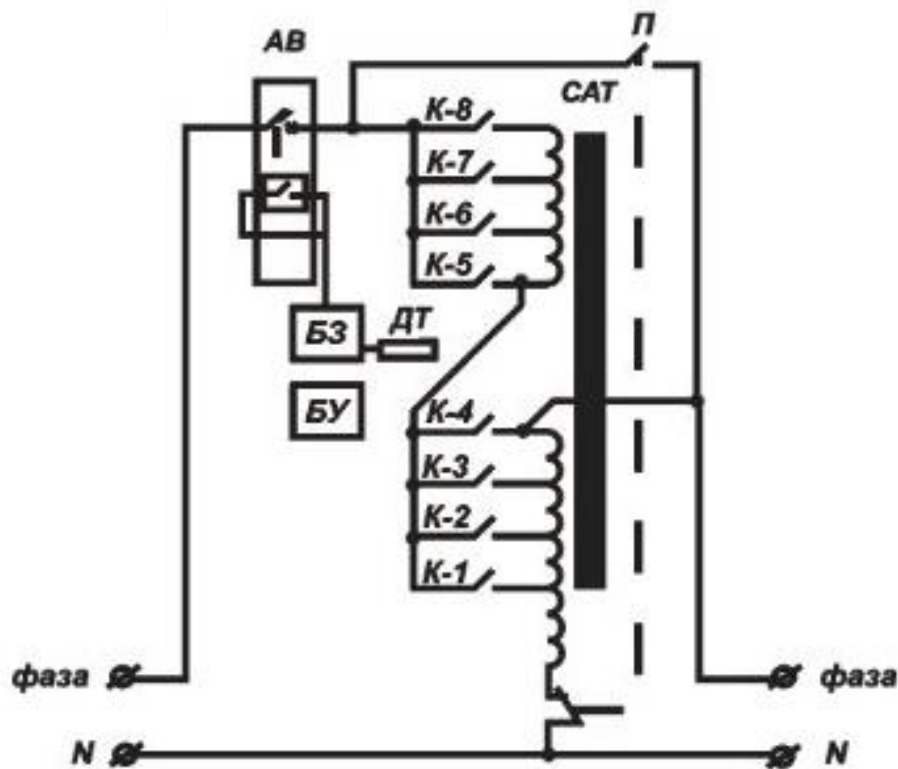


Рисунок 3.1 – Типова схема стабілізатора напруги змінного струму

На рисунку позначено:

АВ – автоматичний вимикач;

П – перемикач режиму “Стабілізація” – “Транзит”;

САТ – силовий автотрансформатор;

К1 – К8 – силові (симісторні) ключі;

ДТ – датчик температури;

БЗ – блок захисту;

БУ – блок управління з мікропроцесором

Функціонування такого стабілізатора полягає у вимірюванні вхідної та вихідної напруг та перемиканні силових ключів К1 – К8, що призводить до перемикання відводів і відповідних обмоток трансформатора задля забезпечення необхідного рівня вихідної напруги.

Особливістю силових ключів (тиристорів та симісторів) є неповна керуваність, що полягає у тому, що увімкнути, перевести у стан провідності, їх можна у будь який момент часу, а вимикаються вони шляхом зняття з них сигналу управління, але тільки після того, як струм через них зменшиться до нульового значення. Тому в схемах з такими силовими ключами необхідно здійснювати контроль їх вимикання, тільки після цього вмикати інший силовий ключ.

Якщо в якійсь групі силових ключів К1-К4 та К5-К8 буде увімкнено одразу два ключі, це призведе до короткого замикання між відводами силового трансформатора, зазвичай з наступним виходом цих силових клчів зі строю – критична відмова.

Якщо один з силових ключів відмовив (коротке замикання або обрив), то інший ключ в групі вмикати не можна, це призведе до відмови декількох ключів і неможливості подальшої експлуатації об'єкту – стабілізатора.

Таким чином, для нормального функціонування пристрою, також для контролю та діагностування критичних відмов, крім вхідних та вихідних параметрів, необхідно здійснювати початковий і поточний контроль стану силових ключів.

3.2 Аналіз відмов та можливості самодіагностики

Система управління сучасними електронними пристроями зазвичай будується з використанням мікропроцесорної техніки, що дозволяє реалізовувати будь-які алгоритми, вимірювати та розраховувати багато параметрів, досить зручно здійснювати зв'язок з зовнішнім середовищем та іншими процесорними пристроями, створювати розвинену систему індикації та взаємозв'язку з користувачем.

Сучасні мікроконтролери які широко застосовуються в системах управління та автоматички при невеликій вартості (0,5 – 10 \$) мають значні обчислювальну потужність, швидкодію та об'єм пам'яті, які не завжди повністю використовуються. Тому для побудови системи самодіагностики не має потреби будувати окремий функціональний вузол.

Перед тим, як формувати алгоритм функціонування системи діагностики визначимо перелік параметрів які необхідно контролювати та ступінь їх впливу на функціонування об'єкту – стабілізатора напруги змінного струму.

В якості критичних відмов будемо вважати:

- замикання силового ключа;
- обрив силового ключа.

При таких відмовах пристрій необхідно вимкнути, подальша експлуатація неприпустима.

В якості некритичних відмов та подій оберемо:

- перегрів;
- велика вхідна напруга;
- велика вихідна напруга;
- мала вхідна напруга;
- мала вихідна напруга;
- перевищення струму;
- коротке замикання;

- відмова елементів індикації;
- відмова додаткових функцій.

При настанні таких подій пристрій необхідно вимкнути, усунути подію, та зробити повторний запуск.

3.3 Елементна база

В пристрої що розглядається використовується 32-розрядний мікроконтролер типу STM32F405 (рис. 3.2).

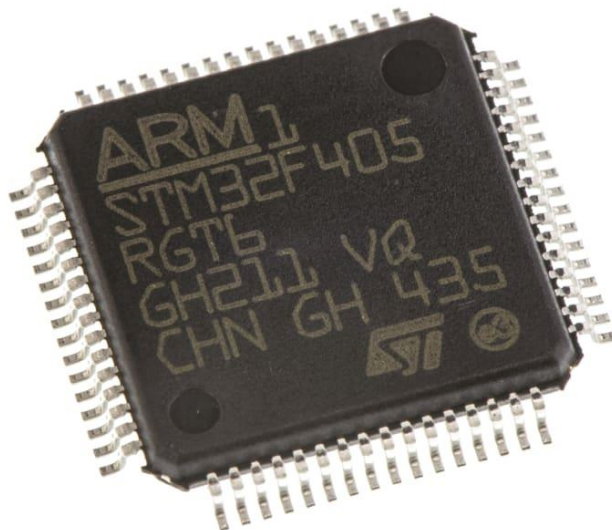


Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд мікроконтролера STM32F405

Його основні технічні характеристики наведено нижче:

- виробник: ST-Microelectronics;
- ядро: ARM Cortex M4;
- шина даних: 32 bit;
- максимальна тактова частота: 168 MHz;
- розмір програмної пам'яті: 1 MB;
- розмір ОЗП даних: 192 kB;
- розрядність АЦП: 12 bit;
- робоча напруга живлення: 1.8 V to 3.6 V;

- серія процесора: ARM Cortex M;
- типи інтерфейсів: CAN, I²C, SPI, UART;
- робоча температура: - 40 + 85 С ;
- кількість каналів АЦП: 16;
- кількість входів/виходів: 51 I/O.

Завдяки оперування 32-розрядними даними та тактовій частоті 168 МГц він має значну обчислювальну потужність. Завдяки об'єму пам'яті програм 1 МБ та пам'яті даних 192 кБ в нього може бути завантажена складна програма, яка в змозі оперувати значними обсягами даних. Завдяки наявності 12-розрядного аналогово-цифрового перетворювача з 16 каналами такий мікроконтролер може вимірювати багато параметрів з досить високою точністю. Наявність вбудованих апаратних інтерфейсів, таких як UART, є можливість організувати ефективний зв'язок з зовнішніми пристроями.

Тобто застосування додаткових обчислювальних потужностей та складних елементів в такій системі не потрібно.

Для зручного зв'язку з комп'ютером використовується інтерфейс UART та один з типових конвертерів UART-USB (рисунок 3.3).

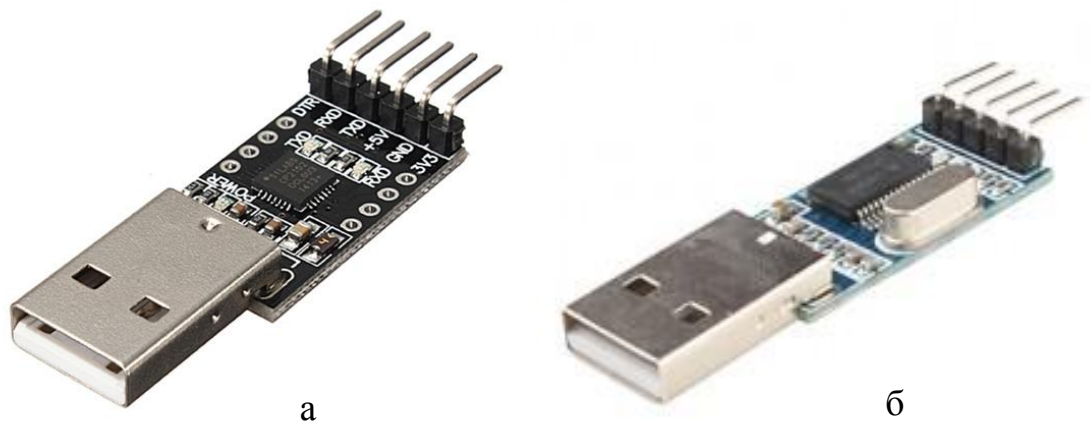


Рисунок 3.3 – Типові конвертери UART-USB
 а) на чіпі CP2102; б) на чіпі PL2303HX

3.4 Алгоритм початкової діагностики

Один з варіантів початкової діагностики наведено на рис. 3.4.

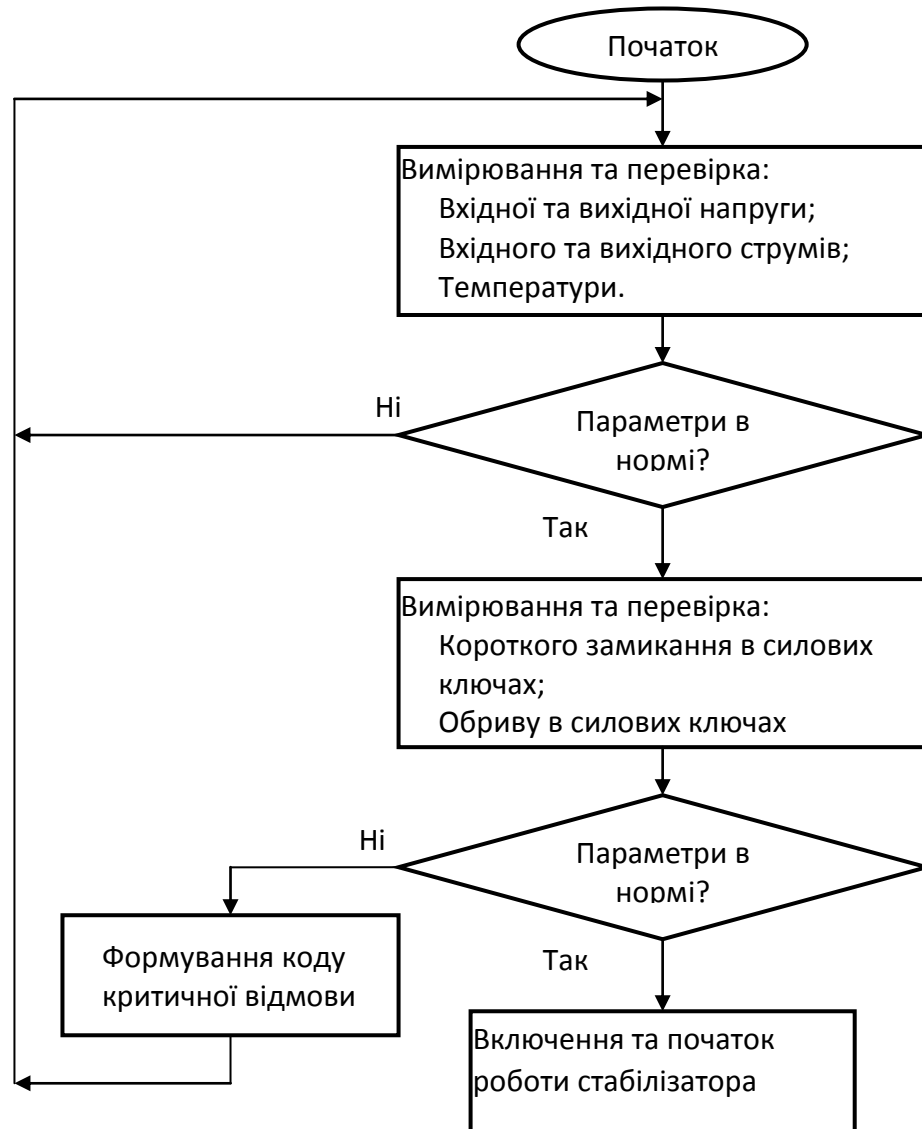


Рисунок 3.4 – Алгоритм початкової діагностики

Після підключення пристрою, перш ніж вмикати силову частину проводиться початкова діагностика. Вона полягає у вимірюванні та перевірці некритичних параметрів, таких як вхідної та вихідної напруг, вхідного та вихідного струмів, температури. Очікується поки параметри будуть у допустимому діапазоні.

Далі виконується діагностика стану силових ключів (без введення

пристрою в роботу та підключення навантаження), перевіряється наявність короткого замикання та обриву, що відноситься до критичних відмов. Якщо така відмова визначається – формується код критичної відмови, який доступний користувачу, при цьому подальше функціонування пристрою не допускається.

Якщо параметри в нормі та відсутні критичні відмови – надається дозвіл на включення та початок роботи стабілізатора.

3.5 Алгоритм поточної діагностики

При нормальному режимі функціонування періодично виконується поточна діагностика (рисунок 3.5).

В пристрої постійно (досить часто, з невеликим інтервалом) проводиться діагностика – вимірювання та контроль параметрів вхідної та вихідної напруг, вхідного та вихідного струмів, температури. Якщо якийсь з параметрів що контролюється, виходить за межі допустимих відхилень – формується код параметра відключення, що разом з іншими поточними параметрами записується у пам'ять пристрою, після чого пристрій вимикається. Таке відключення не є незворотнім, якщо параметр (набір параметрів) прийде до дозволених значень – функціонування стабілізатора буде поновлено. Прикладом такої події може бути перегрів з наступним охолодженням до задовільних значень, або усунення причин короткого замикання в навантаженні.

Якщо виявляється критична відмова, наприклад силовий ключ замість включеного стану, що проводить електричний струм, знаходиться у стані обриву, що не проводить електричний струм – формується код критичної відмови, цей код разом з іншими параметрами записуються у пам'ять, стабілізатор вимикається, подальше його включення і функціонування блокується.

Якщо при критичній відмові продовжити функціонування пристрою, це

може призвести до виходу зі строю інших елементів і збільшенню часу простою та вартості відновлення працездатного стану.

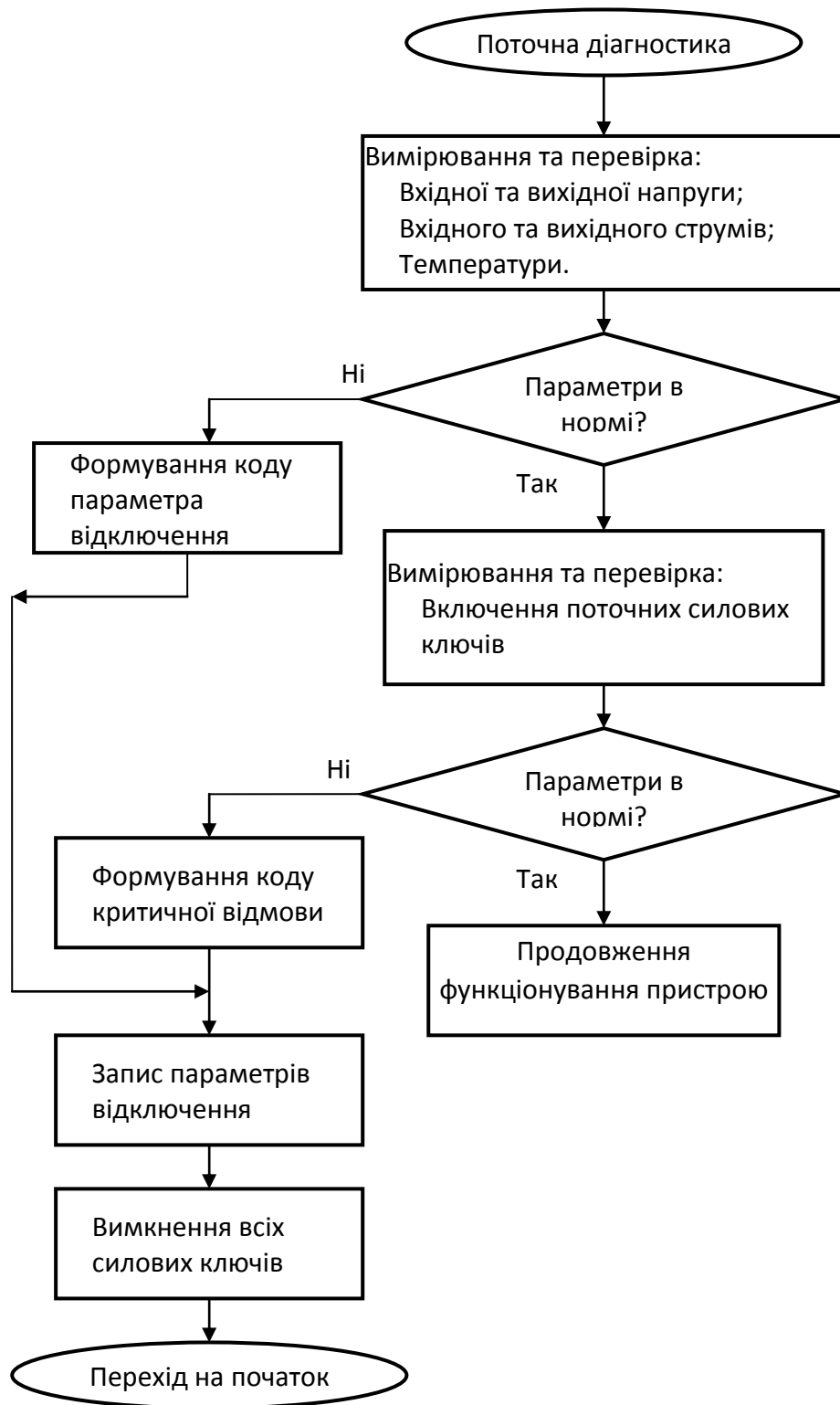


Рисунок 3.5 – Алгоритм поточної діагностики

3.6 Алгоритм діагностики при критичних подіях

В об'єктах діагностики можуть відбуватися критичні події, процеси при яких можуть призвести до критичних відмов. Такі події потребують додаткової діагностики.

Прикладом критичної події для стабілізатора напруги змінного струму є перемикання силових ключів, коли попередній силовий ключ вимикається, вмикається наступний силовий ключ.

Алгоритм діагностики такої події для об'єкта – стабілізатора наведено на рис. 3.6.

Після припинення дії сигналу управління на силовий ключ, він вимикається не одразу, а коли струм через нього зменшиться до нуля. Момент часу вимикання необхідно дослідити і увімкнути наступний силовий ключ одразу після вимикання попереднього. Якщо силовий ключ увімкнути зарано – це призведе до короткого замикання, тоді в обох ключах відбудеться критична відмова – вони вийдуть зі строю. Якщо силовий ключ увімкнути з великою паузою – це припинить електропостачання в навантаження, що може критично вплинути на його функціонування та властивості. Тому при таких критичних подіях необхідно проводити додаткову діагностику.

Діагностика при перемиканні силових ключів виконується наступним чином. Виконується вимикання силового ключа, після чого контролюється, що ключ вимкнено. Якщо ключ не вимикається тривалий час (більше півперіоду мережевої напруги), робиться висновок що він відмовив (коротке замикання), формується відповідний код критичної відмови, параметри записуються в пам'ять а пристрій вимикається з заборонаю подальшого функціонування.

Якщо ключ успішно вимкнувся, подається сигнал управління на наступний силовий ключ, який повинен увімкнутися, тобто перейти до стану що проводить. Цей стан контролюється, якщо стан ключа не змінився – формується код відповідної критичної відмови, який разом з іншими

параметрами записується в пам'ять, стабілізатор вимикається, подальше його функціонування забороняється.



Рисунок 3.6 – Алгоритм діагностики при перемиканні силових ключів

3.7 Висновки по розділу 3

Механізм контролю та діагностики, який описано вище, дозволяє ефективно контролювати параметри та відмови об'єкту, а також накопичувати події та параметри які їх супроводжують.

Це дозволяє користувачу мати доступ та оперативний контроль за подіями, параметрами та відмовами, дозволяє накопичувати статистичні дані, підвищує надійність функціонування електронного обладнання за рахунок локалізації критичних відмов та накопичення їх передумов та наслідків для подальшого аналізу та вдосконалення електронних пристроїв.

4 ПОБУДОВА СИСТЕМИ ВІДДАЛЕНОГО КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ

На сьогодні немає загальноприйнятих протоколів та стандартів переліку вузлів та системи зв'язку для діагностування, за виключенням автомобільної галузі. У різних виробників і, навіть, різних výroбах одного виробника такі протоколи та стандарти можуть суттєво відрізнятися.

Для побудови системи контролю та діагностики в об'єкті повинен бути реалізовано один з алгоритмів зв'язку.

У стабілізатора напруги змінного струму алгоритм зв'язку здійснюється через інтерфейс UART, принципи обміну повідомленнями зазначено нижче.

4.1 Алгоритм зв'язку та організації повідомлень

Зовнішній комп'ютер є ведучим (майстром), якій ініціює передачу даних. Формат передачі: Старт-маркер 1002, Код команди К, Дані Д1 - Дх, стоп-маркер 1003. Всі представлено у 16-річному вигляді. Код команди К, Дані Д1 - Дх передаються в інверсному коді, при якому кожен байт повторюється його побітовою інверсією, молодшим бітом, молодшим байтом вперед. Можливі команди та їх дані наведено в таблиці 4.1. Всі команди та дані передаються в інверсному коді. Старт - і стоп – маркери передаються у прямому коді.

В таблиці 4.2 наведено коди некритичних відмов, які призводять до відключень з можливістю повторного включення. Всі вони пов'язані з виходом параметрів що вимірюються за допустимі межі. Деякі з них свідчать о настанні певних подій, таких як, наприклад, вимикання стабілізатора.

В таблиці 4.3 наведено коди критичних відмов, при виникненні яких подальше функціонування об'єкту – стабілізатора є неприпустимим.

Таблиця 4.1

Формат даних при передачі повідомлень від комп'ютера на стабілізатор

Код команди	Дані, байти	Тип даних	Опис даних	Описание команды	Примечание
01	Д0,Д1	u16 Д1:Д0	Адреса 0000 – 5000d 5460	Зчитати дані установок по адресу Д1:Д0	По адресу 0 – початкові (заводські) установки. Якщо повертаються всі FF – за цією адресою і далі даних немає
02	Д0,Д1	u16 Д1:Д0	Адреса 0000 – 6500d 6550	Зчитати дані параметрів відключень по адресу Д1:Д0	По адресу 0 – код пристрою (12 байт). Якщо повертаються всі FF – за цією адресою і далі даних немає
03	-	-	-	Зчитати поточні (діючі, з ОЗП) значення установок	Зчитування поточних установок
04	ЗС	-	-	Записати (зберегти) поточні (діючі, з ОЗП) значення установок в ПЗП.	Запис поточних установок по наступній вільній адресі
05	Д0 – Д23	*1	*1	Змінити поточні (діючі, вПЗП) значення установок	
06	-	-	-	Зчитати поточні значення параметрів	Змінюються кожні 10 мс, температура – 3 рази за 10 мс.
07	-	-	-	Зчитати номер версії пристрою	
08	55	-	-	Вимкнути пристрій	Відключення пристрою (навантаження). Повторне включення – по команді включити пристрій, або вимкненням/ включенням автомата (вимикача)
09	5A	-	-	Включення пристрою	Включення пристрою після команди вимкнення (при умові, що всі параметри в нормі)
0A*	-	-	-	Зчитати поточні значення параметрів для користувача	Змінюються кожні 10 мс, температура – 3 рази за 10 мс.

Таблиця 2

Коди некритичних відмов

ER1		Опис
d	h	
0	0	Все в нормі, відмови немає
01		Помилка пам'яті (невідповідність номера процесора)
200	C8	Відключено користувачем
201	C9	Перегрів. $T > TERM_off$
202	CA	Велика вхідна напруга. $U_{in} > U_{in_max_off}$, протягом $T_{U_{in_max_off}} / 100$ с
203	CB	Мала вхідна напруга. $U_{in} < U_{in_min_off}$, протягом $T_{U_{in_min_off}} / 100$ с
204	CC	Велика вихідна напруга. $U_{out} > U_{out_max_off}$, протягом $T_{U_{out_max_off}} / 100$ с
205	CD	Мала вихідна напруга. $U_{out} < U_{out_min_off}$, протягом $T_{U_{out_min_off}} / 100$ с
206	CE	Перевантаж. по входу (що регул.). $I_{in} > I_{in_off}$, протягом $T_{I_{in_off}}$ (180 с = 3 хв)
207	CF	Перевантаження по входу (що не регулюється). $I_{in} > 150\%$, протягом 5 с
208	D0	Перевант. по вих (що регул.). $I_{out} > I_{out_off}$, протягом $T_{I_{out_off}}$ с (180 с = 3 хв)
209	D1	Перевантаження по виходу (що не регулюється). $I_{out} > 150\%$, протягом 5 с
211	D3	Перевантаження (к/з) по входу. $I_{in} > 200\% / 240\%$.
212	D4	Перевантаження (к/з) по виходу. $I_{out} > 200\%$.
213	D5	к/з по амплітуді по входу. $I_{in1} > 900$ (100% = 340) / 1800
214	D6	к/з по амплітуді по виходу. $I_{out1} > 900$ (100% = 340) / 1000
215	D7	Вимкнення пристрою – падіння вхідної напруги $U_{in} < 40$
216	D8	Вимкнення пристрою – падіння вихідної напруги $U_{out} < 60$

Таблиця 4.3

Коди критичних відмов

ST_ERR		Опис
d	h	
0	0	Все в нормі, відмови немає
		Відмови пам'яті
01	01	Невідповідність серійного номера процесора
02	02	Переповнення пам'яті під коефіцієнти
03	03	Переповнення пам'яті під параметри
		Відмови термодатчиків
04*	04	Відсутній / несправен термодатчик 1
05*	05	Відсутній / несправен термодатчик 2
		Несправності / відмови в силовій частині (схема с 1 трансформатором)
1x		Не вмикається (обрив) тиристора № x, x = 0 – 9 1x, 2x, 3x
19		Пробій тиристора 1 ступені
29		Пробій тиристора 2 ступені
39		Пробій тиристора 3 ступені
101		Тиристор 1 ступені не вмикається (обрив)
102		Тиристор 2 ступені не вмикається (обрив)

4.2 Програма діагностування

За визначеними в Розділі 3 алгоритмами була реалізована тестова програма, яка забезпечує зв'язок, діагностику об'єкту та вивід інформації.

Для написання було обрано мову C#, яка є достатньо зручною мовою високого рівня, при цьому дозволяє напряду працювати з віртуальними СОМ-портами. Текст програми з коментарями наведено в Додатку А.

На рисунку 4.1 наведено головну вкладку після запуску програми

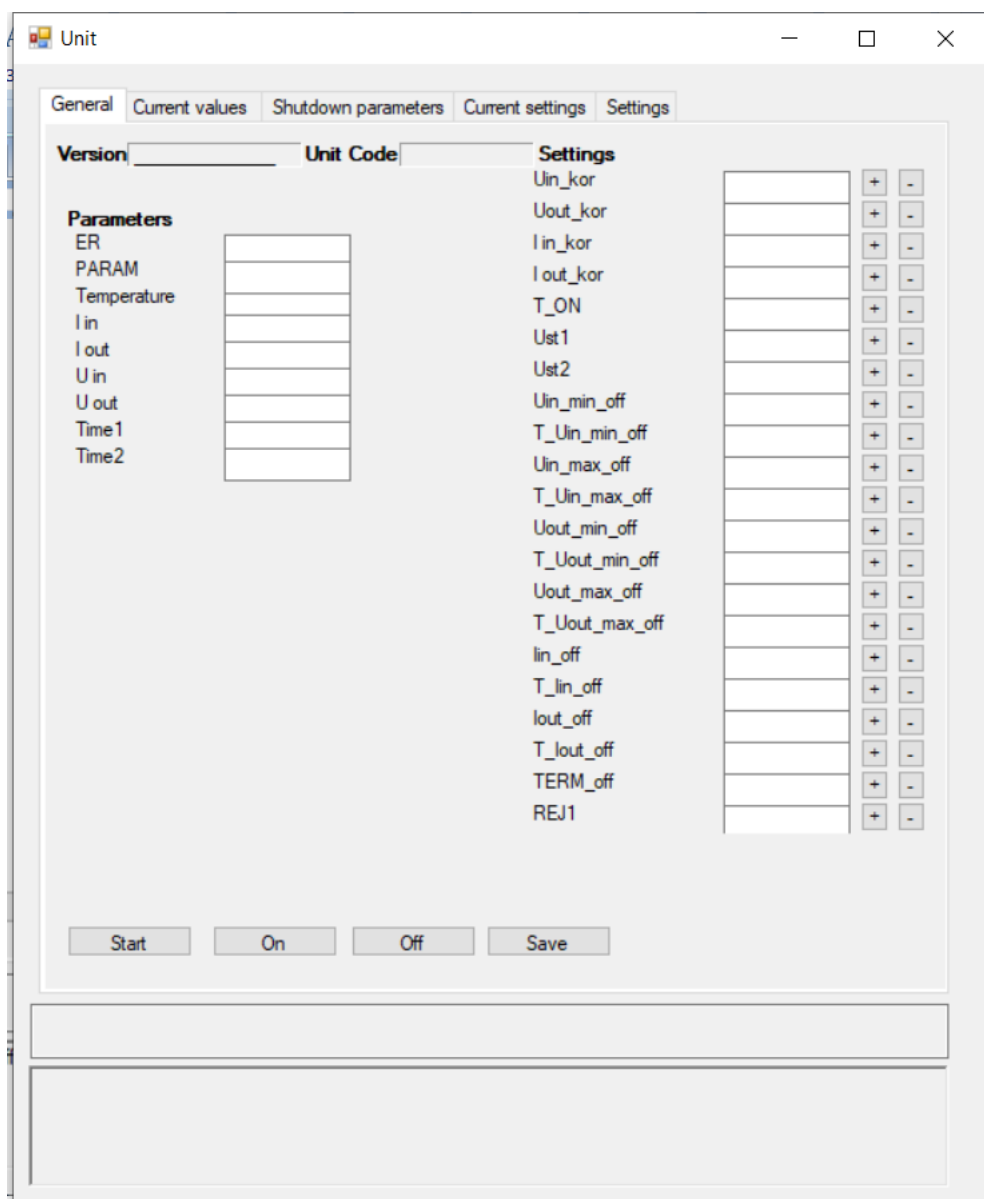


Рисунок 4.1 – Головна вкладка

На ній виділено поля для номера версії програмного забезпечення мікроконтролера, коду пристрою, поля для параметрів та установок.

На рисунку 4.2 приведена таж вкладка після зчитування параметрів по команді 02. Параметри виведено у відповідне поле.

Внизу вкладки відображено інформацію о номерах портів, через які виконується поєднання з пристроєм, також отримане від стабілізатора повідомлення відповідь на команду 02.

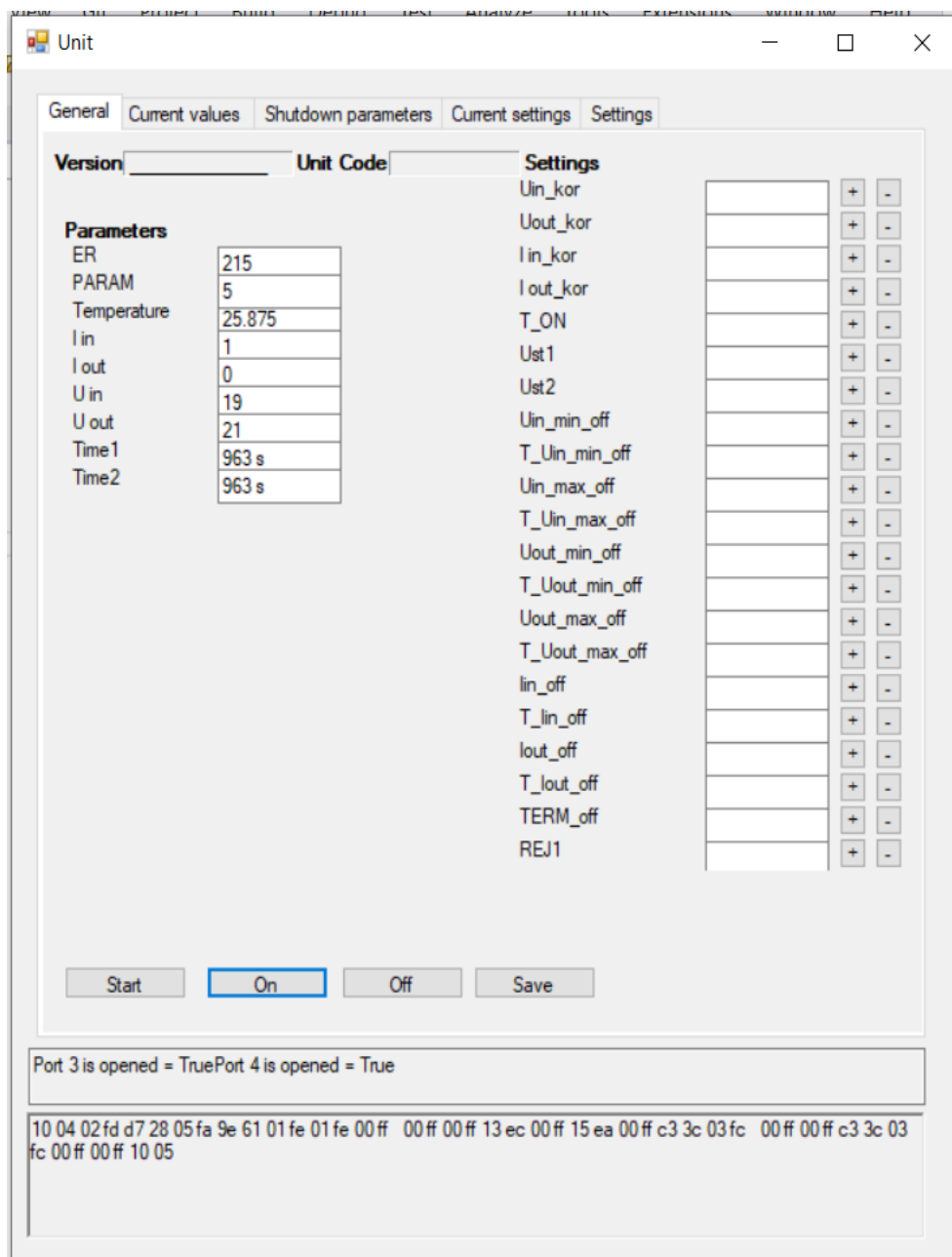


Рисунок 4.2 - Зчитування та відображення основних параметрів

Якщо проаналізувати це повідомлення, можна побачити наступні поля:

- старт – маркер 10 04;
- код команди та її побітова інверсія – 02 fd;
- код відмови та його інверсія – d7 28 (Вимкнення пристрою – падіння вхідної напруги $U_{in} < 40$);
- параметр що характеризує режим роботи разом з інверсією – 05 fa;
- 2 байти температури в 1/16 градуса та їх побайтна інверсія – 019e feb1;
- 2 байти вхідного струму та їх інверсія – 0001 fffe;
- 2 байти вихідного струму та їх інверсія – 0000 ffff;
- 2 байти вхідної напруги та їх інверсія – 0013 ffec;
- 2 байти вихідної напруги та їх інверсія – 0015 ffea;
- 4 байти глобального часу роботи та їх інверсія – 000003c3 fffffc3c;
- 4 байти часу роботи після останнього включення та їх інверсія - 000003c3 fffffc3c;
- стоп – маркер 10 05.

Завдяки тому, що кожен байт повідомлення передається у прямому та інверсному вигляді, робить можливим за допомогою простої перевірки встановити цілісність і повноту повідомлення.

За допомогою програми також є можливість аналізувати та сортувати всі події пов'язані з відмовами, записувати їх в файл та в подальшому зчитувати за необхідністю. Вкладка програми, на якій виведено кількість відключень за їх кодами показана на рисунку 4.3.

Так як це тестова програма, підключався стабілізатор напруги змінного струму, який ще не має напрацювання, можемо побачити, що загальний час роботи складає 963 с, відключення було одне, по події зменшення вхідної напруги $U_{in} < 40$ – код d7, що відображає вимкнення пристрою.

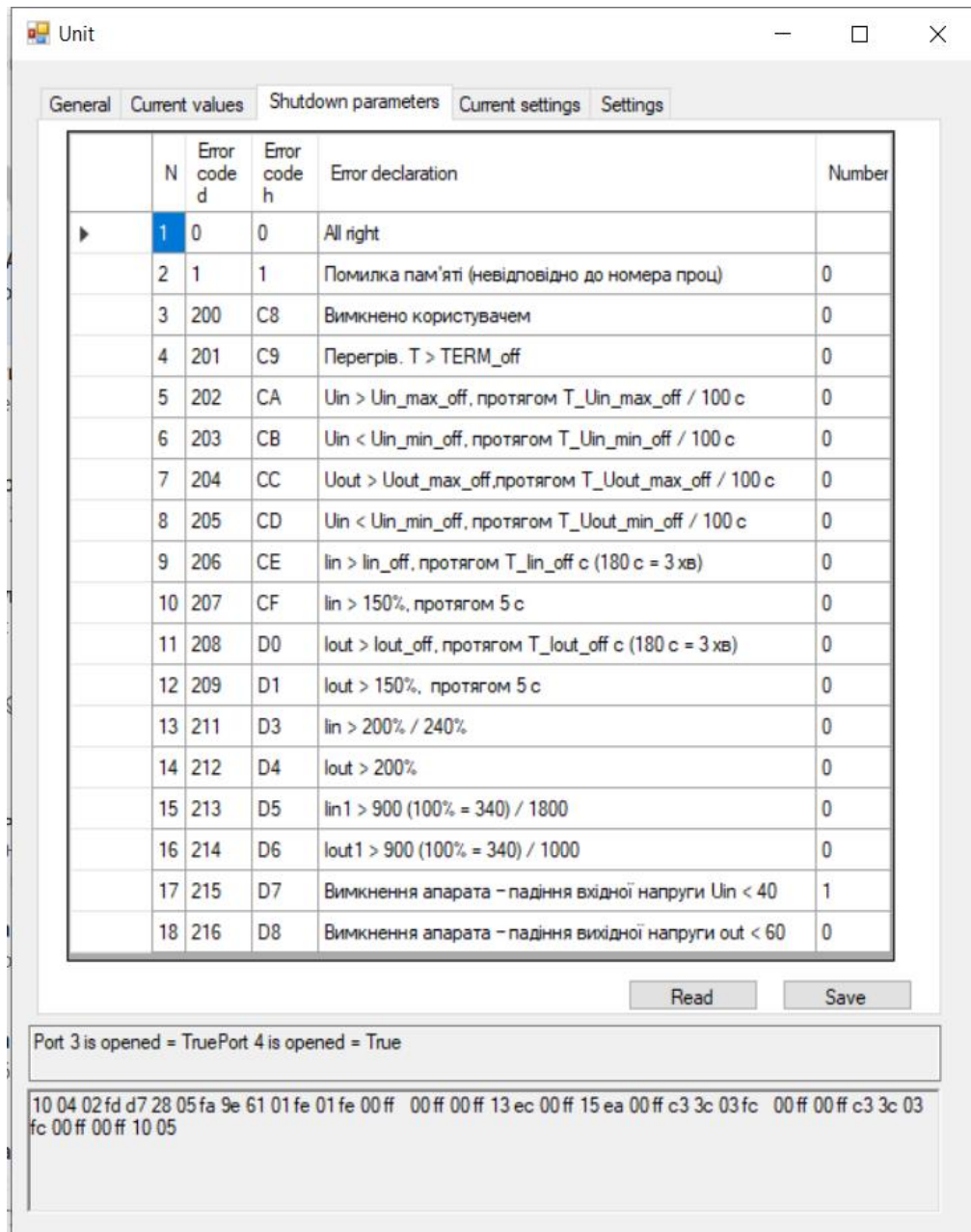


Рисунок 4.3 – Таблиця відключень та їх кодів

4.3 Висновки по Розділу 4

В розділі 4 запропоновано алгоритм зв'язку для обміну повідомлень з об'єктом діагностування – стабілізатором напруги змінного струму.

Розроблено тестову програму, яка дозволяє здійснювати зв'язок, накопичувати отримані дані для подальшого опрацювання та аналізу.

Проведено тестування програми, показано її працездатність, наведено вкладки з отриманими параметрами.

ВИСНОВКИ

В ході роботи було проведено:

- аналіз предметної області;
- класифіковано та обрано критичні відмови;
- аналіз систем діагностування об'єктів;
- вибір апаратних та програмних засобів реалізації системи діагностики;
- реалізовано програмну частину системи діагностування електронного обладнання на прикладі стабілізатора напруги змінного струму;
- тестування системи діагностики.

У першому розділі проведено огляд та аналіз предметної області. Наведено основні поняття і терміни теорії надійності, класифікацію відмов. Розглянуто і проаналізовано показники надійності об'єктів. Наведено криві безвідмовної роботи, вірогідність та інтенсивність відмов в залежності від часу напрацювання, проаналізовано термін служби та періоди роботи технічних електронних пристроїв. Розглянуто структурну надійність пристроїв, методи розрахунку надійності при різних типах з'єднання елементів. Наведено основні закони розподілу відмов в типових електронних схемах – експоненціальний, Вейбула, нормальний (Гауса), логарифмічно-нормальний.

У другому розділі наведено методичку формування множин відмовлюючих елементів складних технічних об'єктів. Отримані в результаті ілюструють вплив параметрів ремонтпридатності об'єкта на розрахункові множини і на прогнозовані оцінки. Кожному варіанту значень параметрів ремонтпридатності об'єкта відповідають «свої» множини за яких забезпечуються адекватні прогнозні оцінки. Для того щоб процес моделювання об'єкта з ієрархічною конструктивною структурою був адекватним повинні розрахунки з урахуванням параметрів ремонтпридатності. Цим забезпечуватиметься достовірне прогнозування показників надійності та вартості експлуатації об'єкта, Для економії ресурсів

на відновлення, зменшення часу простою краще попереджати відмови вузлів та компонентів електронного обладнання шляхом введення систем самодіагностики на початку та в процесі функціонування об'єкта.

Використовувати можливості самодіагностики, для чого пропонується:

- визначення критичних елементів та вузлів;
- використання незадіяних обчислювальних потужностей;
- здійснення початкової діагностики;
- здійснення поточної діагностики;
- коректні повідомлення та вивід об'єкта з функціонування при критичних відмовах.

В третьому розділі запропоновано механізм контролю та діагностики, що дозволяє ефективно контролювати параметри та відмови об'єкту, а також накопичувати події та параметри які їх супроводжують. Це дозволяє користувачу мати доступ та оперативний контроль за подіями, параметрами та відмовами, дозволяє накопичувати статистичні дані, підвищує надійність функціонування електронного обладнання за рахунок локалізації критичних відмов та накопичення їх передумов та наслідків для подальшого аналізу та вдосконалення електронних пристроїв.

В четвертому розділі запропоновано алгоритм зв'язку для обміну повідомлень з об'єктом діагностування – стабілізатором напруги змінного струму. Розроблено тестову програму, яка дозволяє здійснювати зв'язок, накопичувати отримані дані для подальшого опрацювання та аналізу. Проведено тестування програми, показано її працездатність, наведено вкладки з отриманими параметрами.

Використання системи діагностики підвищує надійність функціонування електронного обладнання за рахунок локалізації критичних відмов та накопичення їх передумов та наслідків для подальшого аналізу та вдосконалення електронних пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ 2863-94. Програма забезпечення надійності. Загальні вимоги. – Чинний від 1994–12–08. – Київ: Держстандарт України, 1994. – IV, 37 с.
2. ДСТУ 2864-94. Експериментальне оцінювання та контроль надійності. Основні положення. – Чинний від 1996-01-01. – К.: Держстандарт України, 1995. – IV, 30 с.
3. ДСТУ 3004-95. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. – Чинний від 1995-01-25. – Київ: Держстандарт України, 1995. IV, 130 с.
4. ДСТУ 2925-94. Якість продукції. Оцінювання якості. Терміни та визначення: Чинний від 1996-01-01. Офіц.вид. – К.: Держстандарт України, 1995. – 34 с.
5. ДСТУ 2861-94. Аналіз надійності. Основні положення. – Чинний від 1996-01-01. – Київ: Держстандарт України, 1994. – IV, 32 с.
6. ДСТУ 2389-94. Технічна діагностика. Терміни і визначення. – Чинний від 1995-01-01. – Київ: Держстандарт України, 1994 , 26с.
7. Надійність і діагностика електрообладнання: Підручник / О.В. Губаревич. – Сєверодонецьк: вид-во СНУ ім. В. Даля, 2016. – 248 с.
8. Васілевський О.М. Нормування показників надійності технічних засобів: навч. посіб. / О. М. Васілевський, В. О. Поджаренко ; Вінниц. нац. техн. ун-т. – Вінниця: ВНТУ, 2010. – 129 с.
9. Кутін В.М. Діагностика електрообладнання: навчальний посібник /В. М. Кутін, М.О. Ілюхін, М.В. Кутіна. – Вінниця: ВНТУ, 2013. –161 с.
- 10.Кутін В. М. Вибір стратегії відновлювальних дій складних електротехнічних систем / В. М. Кутін, С. В. Матвієнко, В. О. Травінський, Ю.М. Притула // Вісник Керменчуцького державного політехнічного університету. – 2004. – № 2 (25). – С. 48-49.
11. William B. Ribbens. Understanding automotive electronics. - Butterworth-Heinemann, 1998. 434 pp.
12. Діагностика електрообладнання. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://jak.koshachek.com/articles/diagnostika-elektroobladnannja.html>.
13. Діагностика несправностей бортового електрообладнання. Електронний ресурс. Режим доступу: https://v-tochku.com.ua/ua/manual/chery_tiggo_rukovodstvo_po_ekspluatacii_tehnic_heskomu_obslyzhivaniyu_i_remontu/diagnostika-bortovogo-elektrooborudovaniya-t11/.
14. Vitaliy Mezhujev, Sergey Shvorov, Alla Dudnik, Dmitry Chyrchenko, and Yurii Gunchenko. Method for the Forecasting Solar Radiation in the Systems of Technical Vision // Advanced Science Letters. USA, California, 2018. –Vol. 24, № 10. – P.7519 – 7523.
15. Sergey Lenkov, Genadiy Zhyrov, Dmytro Zaitsev, Igor Tolok, Evgen Lenkov, Tetiana Bondarenko, Yurii Gunchenko, Viktor Zagrebnyuk,

- Oleksandr Antonenko. Features of modeling failures of recoverable complex technical objects with a hierarchical constructive structure // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – Kharkov, 2017. - № 4/4 (88). – P. 34 – 42.
16. Гунченко Ю.О., Ленков Є.С., Чешун В.М., Прокопчук С.О. Дослідження і реорганізація структури цифрового об'єкта діагностування на основі граф-моделі // Сучасна спеціальна техніка. – К., 2016. – № 2(45). – С.53 – 58.
 17. Гунченко Ю.О., Ємельянов П.С., Дзенкевич О.В. Ступеневе регулювання в стабілізаторах змінної напруги // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2016. – № 51. – С. 35 – 41.
 18. Гунченко Ю.О., Ленков С.В., Шворов С.А., Шкуліпа П.А. Контроль технічного стану підсистеми електроживлення тренажних систем з підвищеними техніко-економічними показниками // Науковий журнал «Системи озброєння та військова техніка», Харків, – 2012. – Вип.3(31). – С. 139 – 144.
 19. Ленков С.В., Боряк К.Ф., Гунченко Ю.А., Цыцарев В.Н., Кольцов Р.Ю. Оценки надежности сложных технических объектов с учетом их иерархической конструктивной структуры // Збірник Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – Одеса, 2012. - №1. – С.65 – 70.
 20. Шкуліпа П.А., Жердев М.К., Ленков С.В., Гунченко Ю.О. Шляхи і методи підвищення ефективності автономних автоматизованих систем технічного діагностування радіоелектронних пристроїв спеціального призначення // Сучасна спеціальна техніка, 2012. – № 3(30). – С. 69 – 74.
 21. Ленков С.В. Анализ и оптимизация ремонтпригодности сложного технического объекта / С.В. Ленков, Ю.А. Гунченко, В.А. Осыпа, В.Н. Цыцарев // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Військово-спеціальні науки. – К., 2012. – №29. – С. 11 – 16.
 22. Ленков С.В. Математична модель системи автоматичного регулювання перетворювачем електроенергії / С.В. Ленков, В.А. Мокрицький, Ю.О. Гунченко, О.В. Банзак // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – К., 2010. - № 27. – С. 53 – 56.
 23. Forecasting to reliability complex object radio-electronic technology and optimization parameter their technical usage with use the simulation statistical models: [monography] in English / Sergey Lenkov, Konstantin Borjak, Gennady Banzak, Vadim Braun, ect.; under edition S.V. Lenkov. – Odessa: Publishing house «VMV», 2014. – 252 p.
 24. Robert E. Shannon. Systems Simulation: The Art and Science. – Prentice Hall, 1975. – 368 p.

25. Jason Brown, Lucas Mol On the roots of all-terminal reliability polynomials / *Discrete Mathematics*, Volume 340, Issue 6, June 2017, Pages 1287–1299.
26. Xiao Feng Liang, Hong Dong Wang, Hong Yi, Dan Li Warship reliability evaluation based on dynamic bayesian networks and numerical simulation / *Ocean Engineering*, Volume 136, 15 May 2017, Pages 129-140.
27. Hongmao Tu, Wenzhong Lou, Zhili Sun, Yunpeng Qian Structural reliability simulation for the latching mechanism in MEMS-based Safety and Arming device / *Advances in Engineering Software*, Volume 108, June 2017, Pages 48-56.
28. Jianing Wu, Shaoze Yan, Junlan Li, Yongxia Gu Mechanism reliability of bistable compliant mechanisms considering degradation and uncertainties: Modeling and evaluation method / *Applied Mathematical Modelling*, Volume 40, Issues 23–24, December 2016, Pages 10377-10388.
29. Ikenna Anthony Okaro, Longbin Tao Reliability analysis and optimisation of subsea compression system facing operational covariate stresses / *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 156, December 2016, Pages 159-174.
30. Lirong Cui, Yan Li, Jingyuan Shen, Cong Lin Reliability for discrete state systems with cyclic missions periods / *Applied Mathematical Modelling*, Volume 40, Issues 23–24, December 2016, Pages 10783-10799.
31. Iris Tien, Armen Der Kiureghian Algorithms for Bayesian network modeling and reliability assessment of infrastructure systems / *Reliability Engineering & System Safety*, Volume 156, December 2016, Pages 134-147.
32. Ying Yi Li, Ying Chen, Zeng Hui Yuan, Ning Tang, Rui Kang Reliability analysis of multi-state systems subject to failure mechanism dependence based on a combination method / *Reliability Engineering & System Safety*, Available online 18 November 2016.

ДОДАТОК А

Лістинг програми

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Linq;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.Threading;
using System.Globalization;

namespace COM_Test
{
    internal static class Program
    {
        /// <summary>
        /// Главная точка входа для приложения.
        /// </summary>
        [STAThread]
        static void Main()
        {
            Thread.CurrentThread.CurrentUICulture = new
CultureInfo("en-us");
            Application.EnableVisualStyles();

Application.SetCompatibleTextRenderingDefault(false);
            Application.Run(new Form1());
        }
    }
}
```

```

using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Threading.Tasks;
using System.Windows.Forms;
using System.IO.Ports;
using System.IO;

namespace COM_Test
{
    public partial class Form1 : Form
    {
        public Form1()
        {
            InitializeComponent();
        }

        string comData="";

        private void logData(string input)
        {
            comData += input;

            int startIndex = comData.IndexOf("1004");

            //removes data before the 1st occurrence of 1004
            if (startIndex >= 0)
            {
                if (startIndex > 0)
                    comData = comData.Substring(startIndex);
                //startIndex = 0;
            }
            else
                return;

            int endIndex = comData.IndexOf("1005");

            while (endIndex>1)
            {
                //data packet
                string data = comData.Substring(4, endIndex -
4);

                WriteToConsole(data);
                comData = comData.Substring(endIndex+4);

                if (comData.Length == 0) return;
            }
        }
    }
}

```

```

        startIndex = comData.IndexOf("1004");
        if (startIndex >= 0)
        {
            if (startIndex > 0)
                comData = comData.Substring(startIndex);
            //startIndex = 0;
        }
        else
            return;
        endIndex = comData.IndexOf("1005");
    }

}

private void port_DataReceived(object sender,
SerialDataReceivedEventArgs e)
{
    logData(port4.ReadExisting().ToString());
}

delegate void SetTextCallback(string text);
private void WriteToConsole(string text)
{
    // InvokeRequired required compares the thread ID of
the
// calling thread to the thread ID of the creating
thread.
// If these threads are different, it returns true.
if (this.richTextBoxConsole.InvokeRequired)
{
    SetTextCallback d = new
SetTextCallback(WriteToConsole);
    this.Invoke(d, new object[] { text });
}
else
{
    if (this.richTextBoxConsole.Text != "")
this.richTextBoxConsole.Text += '\n';
    this.richTextBoxConsole.Text += text;
}
}

private void WriteToPort(string textData)
{
    try
    {
        if (textData != "")
        {
            port3.Write(textData);
        }
    }
    catch (System.Exception ex)

```

```

        {
            textBoxConsole.Text += '\n' + ex.ToString();
        }
    }

    SerialPort port3 = new SerialPort("COM3", 9600,
    Parity.None, 8, StopBits.One);
    SerialPort port4 = new SerialPort("COM4", 9600,
    Parity.None, 8, StopBits.One);
    bool portsOpened;
    private void button43_Click(object sender, EventArgs e)

    { //OpenPorts
        textBoxConsole.Text = "";
        if (!portsOpened)
        {
            try
            {
                port3.Open();
                textBoxConsole.Text+="Port 3 is opened =
{port3.IsOpen.ToString()}";
            }
            catch (System.Exception ex)
            {
                textBoxConsole.Text += '\n' +
ex.ToString();
            }

            try
            {
                port4.Open();
                port4.DataReceived += new
SerialDataReceivedEventHandler(port_DataReceived);
                textBoxConsole.Text+="Port 4 is opened
= {port4.IsOpen.ToString()}";
                portsOpened = true;
            }
            catch (System.Exception ex)
            {
                textBoxConsole.Text += '\n' +
ex.ToString();
            }
        }

    }

    private void comK07(string textData)
    {
        try
        {
            if (textData != "")
            {
                textData=textData.Replace(" ", "");
            }
        }
    }
}

```

```

        //версия
        label38.Text=
Convert.ToInt32(textData.Substring(6, 2),16).ToString();
        label39.Text
Convert.ToInt32(textData.Substring(8, 2), 16).ToString();
    }
}
catch (System.Exception ex)
{
    textBoxConsole.Text += '\n' + ex.ToString();
}
}
static bool CheckByteInverted(string hex1, string hex2)
{
    // Проверяем, что обе строки имеют длину 2 символа
    if (hex1.Length != 2 || hex2.Length != 2)
    {
        return false;
    }

    try
    {
        // Парсим оба числа как шестнадцатеричные байты
        byte byte1 = Convert.ToByte(hex1, 16);
        byte byte2 = Convert.ToByte(hex2, 16);

        // Проверяем, что второе число представляет
инвертированное первое
        return byte2 == (byte)(~byte1);
    }
    catch (FormatException)
    {
        // Ошибка при парсинге
        return false;
    }
}

static string InvertBinaryString(string binaryString)
{
    char[] invertedChars = binaryString.ToCharArray();
    for (int i = 0; i < invertedChars.Length; i++)
    {
        invertedChars[i] = (invertedChars[i] == '0') ?
'1' : '0';
    }
    return new string(invertedChars);
}
private int stringToNeg(string hexString)
{

```

```

        string binaryString, invertedBinaryString;
        int intValue;
        try
        {
            intValue = Convert.ToInt32(hexString, 16);
            binaryString = Convert.ToString(intValue, 2);
            invertedBinaryString =
InvertBinaryString(binaryString);
            return -(Convert.ToInt32(invertedBinaryString,
2)+1);

        }
        catch (System.Exception ex)
        {
            textBoxConsole.Text += '\n' + ex.ToString();
            return 0;
        }
    }
    private void UpdateValueInLastColumn(int targetValue)
    {
        // targetValue - Число, которое мы ищем

        foreach (DataGridViewRow row in dataGridView1.Rows)
        {
            // Проверяем, что значение во второй колонке
(индекс 1) равно 215
            if (row.Cells.Count > 1 && row.Cells[1].Value !=
null && Convert.ToInt32(row.Cells[1].Value) == targetValue)
            {
                // Увеличиваем значение в последней колонке
(индекс row.Cells.Count - 1) на 1

                int lastColumnValue =
Convert.ToInt32(row.Cells[row.Cells.Count - 1].Value);
                row.Cells[row.Cells.Count - 1].Value =
(lastColumnValue + 1).ToString();

            }
        }
    }

    private void comK02(string textData)
    {
        bool fl=true;

        try
        {
            if (textData != "")
            {
                textData = textData.Replace(" ", "");
                for (int i = 4; i < textData.Length - 6;
i=i+4)
                {

```



```

        if
        (CheckByteInverted(textData.Substring(i,
        textData.Substring(i + 2, 2)) != true) fl = false;
        )
        }
        if (fl)
        {
            textBox22.Text
            Convert.ToInt32(textData.Substring(8, 2), 16).ToString();//ER
            textBox23.Text
            Convert.ToInt32(textData.Substring(12,
            16).ToString());//PARAM
            textBox24.Text
            Convert.ToInt32(textData.Substring(20,
            textData.Substring(16, 2), 16).ToString();//Temp
            textBox25.Text
            Convert.ToInt32(textData.Substring(28,
            textData.Substring(24, 2), 16).ToString();//I in
            textBox26.Text
            Convert.ToInt32(textData.Substring(36,
            textData.Substring(32, 2), 16).ToString());//I out
            textBox27.Text
            Convert.ToInt32(textData.Substring(44,
            textData.Substring(40, 2), 16).ToString());
            textBox28.Text
            Convert.ToInt32(textData.Substring(52,
            textData.Substring(48, 2), 16).ToString());
            //T1 T1 и T2 - в виде гг.дд.чч.мм.сс
            textBox29.Text
            Convert.ToInt32(textData.Substring(64, 2), 16).ToString()+ "."+
            Convert.ToInt32(textData.Substring(60, 2), 16).ToString() + "."
            + Convert.ToInt32(textData.Substring(56, 2), 16).ToString() +
            "." + Convert.ToInt32(textData.Substring(52, 2), 16).ToString();
            textBox30.Text
            Convert.ToInt32(textData.Substring(80, 2), 16).ToString() + "."
            + Convert.ToInt32(textData.Substring(76, 2), 16).ToString() +
            "." + Convert.ToInt32(textData.Substring(72, 2), 16).ToString()
            + "." + Convert.ToInt32(textData.Substring(68, 2),
            16).ToString());

            UpdateValueInLastColumn(Convert.ToInt32(textData.Substring(8,
            2), 16));
        }
    }
    catch (System.Exception ex)
    {
        textBoxConsole.Text += '\n' + ex.ToString();
    }
}
private void button44_Click(object sender, EventArgs e)
{

```



```

        dataTable.Rows.Add(3, 200, "C8", "Вимкнено користувачем", 0);
        dataTable.Rows.Add(4, 201, "C9", "Перегрів. T > TERM_off", 0);
        dataTable.Rows.Add(5, 202, "CA", "Uin > Uin_max_off, протягом T_Uin_max_off / 100 с", 0);
        dataTable.Rows.Add(6, 203, "CB", "Uin < Uin_min_off, протягом T_Uin_min_off / 100 с", 0);
        dataTable.Rows.Add(7, 204, "CC", "Uout > Uout_max_off, протягом T_Uout_max_off / 100 с", 0);
        dataTable.Rows.Add(8, 205, "CD", "Uin < Uin_min_off, протягом T_Uout_min_off / 100 с", 0);
        dataTable.Rows.Add(9, 206, "CE", "Iin > Iin_off, протягом T_Iin_off с (180 с = 3 хв)", 0);
        dataTable.Rows.Add(10, 207, "CF", "Iin > 150%, протягом 5 с", 0);
        dataTable.Rows.Add(11, 208, "D0", "Iout > Iout_off, протягом T_Iout_off с (180 с = 3 хв)", 0);
        dataTable.Rows.Add(12, 209, "D1", "Iout > 150%, протягом 5 с", 0);
        dataTable.Rows.Add(13, 211, "D3", "Iin > 200% / 240%", 0);
        dataTable.Rows.Add(14, 212, "D4", "Iout > 200%", 0);
        dataTable.Rows.Add(15, 213, "D5", "Iin1 > 900 (100% = 340) / 1800", 0);
        dataTable.Rows.Add(16, 214, "D6", "Iout1 > 900 (100% = 340) / 1000", 0);
        dataTable.Rows.Add(17, 215, "D7", "Вимкнення апарата - падіння вхідної напруги Uin < 40", 0);
        dataTable.Rows.Add(18, 216, "D8", "Вимкнення апарата - падіння вихідної напруги out < 60", 0);
        // Привязываем DataGridView к созданной таблице данных
        dataGridView1.DataSource = dataTable;
        dataGridView1.Columns[0].Width = 20;
        dataGridView1.Columns[1].Width = 40;
        dataGridView1.Columns[2].Width = 40;
        dataGridView1.Columns[3].Width = 300;
        dataGridView1.Columns[4].Width = 45;
    }
    private void SaveDataToFile(string fileName)
    {
        try
        {
            using (StreamWriter sw = new StreamWriter(fileName))
            {
                // Записываем данные из элемента DataGridView
                foreach (DataGridViewRow row in dataGridView1.Rows)
                {

```

```

                string firstColumnValue =
row.Cells[1].Value?.ToString() ?? ""; //
                string lastColumnValue =
row.Cells[row.Cells.Count - 1].Value?.ToString() ?? ""; //
Значение из последнего столбца
                sw.WriteLine(firstColumnValue + "\t"
+ lastColumnValue); // Записываем значения с разделителем (в
данном случае, табуляцией)
            }
        }

        MessageBox.Show("Дані успішно записані у
файл.");
    }
    catch (Exception ex)
    {
        MessageBox.Show("Сталася помилка під час запису
даних у файл: " + ex.Message);
    }
}
private void button43_Click_1(object sender, EventArgs
e)
{
    SaveFileDialog saveFileDialog = new
SaveFileDialog();
    saveFileDialog.Filter = "Текстові файли|*.txt|Всі
файли|*.*";

    if (saveFileDialog.ShowDialog() == DialogResult.OK)
    {
        string fileName = saveFileDialog.FileName;
        SaveDataToFile(fileName);
    }
}
}
}

```

ДОДАТОК Б

Копії демонстраційних матеріалів

Міністерство науки і освіти України
Одеський національний університет імені
І.І.Мечникова

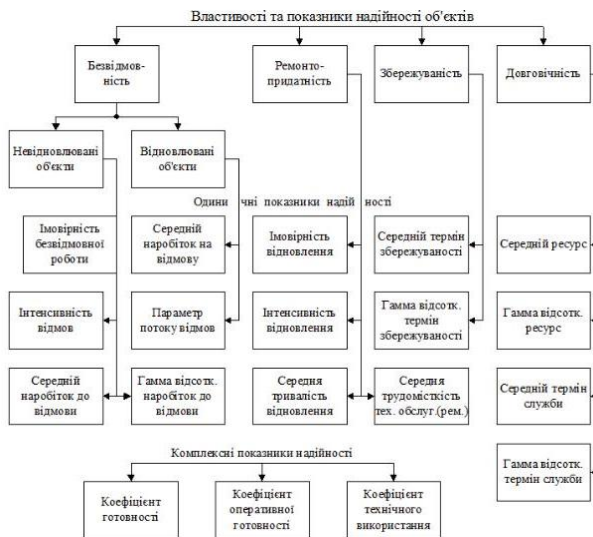
1

Технології та системи діагностування електронного обладнання

Ішков Василій

Науковий керівник
д.т.н., проф. Гунченко Ю.О.

Одеса 2023



2

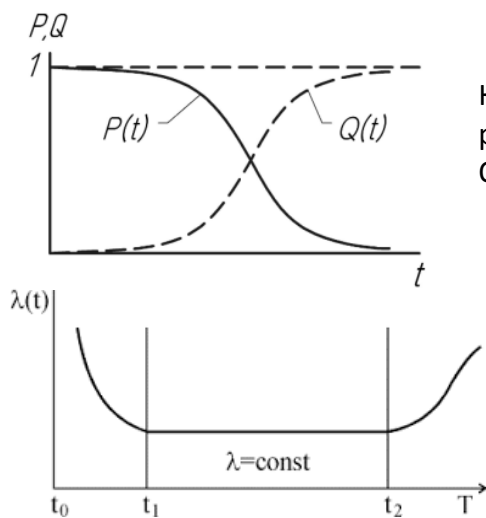
Надійність – властивість об'єкта зберігати у часі в установлених межах значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування.

Відмова – подія, що полягає в порушенні працездатності об'єкту.

Відмови класифікуються:

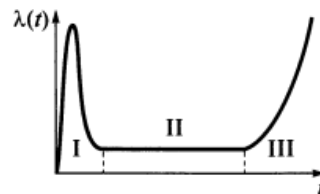
- по характеру процесу прояву – на **раптові і поступові**,
- по зв'язку з іншими відмовами – **залежні і незалежні**,
- по фізичній картині процесу – **катастрофічні і параметричні**,
- по ступеню впливу на працездатність – **повні і часткові**.

$$0 \leq P(t) \leq 1, P(0) = 1, P(\infty) = 0.$$



Криві імовірності безвідмовної роботи $P(t)$ і вірогідність відмов $Q(t)$

Інтенсивність відмов
 $t_0 - t_1$ – прироботка
 $t_1 - t_2$ – нормальна робота
 t_2 – далі – старіння елементів



Мета роботи: підвищення надійності функціонування електронного обладнання шляхом створення технології та системи діагностування.

Науково-практичні задачі:

- Аналіз предметної області;
- Класифікація відмов;
- Аналіз систем діагностування об'єктів;
- Вибір апаратних та програмних засобів реалізації системи діагностики;
- Реалізація системи діагностування електронного обладнання;
- Тестування системи діагностики.

Об'єкт: системи діагностики обладнання.

Предмет: процеси та технології діагностування та визначення працездатності електронного обладнання.

Особливості систем діагностики:

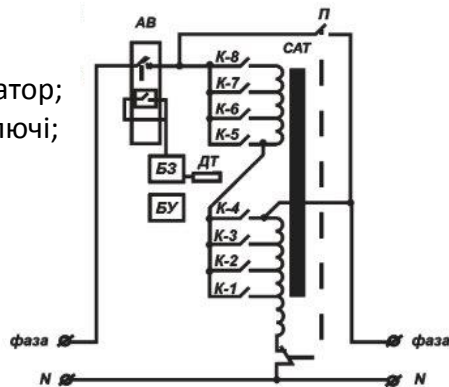
- Багато параметрів;
- Відсутність уніфікованих рішень (крім автомобільної галузі).

Вимоги до систем діагностики:

- Визначення критичних елементів та вузлів;
- Використання незадіяних обчислювальних потужностей;
- Здійснення початкової діагностики;
- Здійснення поточної діагностики;
- Коректні повідомлення та вивід об'єкта з функціонування при критичних відмовах.

Стабілізатор напруги змінного струму 9

АВ – автоматичний вимикач;
П – перемикач режиму
“Стабілізація” – “Транзит”;
САТ – силовий автотрансформатор;
К1 – К8 – силові (симісторні) ключі;
ДТ – датчик температури;
БЗ – блок захисту;
БУ – блок управління з мікропроцесором



Стабілізатор напруги змінного струму 10

Критичні відмови:

- Замикання силового ключа;
- Обрив силового ключа

Некритичні відмови і події:

- Перегрів;
- Велика вхідна / вихідна напруга;
- Мала вхідна / вихідна напруга;
- Перевищення струму, коротке замикання;
- Відмова елементів індикації / додаткових функцій.

Стабілізатор напруги змінного струму 11

STM32F405:

Виробник: STMicroelectronics

Ядро: **ARM Cortex M4**

Шина даних: **32 bit**

Максимальна тактова частота: **168 MHz**

Розмір програмної пам'яті: **1 MB**

Розмір ОЗП даних: **192 kB**

Розрядність АЦП: **12 bit**

Робоча напруга живлення: **1.8 V to 3.6 V**

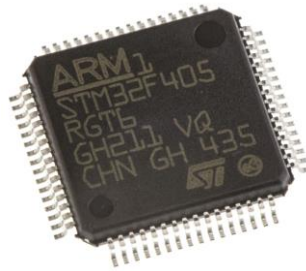
Серія процесора: ARM Cortex M

Типи інтерфейсів: **CAN, I2C, SPI, UART**

Робочая температура: - 40 + 85 C

Кількість каналів АЦП: **16**

Кількість входів/виходів: 51 I/O



Стабілізатор напруги змінного струму 12

USB-UART конвертер на чіпі CP2102 .

перехідник для підключення пристроїв, що мають інтерфейс **UART** к комп'ютеру до порту **USB**



USB-TTL конвертер PL2303HX USB-

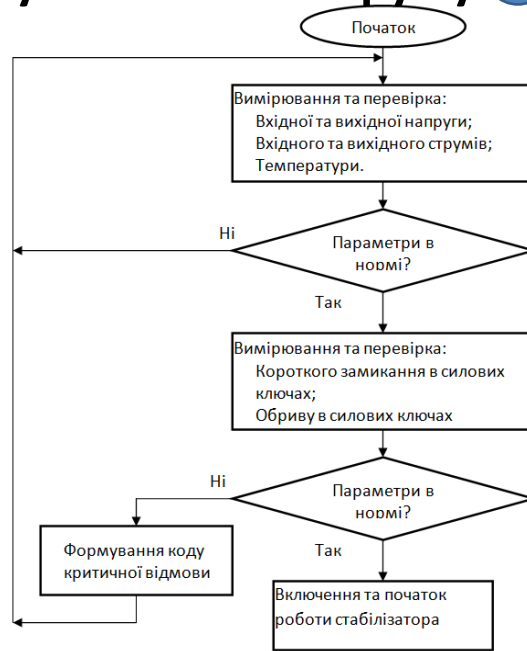
UART - модуль для підключення пристроїв, які мають інтерфейс UART з рівнями TTL к комп'ютеру до порту USB



Стабілізатор напруги змінного струму 13

Алгоритм функціонування підсистеми діагностики.

Початкова діагностика



Стабілізатор напруги змінного струму 14

Алгоритм функціонування підсистеми діагностики.

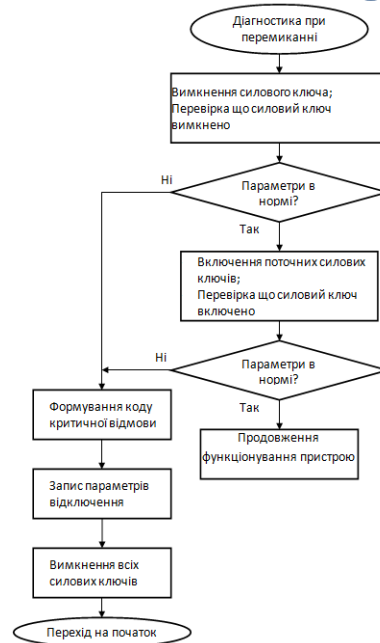
Поточна діагностика



Стабілізатор напруги змінного струму 15

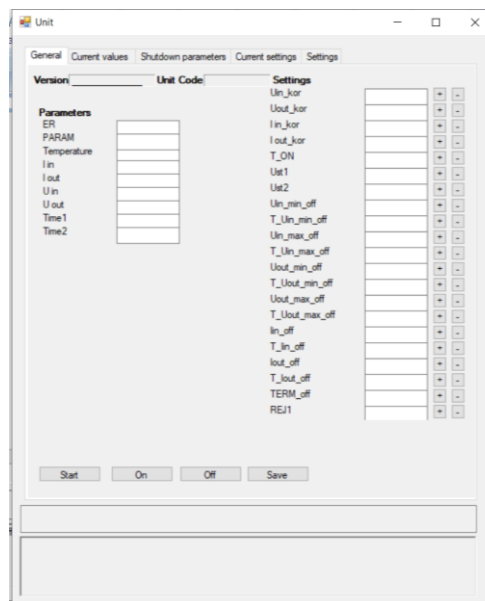
Алгоритм функціонування підсистеми діагностики.

Діагностика при перемиканні силових ключів



Екран програми діагностики 16

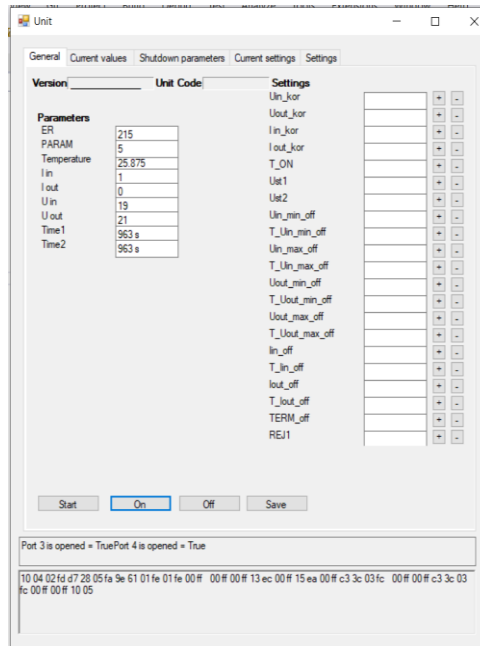
Головний екран після запуску програми



Екран програми діагностики

17

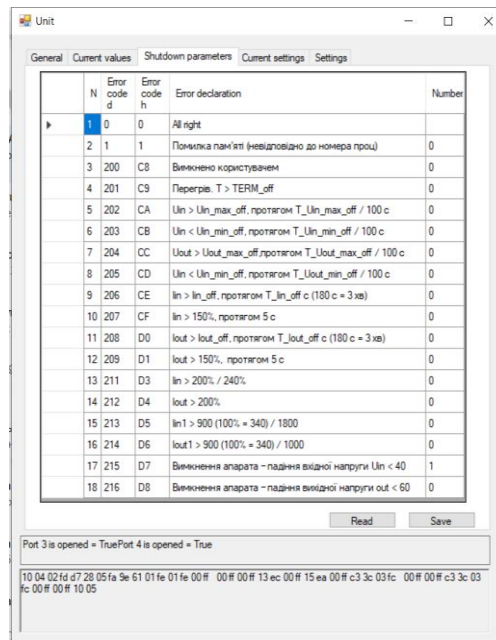
Зчитування та
відображення
основних
параметрів



Екран програми діагностики

18

Таблиця
відключень та
їх кодів



Висновки

19

В ході роботи було проведено:

- Аналіз предметної області;
- Класифіковано та обрано критичні відмови;
- Аналіз систем діагностування об'єктів;
- Вибір апаратних та програмних засобів реалізації системи діагностики;
- Реалізовано програмну частину системи діагностування електронного обладнання на прикладі стабілізатора напруги змінного струму;
- Тестування системи діагностики.

Висновки

20

Використання системи діагностики підвищує надійність функціонування електронного обладнання за рахунок локалізації критичних відмов та накопичення їх передумов та наслідків для подальшого аналізу та вдосконалення електронних пристроїв.

Таким чином,
комплекс отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що поставлені науково-практичні задачі вирішено, мету роботи досягнуто.