

Анатолій Іванович Міночкін (доктор технічних наук, професор)

Василь Вікторович Кузавков (доктор технічних наук, доцент)

Сергій Васильович Погребняк

Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації імені Героїв Крут, Київ, Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СКЛАДОВИХ ВТОРИННИХ ДЖЕРЕЛ ЖИВЛЕННЯ ЗА ФІЗИКО-ХІМІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ В ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ КОНДЕНСАТОРАХ ПІД ЧАС ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Умови сьогодення та перспективи розвитку ЗС України вимагають підвищення надійності телекомунікаційного обладнання, як складової системи управління. Стан та умови існування власного військово-промислового комплексу, не дозволяють в повній мірі забезпечити війська достатньою кількістю нових зразків сучасного телекомунікаційного обладнання. Одним зі способів вирішувати поставлені завдання є продовження терміну експлуатації наявного телекомунікаційного обладнання. Це можливо реалізувати шляхом здійснення якісного, своєчасного та повного технічного обслуговування. Таким чином, важливим завданням існуючої системи технічного обслуговування та ремонту стає пошук нових та удосконалення існуючих методів визначення технічного стану телекомунікаційного обладнання, підвищення достовірності прогнозу його працездатності.

Виходячи зі сказаного в даній статті проаналізовано та узагальнено основні проблемні питання, які стосуються системи діагностування телекомунікаційного обладнання. Розглянуті особливості експлуатації вторинних джерел живлення сучасного телекомунікаційного обладнання подвійного призначення. Описано специфіку використання електролітичних конденсаторів у вторинних джерелах живлення сучасного телекомунікаційного обладнання подвійного призначення. Проведений порівняльний аналіз існуючих на теперішній час способів діагностування. Запропоновано альтернативну можливість визначення фактичного технічного стану зазначених елементів (без вилучення зі схеми) в реальному часі безконтактним індукційним методом спираючись на досліджені фізико-хімічні процеси в них.

Ключові слова: телекомунікаційне обладнання, вторинні джерела живлення, електролітичні конденсатори, фізико-хімічні процеси, безконтактний індукційний метод.

Вступ

Важливим складовим елементом сучасності життя є телекомунікаційне устаткування та можливість постійно залишатись в інформаційному полі отримуючи, передаючи та обробляючи різноманітні види інформації. Не виключенням являється і військова сфера. Провідні країни світу розробляють єдині стандарти для систем зв'язку, розвідки, авіації, артилерії, застосування безпілотних літальних апаратів.

Постановка проблеми. Концепції створення та розвитку єдиної автоматизованої системи в Збройних Силах України (С4ISR) [1, 2] передбачає підвищення вимог до надійності телекомунікаційного обладнання. Оскільки сучасний стан військово-промислового комплексу не спроможний в повній мірі задовольнити потреби військ в сучасних засобах телекомунікаційного обладнання власного виробництва, а закупівля зразків іноземних виробників (в достатній кількості) передбачає значні фінансові затрати з боку держави, що на даний час економічно неприйнятно.

Вихід з ситуації, що склалася, можливий шляхом продовження терміну експлуатації наявних зразків телекомунікаційного обладнання. Як наслідок виникає необхідність розвитку та

удосконалення існуючої системи технічного обслуговування як складової системи управління, що в свою чергу вимагає розвитку існуючих та розробку нових методів визначення технічного стану об'єктів контролю (ОК). Існуюча на сьогодні система технічного обслуговування і ремонту (СТОiP) не в повній мірі відповідає вимогам сьогодення, оскільки не передбачає можливості автоматизації процесів визначення технічного стану та застосування методів фізичного діагностування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показано в [3] методи фізичного діагностування можуть бути достатньо точними та надійними як для визначення технічного стану ОК так і для прогнозування часу їх функціонування. Переваги які надає автономна автоматизована система діагностування (ААСД) в комплексі з фізичними методами діагностування проаналізовані та розглянуті в низці робіт, зокрема в [4, 11, 12, 13].

Однак, на сьогоднішній день існує тенденція зниження якості і довговічності в роботі ОК у зв'язку з використанням виробниками більш дешевих і як наслідок менш надійних радіоелектронних компонентів. Крім того в сучасному телекомунікаційному обладнанні (СТКО) цивільних фірм не передбачено існування контрольних точок для здійснення діагностування,

а подекуди взагалі відсутній доступ до радіоелектронних компонентів в ОК.

Аналіз основних несправностей сучасного радіоелектронного озброєння розглянуті у [5] показав, що значна кількість випадків виходу з ладу ОК спричинена відхиленнями параметрів у вторинних джерелах живлення.

Прогнозування технічного стану за результатами методів фізичного діагностування, або ААСД на основі нейронних мереж [6] здатні попередити вихід устаткування з ладу або його критичну відмову.

Спираючись на викладене можна стверджувати про необхідність створення ААСД на основі нових методів визначення технічного стану ОК та нових діагностичних ознак, які б задовольняли вимогам сьогодення.

Одна із задач технічного діагностування – прогнозування технічного стану ОК. В свою чергу, прогноз не можливий без знання тренду змін діагностичних ознак. Розгляд способу отримання закону зміни діагностичної ознаки, яка відображує фізико-хімічні процеси старіння, найменш надійних компонентів СТКО і є **метою даної статті**.

Виклад основного матеріалу дослідження

Як було відмічено, значну частину відмов у СТКО складають відмови через несправність вторинних джерел живлення [5]. Малонадійним елементом в них є електролітичні конденсатори, які застосовуються у фільтрах вхідних та вихідних ланцюгів. Використання безконтактного індукційного методу [14] за певними ознаками дозволяє розрізняти фактичний технічний стан не лише ОК (джерела живлення) цілком, але й окремих функціональних вузлів, які входять до його складу.

В статті розглядаються внутрішні процеси, які відбуваються в фільтруючих елементах, значна кількість яких присутня в сучасних імпульсних джерелах живлення – електролітичних алюмінієвих конденсаторах (далі – конденсатори). Розуміння зазначених процесів дає змогу визначити та використовувати під час діагностування нових непрямих діагностичних ознак.

Проблематиці виходу з ладу РЕК, основним причинам та передумовам, присвячено велика кількість статей. Однак питання діагностування та прогнозування виходу з ладу радіоелектронного устаткування (складових цього устаткування – конденсаторів) розглянуто недостатньо.

Ємність, як основна характеристика електролітичного конденсатора не є величина постійна і здатна змінюватися не лише під час експлуатації, а й під час зберігання. Контроль ємності окремих конденсаторів (поза межами схеми) не становить проблеми. Однак, контроль цього параметру в складі схеми, без вилучення, в реальному часі, безконтактними методами варто розглянути окремо. Фізико-хімічні процеси, які відбуваються в обраному об'єкті контролю знайшли своє відображення в непрямій

діагностичній ознаці, яка характеризує функціонування усього джерела живлення – зміна параметрів струму в ланцюгах живлення [14, 15]. Саме цей ДП відповідає умовам вимірюваності, інформативності та інваріантності і надає можливість підвищити достовірність та точність вирішення задач технічного діагностування.

В межах статті розглядаються основні фактори, які впливають на функціональність та термін «життя» конденсаторів, а також існуючі методи зменшення їх негативного впливу.

Одна з невід'ємних складових, яка супроводжує функціонування конденсаторів в фільтруючих ланцюгах – це термічні процеси. Під час експлуатації конденсатора температура в ньому підвищується у порівнянні з температурою навколишнього середовища. Це змушує шукати методи підвищення розсіювання тепла у зовнішнє середовище. Основними методами які застосовуються для відведення температури від конденсатора є: випромінювання тепла у зовнішнє середовище за рахунок більш теплопровідних покриттів (застосовують для великогабаритних конденсаторів) та конвекція (природна та з примусовим обдувом). Розрахунок потужності випромінювання тепла в зовнішнє середовище здійснюється по закону Стефана-Больцмана.

$$P_{RAD} = \varepsilon \sigma A \times (T_S^4 - T_A^4) = h_{RAD} \times A \times \Delta T \quad (1)$$

де $\varepsilon = 0,85$ – коефіцієнт емісії,

$\sigma = 5,67 \times 10^{-8}$ (Вт/(м²К⁴)) – постійна Стефана-Больцмана;

A – площа поверхні конденсатора без його основи;

$h_{RAD} = \varepsilon \sigma (T_S + T_A) \times (T_S^2 + T_A^2)$ – коефіцієнт передачі тепла;

T_S – температура поверхні конденсатора;

T_A – температура довколишнього середовища;

$\Delta T = T_S - T_A$ – різниця температур.

Для звичайної конвекції справедливим буде вираз:

$$P_{CONV} = h_{free} \times A \times \Delta T, \quad (2)$$

де $h_{free} = 1,32 \times [\Delta T / D]^{1/4}$, D - діаметр циліндра конденсатора.

У випадку звичайної конвекції, сумісно з випромінюванням тепла з поверхні, показники тепловипромінювання складуть (Вт/м²К):

$$h_{tot} = h_{free} + h_{rad} = 13,5 - 17 \text{ (Вт/м}^2\text{К)},$$

а у випадку примусового охолодження повітряним потоком зі швидкістю v (м/с) значення екстрапольованого кінцевого коефіцієнту передачі теплової енергії можна виразити формулою [7].

$$h_{tot} = 5 + 17 \times (v + 0,1)^{0,66} \quad (3)$$

Застосування примусового повітряного охолодження зі швидкістю потоку 1-2 м/с підвищують теплову віддачу в навколишнє середовище на 30-40% в порівнянні з звичайною конвенцією. Однак забезпечити рівномірне охолодження всіх складових вторинного джерела живлення практично не можливо. Завжди

знайдеться елемент якій затулено від повітряного потоку, або якій підігривається іншим джерелом тепла. Відомо, що строк безвідмовної роботи залежить від температури навколишнього середовища за правилом "10 Кельвінів": зниження температури зовнішнього середовища на 10 К призводить до продовження терміну експлуатації вдвічі [9].

Інша складова процесу функціонування конденсатора – хімічні процеси в конденсаторах. На даний час електролітичні конденсатори різняться застосуванням в них найрізноманітніших хімічних складників та компонентів. Якість цих складових в свою чергу відображається на їх надійності. Важливим показником якості (стабільності) хімічних складників є строк придатності (термін старіння). На відміну від терміну зберігання який вказується для нормальних умов зберігання (температури, вологості, і т.п.) перевірка на строк придатності можливе лише при проведенні прискорених випробувань на старіння при максимально допустимих температурах і нульових значеннях прикладених напруг в продовж значного періоду часу. Оскільки до конденсатора в таких умовах не під'єднано до зовнішньої напруги то результати такого випробування відображають виключно максимально "критичний" результат. Основні параметри конденсатора (ємність, струм витоку, ESR, імпульсна напруга і т.д.) повинні залишатися в межах заданих показників відповідно до IEC/EN 60384-1:2016. Велике значення показників строку придатності відображає хімічну стабільність, яка отримана шляхом використання якісних матеріалів та дотримання технологій виробництва.

Таким чином, значний час ефективного функціонування можна отримати шляхом комбінованого підходу до оптимізації фізико-хімічних процесів, які відбуваються в конденсаторах під час їх експлуатації.

Обидва згаданих процеси обумовлюють надійність та довговічність конденсаторів. Здійснення достовірного та точного визначення технічного стану ОК потребує використання прогресивних методів фізичного діагностування, а «опорну» залежність зміни діагностичної ознаки надають прискорені випробування [10]. На сьогодні використовують ряд способів визначення надійності електролітичних конденсаторів: прискорені та експлуатаційні. Прискорені випробування поділяються на:

скорочені – проведені по скороченій програмі без інтенсифікації процесів, що викликають відмови або ушкодження;

форсовані – засновані на інтенсифікації процесів, які викликають відмови або ушкодження.

Головна вимога до прискорених випробувань, це автентичність процесів старіння та зношування в порівнянні з нормальними умовами експлуатації. У випадку дослідження конденсаторів, метою випробувань є знаходження (підтвердження) динаміки зміни ДП від часу, з максимально

можливим (з урахуванням збереження адекватності фізики процесів старіння) коефіцієнтом прискорення [16].

Існує декілька варіантів класифікації методів прискорених випробувань. Так, основні методи прискорених випробувань поділяються на: метод посилення режимів роботи; метод індивідуального прогнозування; метод посилення режимів роботи та індивідуального прогнозування [10].

В основу першого методу покладено створення режиму функціонування під впливом "стресу", еквівалентному такій зміні параметрів експлуатації, при якій підвищується швидкість протікання процесів зношування (старіння). Зовнішній вплив — це фактор, який прискорює процеси, та зміна якого, в порівнянні з режимом нормальної експлуатації, веде до підвищення інтенсивності процесів, що приводять до відмови (ушкодження).

Для підвищення швидкості природного старіння (швидкості зношування) можливо використовувати зміну параметрів які характеризують умови зовнішнього середовища, або режими роботи. Максимальні значення цих параметрів підвищуються до граничних величин, при яких ще зберігається нормальна робота ОК.

Перевагами методу є: отримання значного коефіцієнту прискорення ($KП = 10^4 \dots 10^6$); наявність кількісної оцінки ступеня кореляції між значеннями ДП та параметрами швидкості протікання фізико-хімічних процесів в ОК; наявність кількісної оцінки основних показників надійності конденсаторів (ресурс, час напрацювання на відмову, ESR і т.д.).

Недоліком цього методу випробувань є: ймовірність непередбаченої зміни параметрів та властивостей ОК; зменшення чисельності вибірки з часом випробувань в наслідок їх відмови під дією факторів які прискорюють процес старіння.

Другий метод, передбачає припинення випробувань до настання відмови. На основі методів індивідуального прогнозування тенденцій розвитку процесів старіння та зношування визначається час відмови $t_{від}$. Сутність методу полягає в ідентифікації параметрів тренда, що характеризує зміну поточного значення параметру $Y(t)$ у часі, з наступним прогнозуванням моменту часу $t_{від}$, що відповідає виходу параметру за межі припустимих значень $G_{пр}$.

Перевагами методу є можливість встановлення не тільки значення $t_{від}$, але і його довірчого інтервалу.

Основними недоліками методу є: апіорна невідомість виду трендів; труднощі визначення параметрів надійності; малі значення коефіцієнтів прискорення (у межах 2–3,5).

Третій метод випробувань полягає в спільному застосуванні першого та другого методів. Перевагами такого підходу є поєднання позитивних сторін попередніх методів.

Головним фактором змін основних параметрів конденсаторів є випаровування електроліту з часом. Це відбувається внаслідок не ідеальності (негерметичності) корпусу конденсатора та

внаслідок впливу високих температур протягом тривалого інтервалу часу.

Досягнення критичних значень протягом 2000 годин напрацювань при температурі 105 °С (рис 1) призводить до фактичного зношування конденсатора і виходу з ладу [8].

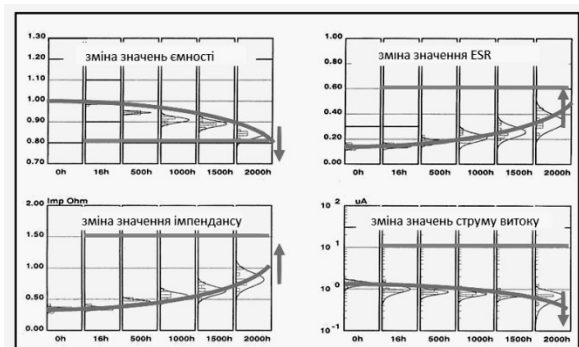


Рис. 1. Значення основних параметрів електролітичного конденсатора (час напрацюванні 2000 годин, T - 105°C).

Враховуючи, що найбільшу складність в завданні діагностування складає визначення технічного стану РЕК який працює під навантаженням в складі схеми ОК реєстрацію ДП доцільно здійснювати безконтактними методами, зокрема безконтактним індукційним методом [14]. При цьому параметром, який буде вказувати на справність ОК, буде виступати виміряне значення пульсації струму в ланцюгах вторинного джерела живлення.

Раніше, величину пульсації струму, який протікає через вихідний конденсатор, не вважали достатньо важливою. Причина полягає в тому, що це не мало суттєвого значення в лінійних стабілізаторах. Проте в сучасних імпульсних блоках живлення термін служби вихідного конденсатора обмежений несприятливими процесами, які виникають у випадку впливу пульсуючого струму. За своєю схемотехнікою в вихідних ланцюгах присутня складова обумовлена функціонуванням ШІМ контролера (частота комутації біля 16 КГц). На практиці виробники наводять допустимі значення коефіцієнта пульсації струму. Проте, під час функціонування ці значення можуть значно перевищувати нормовані показники. Завдання прогнозування полягає в тому, щоб встановити необхідний коефіцієнт при якому ці значення набувають критичних величин і свідчатимуть про вихід з ладу ОК найближчим часом.

На сьогодні доводиться користуватись емпіричним правилом, яке довело свою достовірність. Це правило засноване на логіці, та використовує наступні припущення: струм, що протікає в котушці індуктивності, має

пилкоподібну форму; лише цей струм створює пульсації, які впливають на вихідний конденсатор;

розмах цього пилкоподібного струму становить 20 відсотків від максимального постійного струму, який надходить в навантаження.

Ці припущення засновані на рекомендаціях з проектування та технічних завданнях. Як наслідок, струм пульсацій I_R у вихідному конденсаторі (його ефективне значення) можна визначити, скориставшись виразом:

$$I_R = 0,058 / I \quad (4)$$

Пульсації струму спричиняють нагрів конденсаторів, що призводить до зміни їх параметрів. Таким чином, значення величини пульсації струму можна використовувати як ДП при оцінці впливу на процеси, які протікають в конденсаторі.

Головним напрямком подальших наукових досліджень для вирішення проблеми надійності електролітичних конденсаторів у вторинних блоках живлення сучасного телекомунікаційного обладнання вважаємо пошуку більш хімічностійких сполук електролітів, матеріалів обкладинок та(або) в покращенні технології виготовлення корпусів електролітичних конденсаторів з використанням ущільнюючих компонентів. В напрямку діагностування та прогнозування перспективним напрямом слід вважати застосування безконтактного індукційного методу визначення фактичного технічного стану вторинних джерел живлення, що дасть змогу враховувати фізико-хімічні процеси в його РЕК та наслідки впливу зовнішніх факторів на них.

Висновки й перспективи подальших досліджень

У статті розглянуто основні фактори, які впливають на фізико-хімічний склад, та як наслідок, на термін експлуатації електролітичних конденсаторів у вторинних джерелах живлення сучасного телекомунікаційного обладнання. А саме: описані основні проблеми, що виникають в процесі термічного впливу та хімічної нестабільності електролітичних конденсаторів. Проаналізовано та здійснено порівняння методів діагностування заснованих на проведенні прискорених випробувань для отримання опорного тренду зміни значень діагностичних параметрів, для прогнозування ступеню старіння (зношування) ОК та визначення терміну його подальшого використання. Запропоновано подальші напрямки наукових досліджень в даній предметній області, що слід зосередити на вдосконаленні безконтактного індукційного методу, шляхом використанням додаткових діагностичних ознак, таких як пульсації струму.

Література

1. Артюх В.М. Современный этап разработки и строительства Единой автоматизированной системы управления Вооруженными Силами Украины / В. М. Артюх, В. К. Медведев // Оборонный вестник. – 2012. – № 1. – С. 15–24. – Режим доступу: http://defpol.org.ua/site/files/OV_1_2012_rus.pdf

2. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 20 травня 2016 року “Про Стратегічний оборонний бюлетень України” [Електронний ресурс]: указ [видано Президентом України 06 червня 2016 р. №240/2016]. 3. Сакович Л.М. Методика фізичного діагностування цифрових пристроїв об’єктів

радіоелектронної техніки / Л.М. Сакович, С.І. Глухов, О.С. Бабій, А.О.Гальоса // Системи озброєння і військова техніка, 2020, № 2(62). – С. 93-101. URL: <https://journal-hnups.com.ua/index.php/soivt/article/download/337/271/>

4. Глухов С.І. Методика діагностування цифрових пристроїв радіоелектронної техніки на основі методів фізичного діагностування та результатів прискорених випробувань // Збірник наукових праць військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка – К.: ВІКНУ 2019. – С. 12-18.
5. Погребняк С.В. Аналіз основних несправностей новітнього радіоелектронного озброєння / С.В.Погребняк // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції НАСВ Львів. 2020. – С.164.
6. Погребняк С.В. Проблематика діагностування новітніх систем телекомунікаційного обладнання/ С.В. Погребняк // Збірник тез доповідей науково-практичної конференції Військового інституту телекомунікацій та інформатизації 2020. С.- 107.
7. Parler S.G. Thermal Modeling of Aluminum Electrolytic Capacitors // IEEE Industry Applications Society Conference.1999.
8. Mirsky G. Determining end-of-life, ESR, and lifetime calculations for electrolytic capacitors at higher temperatures. // EDN. 2008. August.
9. Parler S. G. Deriving Life Multipliers for Aluminum Electrolytic Capacitors // IEEE Power Electronics Society Newsletter. 2004. Vol. 16, № 1.
10. Вишнівський В.В. Аналіз методів форсованих випробувань для отримання залежності зміни діагностичного параметра від часу напрацювання напівпровідникових РЕК. / В.В.Вишнівський, В.В.Кузавков, В.В. Василенко. // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2015. – №1. –

С.18 – 20.
11. Кузавков В.В. Шляхи вдосконалення системи технічного обслуговування. / В.В. Кузавков, Г.І. Гайдур, Л.Т. Коваль // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2014. – №4. – С. 86 – 92.
12. Жердев М.К. Аналіз стану системи відновлення технічних засобів радіоелектронного озброєння в зоні АТО. / М.К. Жердев, В.В. Кузавков, Є.В. Редзюк, К.О. Єфанова // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – 2017. – №2. – С. 35 – 40.
13. Креденцер Б.П. Методика оцінки ефективності застосування автономного автоматизованого пристрою діагностування параметрів в системі військового ремонту. / Б.П. Креденцер, М.К. Жердев, В.В. Кузавков // Збірник наукових праць Військового інституту телекомунікацій та інформатизації. – 2016. – №1. – С. 81 – 86.
14. Вишнівський В.В. Безконтактний індукційний метод діагностування радіоелектронних блоків. / В.В. Вишнівський, М.К. Жердев, Б.П. Креденцер, В.В. Кузавков, Є.В. Редзюк // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2013. – №43. – С. 17 – 23.
15. Кузавков В.В. Застосування методу валного випромінювання для технічної діагностики радіоелектронних блоків. / В.В. Кузавков, О.Г. Янковський // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2014. – №2. – С. 58 – 62.
16. Кузавков В.В. Застосування методів форсованих випробувань для отримання залежності діагностичного параметра від часу напрацювання цифрових радіоелектронних компонентів. / Василь Кузавков, Євген Редзюк // Збірник НТУУ “КПІ”. – 2014. – С. 76 – 84.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СОСТАВНЫХ ВТОРИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ПО ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ В ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКИХ КОНДЕНСАТОРАХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

*Анатолий Иванович Миночкин (доктор технических наук, профессор)
 Василий Викторович Кузавков (доктор технических наук, доцент)
 Сергей Васильевич Погребняк*

Военный институт телекоммуникации и информатизаций имени Героев Крут, Киев, Украина

Условия и перспективы развития ВС Украины требуют повышения надежности телекоммуникационного оборудования, как составляющей системы управления. Состояние и условия существования собственного военно-промышленного комплекса, не позволяют в полной мере обеспечить войска достаточным количеством новых образцов современного телекоммуникационного оборудования. Одним из способов решения поставленной задачи является продление срока эксплуатации имеющегося телекоммуникационного оборудования. Это возможно реализовать путем осуществления качественного, своевременного и полного технического обслуживания. Таким образом, важной задачей существующей системы технического обслуживания и ремонта становится поиск новых и совершенствование существующих методов определения технического состояния телекоммуникационного оборудования, повышение достоверности прогноза его работоспособности.

Исходя из сказанного, в данной статье проанализированы и обобщены основные проблемные вопросы, касающиеся системы диагностирования телекоммуникационного оборудования. Рассмотрены особенности эксплуатации вторичных источников питания современного телекоммуникационного оборудования двойного назначения. Описана специфика использования электролитических конденсаторов во вторичных источниках питания современного телекоммуникационного оборудования двойного назначения. Проведенный сравнительный анализ существующих в настоящее время способов диагностирования. Предложено альтернативную возможность определения фактического технического состояния указанных элементов (без исключения из схемы) в реальном времени бесконтактным индукционным методом, опираясь на исследованные физико-химические процессы в них.

Ключевые слова: телекоммуникационное оборудование, вторичные источники питания, электролитические конденсаторы, физико-химические процессы, бесконтактный индукционный метод.

DETERMINATION OF TECHNICAL CONDITION OF COMPONENTS OF SECONDARY POWER SUPPLIES BY PHYSICOCHEMICAL PROCESSES IN ELECTROLYTIC CAPACITORS DURING OPERATION

Anatolii Minochkin (Doctor of technical sciences, professor)
Vasyl Kuzavkov (Doctor of technical sciences, associate professor)
Serhii Pohrebniak

Military Institute of Telecommunications and Informatization named after the Heroes of Krut

The conditions modernity and prospects for the development of the Ukraine Forces requires increasing the reliability of telecommunications equipment as a component of the control system. The state and conditions of existence of own military-industrial complex do not allow to fully provide the troops with a sufficient number of new samples of modern telecommunications equipment. One of the solutions to this problem is to extend the service life of existing telecommunications equipment. This can be achieved by providing high-quality, timely and complete maintenance. Thus, an important task of the existing system of maintenance and repair becomes the search for new and improving existing methods for determining the technical condition of telecommunications equipment, increasing the reliability of the forecast of its efficiency.

Based on the above, this article analyzes and summarizes the main problematic issues related to the system of diagnostics of telecommunications equipment. The features of operation of secondary power sources of modern dual-purpose telecommunications equipment are considered. The specifics of the use of electrolytic capacitors in secondary power sources of modern dual-purpose telecommunications equipment are described. The comparative analysis of the currently existing methods of diagnosis was done. An alternative possibility of determining the actual technical condition of these elements (without withdrawal from the scheme) in real time by a non-contact induction method, based on the studied physico-chemical processes in them, is proposed.

Key words: *telecommunications equipment, secondary power sources, electrolytic capacitors, physico-chemical process, non-contact induction method.*

References

1. **Artyukh V.M.** Sovremennyy etap razrabotky y stroitel'stva Edynoy avtomatyzirovannoy systemy upravleniya Vooruzhennymy Sylamy Ukrainy / V. M. Artyukh, V. K. Medvedev // *Oboronnyy vestnyk*. – 2012. – № 1. – S. 15–24. – Rezhym dostupu: http://defpol.org.ua/site/files/OV_1_2012_rus.pdf
2. Pro rishennya Rady natsional'noyi bezpeky i oborony Ukrainy vid 20 travnya 2016 roku "Pro Stratehichnyy oboronnyy byuletyn' Ukrainy" [Elektronnyy resurs]: ukaz [vydano Prezydentom Ukrainy 06 chervnya 2016 r. №240/2016]. Rezhym dostupu: <http://www.president.gov.ua/documents/2402016-20137>.
3. **Sakovych L.M.** Metodyka fizychnoho diahnostuvannya tsyfrovyykh prystroyiv ob'ektiv radioelektronnoyi tekhniki / L.M. Sakovych, S.I. Hlukhov, O.S. Babiy, A.O. Hal'osa // *Systemy ozbroynennya i viys'kova tekhnika*, 2020, № 2(62). – S. 93-101.
4. **Hlukhov S.I.** Metodyka diahnostuvannya tsyfrovyykh prystroyiv radioelektronnoyi tekhniki na osnovi metodiv fizychnoho diahnostuvannya ta rezul'tativ pryskorennykh vyprobuvan' // *Zbirnyk naukovykh prats' viys'kovoho instytutu Kyyiv's'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka* – K.: VIKNU 2019. – S. 12-18.
5. **Pohrebnyak S.V.** Analiz osnovnykh nespravnostey novitn'oho radioelektronnoho ozbroynennya / S.V. Pohrebnyak // *Zbirnyk tez dopovidey nauko-praktychnoyi konferentsiyi NASV L'viv*. 2020. – S.164.
6. **Pohrebnyak S.V.** Problematyka diahnostuvannya novitnikh system telekomunikatsiy noho obladnannya/ S.V. Pohrebnyak // *Zbirnyk tez dopovidey nauko-praktychnoyi konferentsiyi Viys'kovoho instytutu telekomunikatsiy ta informatyzatsiyi* 2020. S.- 107.
7. **Parler S.G.** Thermal Modeling of Aluminum Electrolytic Capacitors // *IEEE Industry Applications Society Conference*. 1999.
8. **Mirsky G.** Determining end-of-life, ESR, and lifetime calculations for electrolytic capacitors at higher temperatures. // *EDN*, 2008. August.
9. **Parler S. G.** Deriving Life Multipliers for Aluminum Electrolytic Capacitors // *IEEE Power Electronics Society Newsletter*. 2004. Vol. 16, № 1.
10. **Vyshniv's'kyi V.V.** Analiz metodiv forsovanykh vyprobuvan' dlya otrymannya zalezhnosti zminy diahnostychnoho parametra vid chasu napratsyuvannya napivprovodnykovykh REK. / V.V. Vyshniv's'kyi, V.V. Kuzavkov, V.V. Vasylenko. // *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku*. – 2015. – №1. – S.18 – 20.
11. **Kuzavkov V.V.** Shlyakhy vdoskonalennya systemy tekhnichnoho obsluhovuvannya. / V.V. Kuzavkov, H.I. Haydur, L.T. Koval' // *Systemy upravlinnya, navihatsiyi ta zv'yazku*. – 2014. – №4. – S. 86 – 92.
12. **Zherdyev M.K.** Analiz stanu systemy vidnovlennya tekhnichnykh zasobiv radioelektronnoho ozbroynennya v zoni ATO. / M.K. Zherdyev, V.V. Kuzavkov, YE.V. Redzyuk, K.O. Yefanova // *Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu telekomunikatsiy ta informatyzatsiyi*. – 2017. – №2. – S. 35 – 40.
13. **Kredentser B.P.** Metodyka otsinky efektyvnosti zastosuvannya avtonomnoho avtomatyzovanoho prystroyu diahnostuvannya parametriv v systemi viys'kovoho remontu. / B.P. Kredentser, M.K. Zherdyev, V.V. Kuzavkov // *Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu telekomunikatsiy ta informatyzatsiyi*. – 2016. – №1. – S. 81 – 86.
14. **Vyshniv's'kyi V.V.** Bezkontaktnyy induktsiynyy metod diahnostuvannya radioelektronnykh blokiv. / V.V. Vyshniv's'kyi, M.K. Zherdyev, B.P. Kredentser, V.V. Kuzavkov, YE.V. Redzyuk // *Zbirnyk naukovykh prats' Viys'kovoho instytutu Kyyiv's'koho natsional'noho universytetu imeni Tarasa Shevchenka*. – 2013. – №43. – S. 17 – 23.
15. **Kuzavkov V.V.** Zastosuvannya metodu valsnoho vyprominyuvannya dlya tekhnichnoyi diahnostyky radioelektronnykh blokiv. / V.V. Kuzavkov, O.H. Yankov's'kyi // *Zbirnyk naukovykh prats' Odes'koyi derzhavnoyi akademiyi tekhnichnoho rehulyuvannya ta yakosti*. – 2014. – №2. – S. 58 – 62.
16. **Kuzavkov V.V.** Zastosuvannya metodiv forsovanykh vyprobuvan' dlya otrymannya zalezhnosti diahnostychnoho parametra vid chasu napratsyuvannya tsyfrovyykh radioelektronnykh komponentiv. / Vasyl' Kuzavkov, Yevhen Redzyuk // *Zbirnyk NTUU "KPI"*. – 2014. – S. 76 – 84.