

*К. т. н. Ю. М. ЛАВРИЧ, М. І. БИСТРОВ, д. ф.-м. н. С. В. ПЛАКСІН,
Л. М. ПОГОРІЛА, Ю. В. ШКІЛЬ*

Україна, м. Дніпро, Інститут транспортних систем і технологій НАН України
E-mail: jurynlav@gmail.com

ВІДНОВЛЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ ПРИБОРІВ ШЛЯХОМ РЕІНЖІНІРИНГУ

Проаналізовано проблеми підтримки працездатності експлуатованих зразків радіоелектронної апаратури, які виробили свій технічний ресурс і для яких припинено виготовлення елементної бази. Обґрунтовано підхід до продовження життєвого циклу технічних виробів шляхом відновлення цільових функцій модулів та комірок, використовуючи технології реінжинірингу. Можливості реінжинірингу демонструються на прикладі функціональної системи контролю 4ПК, що входить до складу апаратури РЛС 5Н86 (“Нен House”), яка перебуває в експлуатації з 1975 р.

Ключові слова: реінжиніринг, ресурс, модуль, комірка, елементна база.

Вітчизняна радіоелектронна апаратура (РЕА), яка перебуває в експлуатації з минулого століття, в більшості своїй практично вичерпала встановлений технічний ресурс. В розвинених країнах світу оптимальним вважається співвідношення між новою, сучасною та застарілою апаратурою 25/50/25%, в той час як для України це 0,5/1,5/98% [1]. Але проблема експлуатації багатьох зразків техніки, що містять РЕА з морально застарілою елементною базою, характерна не лише для України, але й для низки провідних країн світу. Чим далі відкладається модернізація та продовжується використання техніки за межами встановленого ресурсу, тим більше втрачається її функціональність і зростають експлуатаційні витрати. Досвід експлуатації РЕА вказує на усталену тенденцію випередження морального старіння використаної елементної бази (ЕБ) відносно морального старіння зразків. На сьогодні для нашої країни ця проблема стоїть вкрай гостро, оскільки жодна сучасна складна система озброєння та військової техніки (ОВТ) не може існувати без електроніки, а життєвий цикл ОВТ є тривалим (30—50 років). За цей час відбувається безнадійне старіння застосованої ЕБ і функціональна деградація електронних систем щодо тих рівнів можливостей, які будуть необхідні через 15—20 років, у разі неспроможності систем еволюціонувати та розвиватися у процесі своєї експлуатації. Життєвий цикл експлуатації багатьох вітчизняних зразків РЕА також значно перевищує період випуску та реалізації ЕБ. Це означає, що апаратура продовжує експлуатуватися, але більша частина її електронних компонентів вже знята з виробництва, їх немає в запасному комплекті елементів та приладдя, і це ставить під сумнів можливість виконання покладених на техніку завдань належним чином.

Одним зі шляхів підтримки технічного стану РЕА є модернізація та ремонт. Проте, ремонт застарілих систем означає збереження застарілого та ненадійного обладнання, він не здатний гарантувати працездатність відремонтованої техніки, оскільки ресурс тих елементів, що не замінюються, давно витрачений. Крім того, у [2] показано, що залишковий ресурс напівпровідникового елемента при введенні його в експлуатацію після зберігання протягом 20 років при плюсовій середньорічній температурі та відсутності електричного навантаження становить близько 80% від початкового середнього напруження до відмови, тобто ресурс такого елемента зменшився на 20%. Очевидно, що такого ж порядку зниження ресурсу слід очікувати і від електронного пристрою, побудованого на цих елементах [3].

У зв'язку зі сказаним, очевидно, що для багатьох країн стоїть проблема вибору: модернізувати стару техніку чи замінювати її на нову. З цим зіткнулися такі країни — “донори технологій”, як США, Німеччина, Франція, Великобританія, і їхні розробники техніки вже перейшли до стратегії вдосконалення своїх напрацювань, тобто до модернізації старої техніки. В сучасних умовах життєвий цикл техніки починає зростати, і на прикладі ОВТ можна бачити, що майже всі види озброєнь на ринку — це вдосконалені розробки дуже далеких часів. Вічна конструкторська суперечка — хто краще зробить, змістилася у площину — хто краще модернізує. Треба сказати, що цей напрямок приваблює дедалі більшу кількість розробників у багатьох країнах завдяки однозначному отриманню більш високих функціональних характеристик при використанні як нових, так і вже наявних апаратних засобів. Адекватність сучасним вимогам певною мірою може бути досягнута шляхом

модернізації, метою якої апріорі є не тільки вдосконалення наявних характеристик, а й створення необхідних нових.

Сучасним завданням відновлення РЕА поряд з відтворенням її функцій на колишньому рівні є створення потенційних можливостей, які не будуть використані одразу після відновлення, але стануть науково-технічним заділом, розрахованим на розвиток. З цієї точки зору актуальним є вивчення наявних технічних рішень з урахуванням їх подальшого використання за допомогою реінжинірингу.

В цій роботі описується приклад використання технології реінжинірингу для продовження життєвого циклу РЕА, що виробила свій технічний ресурс і для якої припинено виготовлення елементної бази. Об'єктом модернізації була функціональна система контролю 4ПК, що входить до складу апаратури РЛС 5Н86 (“Нен House”), яка перебуває в експлуатації з 1975 р. Система контролю 4ПК має 4-рівневу конструктивно-ієрархічну схему (шафа, блок, комірка, модуль), перший і другий рівень схеми представлені у вигляді модуля типу 2ТМ і комірки 2ТЯ, які мають властивість конструктивно-схемної функціональної закінченості. У складі РЛС комірка 2ТЯ є основним конструкторським елементом масового застосування (приблизно 80%), тому відповідно до критеріїв вибору саме вона була об'єктом реінжинірингу.

Застосування технології реінжинірингу до РЕА, що виробила свій технічний ресурс

Наразі українські вчені займаються питанням реінжинірингу, але переважна більшість досліджень стосується бізнес-процесів, зрідка зустрічаються роботи в області логістики, програмного забезпечення, електроенергетичних систем, наприклад [4—6], тоді як стосовно РЕА такого роду публікацій практично немає. Тому спочатку зупинимось на деяких аспектах застосування технології реінжинірингу для відновлення РЕА з витраченим технічним ресурсом, що може стати одним з основних механізмів продовження і відновлення працездатності апаратури в існуючих умовах.

Реінжиніринг — це комплекс досліджень, які проводяться з метою отримання всієї необхідної технічної інформації про технічний об'єкт: принципи роботи, конструктивні особливості, взаємозв'язки між конструктивними елементами, способи виробництва і технології, рівень надійності пристроїв в цілому і їхніх складових тощо. Будь-який об'єкт техніки, створений людиною, може бути вивчений іншою людиною щодо розкриття її “секретів”. Глибина опрацювання визначається завданнями дослідження, особливостями об'єкта дослідження, а також обмеженнями, пов'язаними з ресурсними можливостями дослідника (фінансовими, методичними, апаратно-дослідницькими та ін.).

Існує думка, що реінжиніринг використовується виключно для вивчення нових зразків техніки з метою створення її аналогів, тобто, по суті, для копіювання. Але насправді основна мета реінжинірингу — це створення інноваційних технічних рішень з використанням вже отриманих кимось раніше даних для власних науково-дослідних та дослідно-конструкторських розробок.

У випадку модернізації РЕА дослідження мають стосуватися цілого спектру технічних питань — при вивченні об'єкта техніки, що належить до електронних пристроїв, досліднику, як мінімум, доведеться виявити всі конструктивні елементи, встановити зв'язок між ними, відновити принципову схему роботи пристрою. Зрозуміло, що в умовах швидкого розвитку нових технологій закласти в нинішні технічні вимоги до систем РЕА показники, які будуть необхідні через двадцять років, навряд чи можливо. Перед тим як зробити остаточний вибір як самого об'єкта модифікації, так і його майбутнього номенклатурного, функціонального, кількісного та якісного складу, необхідно виконати техніко-економічний та технологічний аудит потенційного об'єкта реінжинірингу, запланованого для переведення на нову елементну базу, та стану мікроелектронної галузі країни, що дозволить сформулювати проблеми та завдання і намітити концепцію досягнення поставленої мети. Таким чином, застосування реінжинірингу потребує фундаментального переосмислення та перепроєктування існуючих конструктивно-схемних основ побудови об'єкта реінжинірингу для забезпечення його відновлення та поліпшення. Це необхідний та обов'язковий етап створення інструменту для забезпечення перерахованих умов реінжинірингу. Виконання його вимагає насамперед написання декларації намірів зміни, при цьому діапазон зміни, який визначають спільно розробник та замовник, може охоплювати або об'єкт реінжинірингу повністю, або окремі рівні його конструктивно-ієрархічної побудови аж до окремого зразка на певному рівні. Підсумком спільної роботи має стати розробка технічного завдання (ТЗ) на об'єкт реінжинірингу. Стосовно існуючої РЕА доцільно визначити номенклатуру початкових і подальших робіт з модернізації РЕА в цілому з урахуванням матеріальних можливостей сучасного періоду, а також терміни кожного етапу реінжинірингу.

Конструктивно-ієрархічна схема більшості РЕА є багаторівневою. Але при цьому в більшості РЕА використовується принцип модульності як сукупності принципів проєктування та конструювання, для якого характерна одна загальна вимога — електричні схеми та конструкції (модуль, комірка, блок тощо) апаратури мають бути функціонально закінченими на відповідних рівнях. Вибір конструктивного рівня існуючої РЕА як об'єкта реінжинірингу здійснюють виходячи з того, наскільки затребуваним є цей рівень, наскільки

ки витрачений його ресурс, якими є обсяги формування цільових функцій, наскільки цей рівень є ремонтопридатним.

Проведений аудит конструктивного виконання РЕА показав, що в умовах обмежених матеріальних можливостей доцільно зберегти базові несучі конструкції (**БНК**) обраних рівнів, попри те, що сучасна елементна база має значно менші конструктивні розміри. Використання наявної БНК дозволяє зменшити собівартість переведення комірки на нову елементну базу приблизно на 30%, оскільки частка БНК в оптовій ціні становить близько 40%. Збереження БНК усіх рівнів, зокрема модуля та комірки, дозволить не тільки знизити матеріальні витрати, але й зменшити час переведення на нову елементну базу, забезпечити повну конструктивну ідентичність та взаємозамінність всіх рівнів РЕА. Основними елементами БНК комірки 2ТЯ є друкована плата, на якій розміщуються модулі типу 2ТМ та з'єднувач типу РП14-30. З'єднувач є частиною друкованої плати комірки, і його збереження забезпечує швидку заміну комірки у складі блока. Проведений реінжиніринг показав, що з урахуванням вартісного фактора доцільно зберегти лицьову панель та з'єднувач комірки при переведенні комірки на нову елементну базу.

Нова схемотехнічна побудова обраних об'єктів реінжинірингу може бути забезпечена лише переходом на сучасну елементну базу. Для цього потрібен не тільки вибір електронних компонентів, а й дослідження схемотехнічних рішень функціональних вузлів на логічному та електричному рівнях, їх моделювання та подальше перепроєктування модулів і комірок як елементів першого та другого конструктивного рівня РЛС. Тут слід зауважити, що у перших поколіннях вітчизняної РЕА дозволялося застосування лише власної елементної бази, і це вносить свої складності.

Однією з перспективних технологій виготовлення елементної бази є системи на кристалах (System-on-a-Chip, SoC). Безумовно, сучасний рівень напівпровідникової технології дозволяє створювати якісно нову елементну базу, зокрема п'ятого покоління, що передбачає інтеграцію великої кількості мікросхем і дискретних елементів в один кристал. Але, на жаль, попри всю перспективність технології SoC, в Україні вони не освоєні. З огляду на наявний технологічний уклад економіки країни, застосування технології SoC є доцільним лише в умовах повноцінного проєктування нового покоління перспективної РЕА і не може бути застосовано при відновленні працездатності існуючих зразків.

Важливим критерієм вибору ЕБ є тривалість життєвого циклу компонентів та їхня здатність до еволюціонування та функціонування протягом всього життєвого циклу РЕА. Вибір елементної бази є актуальним завданням та предметом наукових досліджень, під час яких мають бути розроблені концептуальні основи.

Результати реінжинірингу

Секретом досягнення успіху у технології реінжинірингу є спосіб організації процесів з використанням власного науково-технічного заділу за умови дотримання принципів, закладених ідеологами реінжинірингу — швидше, краще та дешевше [7].

В нашому випадку реінжиніринг необхідний як при виборі елементної бази, так і при пошуку схемотехнічних рішень функціональних вузлів на логічному та електричному рівнях, їх моделюванні та подальшому перепроєктуванні апаратури на рівні модулів як елементів першого конструктивного рівня та комірок як елементів другого конструктивного рівня. При аналізі електричних схем обраної номенклатури реінжинірингу комірок 2ТЯ блоку 4ПК-14 (що містять 8—12 різних модулів типу 2ТМ) встановлено, що основними функціональними вузлами є схеми збігу, перетворювачі рівнів, тригери, лічильники, регістри, суматори, повторювачі, інвертори тощо. Для встановлення принципів роботи наявних комірок та модулів проведено їх моделювання з використанням програмних інструментів на базі програмних засобів MATLAB Simulink версія R2020A, Tina-Ti (Texas Instruments), Electronics Workbench, Micro Cap. Вхідними даними для моделювання є вхідні та вихідні сигнали наявних модулів згідно з електричною принциповою схемою.

Проведений реінжиніринг наявних комірок та модулів показав, що реалізація функцій забезпечується напівпровідниковою ЕБ на основі германієвої технології. Схемотехнічні рішення функціональних вузлів на логічних рівнях ґрунтуються на використанні негативної діодно-транзисторної логіки. Схемотехнічні рішення цифрових функціональних вузлів представлені дискретними елементами. В основу покладено негативну логіку при від'ємній напрузі живлення.

Проведене моделювання всіх типів модулів дозволило отримати дані для їх перепроєктування на новій елементній базі. Вихідним продуктом реінжинірингу стає модель (**рис. 1**), яка дозволяє провести дослідження модулів комірки, принципів роботи, ступеня відповідності закладеним функціям і способів реалізації. Кожна отримана модель модуля перевіряється на правильність функціонування на наявній ЕБ з використанням таблиць істинності в логічних рівнях, рівнях напруги та часових діаграмах, отриманих в ході моделювання.

Для перевірки можливості збереження принципів роботи комірок та модулів на новій ЕБ також проведено їх моделювання з використанням інструментів симуляції програмних засобів Tina-Ti (Texas Instruments), Electronics Workbench, MicroCap та результатів моделювання наявних модулів. Проведений реінжиніринг модулів 2ТМ дозволив визначити проблему, пов'язану з вибором нової ЕБ — необхідність пошуку способу узгодження різних рівнів при перехо-

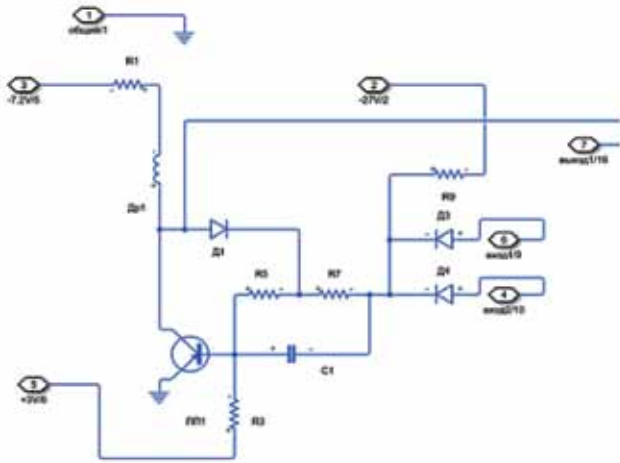


Рис. 1. Модель схеми одного каналу двоканальної схеми збігу модуля 2ТМ-50

ді на нову ЕБ. Цей момент є дуже важливим, оскільки решта частина РЛС залишається лише з негативною логікою, а переважна більшість елементів сучасної ЕБ спроектована на позитивній логіці та додатній напрузі живлення. У модулях і комірках, що підлягають переведенню на нову ЕБ, допускається використання лише від'ємної напруги, щоб не порушати архітектуру енергоживлення діючої РЛС. В апаратурі, що підлягає відновленню, для логічного рівня нуля прийнято напругу 0 В, а для логічної одиниці — мінус 7,2 В. Сучасні серії інтегральних мікросхем у переважній більшості спроектовані та працюють у логічному узгодженні позитивної логіки та додатної напруги живлення.

При переході до інверсного живлення мікросхем, що виконують операцію 2АБО в позитивній логіці при додатному живленні, одержуємо операцію 2І в негативній логіці при від'ємному живленні (базові елементи 2АБО-НІ та 2І-НІ). Це забезпечує адекватний перехід за функціональним призначенням від дискретної схемотехніки до схемотехніки на інтегральних мікросхемах з усіма позитивними наслідками (підвищення надійності, збільшення запасу по швидкодії, узгодження за рівнями сигналів, споживаної потужності, масогабаритних показників тощо). Тому для РЛС забезпечення узгодження обраних об'єктів реінжинірингу (2ТЯ, 2ТМ), переведених на нову ЕБ, з модернізованими об'єктами однозначно характеризує саму можливість розробки нового конструктивно-схемного аналога для заміни існуючого. Нова ЕБ обиралася з урахуванням наявних власних технологій виготовлення, а з доступної сьогодні номенклатури закордонних аналогів серій мікросхем, із врахуванням стану РЛС та фінансових можливостей, були застосовані серії 4000 і 7400. Ця елементна база дозволила провести моделювання модулів комірки. Так, наприклад, модуль 2ТМ-50 на новій ЕБ складається з чотирьох ідентичних схем в ін-

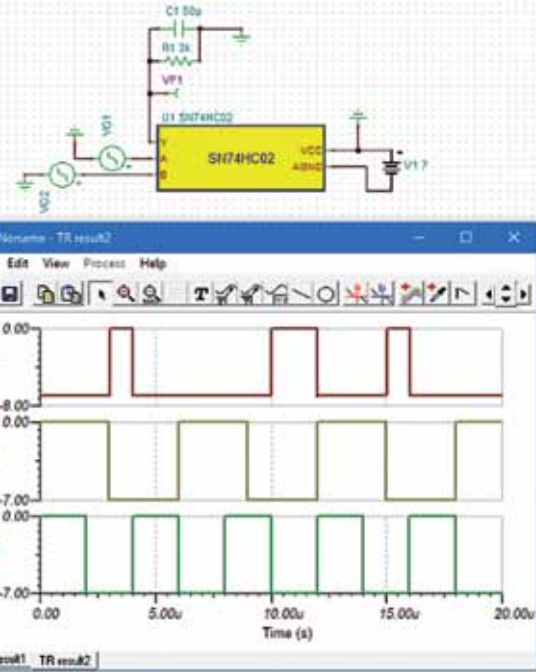


Рис. 2. Модель каналу схеми збігу модуля 2ТМ-50

тегральному виконанні, розміщених в одному корпусі DIP14, що виконують операцію 2АБО-НІ в негативній логіці та при інверсній напрузі живлення (мікросхема серії SN74HC02, виробник Texas Instruments).

Моделювання здійснено у системі TINA. Для побудови комірок та модулів використано комерційний варіант елемента: температурний діапазон роботи від 0 до +70°C; вага 0,25 г; напруга живлення 5 В, максимальний вихідний струм 5 мА, логічний рівень нуля 0—0,4 В, логічний рівень одиниці 2,4—5,0 В. Одна мікросхема функціонально замінює два модулі. Енергоспоживання нового модуля значно менше ніж існуючого, що суттєво позначиться на надійності модуля. Результати моделювання одного із чотирьох каналів схеми збігу, що формуються застосованою новою ЕБ, його входні (VG1 та VG2) та вихідні (VF1) сигнали наведено на **рис. 2**.

Отримані за результатами моделювання таблиці істинності в логічних рівнях, в рівнях напруги та часові діаграми в обох випадках порівнюються для оцінки відповідності розроблених моделей. Схемотехнічна побудова нового модуля радикально відрізняється від старої — новий модуль можна виконати набагато простіше, при цьому його габаритні розміри будуть суттєво меншими, тому розміщення нового модуля у збереженій БНК комірки спрощує забезпечення тепловідводу і не потребує зміни характеристик систем забезпечення температурного режиму.

У ході реінжинірингу, керуючись вимогою повної замінюваності комірки та модуля, крім відтворення закладених функцій необхідно розв'язати питання конструктивної ідентичності друкованих плат як несучих конструкцій для модулів та комі-

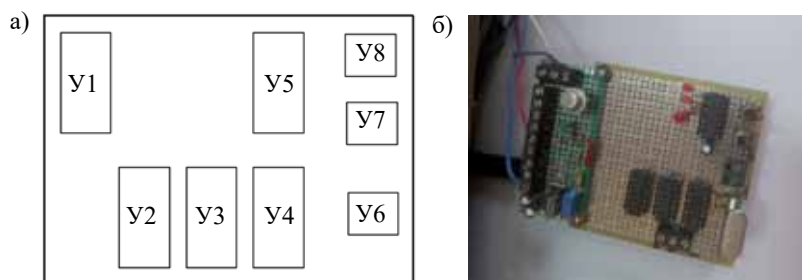


Рис. 3. Схема розташування пристроїв на старій та на новій ЕБ на друкованих платах (а) та їх загальний вигляд (б):

У1 — канал схеми збігу модуля 2ТМ-50 на старій ЕБ; У2, У3 — канали схеми збігу модуля 2ТМ-50 на новій ЕБ; У4, У5 — стенд перевірки модуля та комірки; У6 — кварцовий генератор (1000 кГц); У7, У8 — тумблери перемикання видів логік

рок. Особливістю обох видів плат усієї номенклатури комірок 2ТЯ та модулів 2ТМ є одностороннє виконання. Але для монтажу нової ЕБ друкована плата модуля 2ТМ не може бути збережена в наявному вигляді, і потрібна розробка нової плати з обов'язковим збереженням існуючих розмірів (108×50 мм). Для комірки 2ТЯ плату можна залишити в старому вигляді, оскільки на ній встановлюються тільки модулі 2ТМ, інших елементів немає. При цьому з огляду на перспективи використання отриманих результатів реінжинірингу доцільно розробити нову об'єднувальну плату комірки 2ТЯ за умови збереження існуючих типорозмірів (285×128×61 мм). Крім того, у процесі моделювання комірок на новій елементній базі розробляється повний комплект конструкторської документації, що дозволяє виготовляти нові вироби на новій ЕБ.

Порівняльні випробування результатів моделювання проводилися на розроблених макетних зразках модуля збігу на новій ЕБ і модуля з аналогічними функціями, що існує на об'єкті експлуатації (рис. 3). Проведені випробування підтвердили правильність вибору способу переходу логік і можливість його застосування для переведення інших систем РЛС на нову ЕБ.

На рис. 3, а наведено структурну схему взаємного розташування пристроїв на друкованій платі. Як видно, крім одного каналу схеми збігу модуля 2ТМ-50 (У1) на старій ЕБ, тут розміщено вісім каналів схеми збігу модуля 2ТМ-50 (У2, У3) на новій ЕБ (по 4 канали на мікросхемах SN 7400 та CD 4000). На цій же платі встановлено стенд перевірки модуля та комірки (У4, У5), елементами якого є також кварцовий генератор (У6), тумблери перемикання видів логік (У7, У8), індикатори функціонування. Результати випробувань схем зі спільним використанням двох типів мікросхем підтвердили повну відповідність технічному завданню.

Комірка 2ТЯ-81 складається з п'яти модулів 2ТМ-50, кожен з яких містить дві схеми збігу. Повний набір функцій комірки забезпечується десятьма схемами збігу і може бути реалізований на трьох мікросхемах типу SN7400, CD4000, при цьому збережені конструктивні розміри плати дозволяють встановити потрібне число мікросхем для реалізації повного набору функцій всією коміркою.

Для реалізації функцій комірки 2ТЯ-510 використовується вісім модулів 2ТМ-50, що містять по дві схеми збігу 2І-НІ в негативній логіці при від'ємному живленні, тобто 16 схем збігу. В комірці 2ТЯ-510, переведеній на нову ЕБ, на тій же платі встановлюється всього один модуль з чотирма мікросхемами типу CD4000, SN7400, при тому що число схем збігу у новій комірці теж дорівнює шістнадцяти.

Функції комірок забезпечуються тепер меншою кількістю елементів. Так, в старому варіанті комірки 2ТЯ-81 використовувалося 10 транзисторів, 30 діодів, 50 резисторів і 10 конденсаторів, тоді як на новій ЕБ — всього 3 мікросхеми. Аналогічно, для реалізації функцій комірки 2ТЯ-510 раніше було задіяно 16 транзисторів, 48 діодів, 96 резисторів і 16 конденсаторів, тепер — 4 мікросхеми. Для реалізації функцій цих двох комірок використовувалося 26 схем збігу, а на новій ЕБ забезпечується 7 мікросхемами.

Висновки

Таким чином, в результаті проведених досліджень доведено, що реінжиніринг РЕА з витраченим технічним ресурсом є ефективним механізмом відновлення її працездатності та продовження життєвого циклу.

Розроблена в ході реінжинірингу технологія відновлення працездатності РЕА шляхом переведення на нову елементну базу має великий потенціал подальшої модернізації й більш високих конструктивно-ієрархічних рівнів функціонально закінченої апаратури. При цьому при переведенні на нову елементну базу можна забезпечити цільові функції високих конструктивних рівнів побудови більш низькими (принаймні на один рівень). Так, відносно проаналізованих комірок попередньо встановлена можливість реалізації функцій блоку коміркою, а комірки — модулем.

Результати моделювання низки комірок 2ТЯ показали можливість побудови універсальної комірки з використанням у її складі нової елементної бази замість великої номенклатури компонентів попереднього виконання. Використання такого підходу при проектуванні нових комірок дозволяє створити універсальну типову комірку заміни. Надлишкові апаратні та програмні ресурси реконфігурації в кожній конкретній реалізації можуть бути використані як для реалізації необхідних функцій комірки, так і для самодіагностики.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Климченко В. Й., Белавін О. В. Обґрунтування раціонального співвідношення обсягів капітального ремонту, модернізації і закупівлі та розробок ОВТ РТВ на середньострокову та довгострокову перспективи. *Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил*, 2013, вип. 3(36), с. 35–41.
2. Федухин А. В. Прогнозирование надежности электронных устройств после длительного хранения. *Математичні машини і системи*, 2004, № 4. с. 164–170.
3. Лаврич Ю. Н. Исследование влияния длительного хранения на характеристики солнечных батарей. *Труды II МНПК "Полупроводниковые материалы, информационные технологии и фотовольтаика"*, Кременчук, Україна, 2013, с. 79–80.
4. Безкоровайний В. В., Судік А. О. Оптимізація топологічних структур централізованих логістичних мереж у процесі реінжинірингу. *Сучасний стан наукових досліджень та технологій*

в промисловості, 2121, № 1(15), с. 23–31. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.023> (Eng)

5. Великодний С.С., Зайцева-Великодна С.С., Бурлаченко Ж.В. Програмне забезпечення для автоматизованого проектування мережевої графіки програмного забезпечення систем реінжинірингу. *Вісник передових інформаційних технологій*, 2019, т. 2, № 2, с. 95–107. <https://doi.org/10.15276/hait.02.2019.2> (Eng)

6. Нечипоренко А. С., Губаренко Є. В., Губаренко М. С. Реінжиніринг топологічної структури регіональних електроенергетичних систем. *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*, 2022, № 2(102), с. 49–62. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.04> (Eng)

7. Хаммер М., Хершман Л. *Быстрее, лучше, дешевле: 9 методов реинжиниринга бизнес-процессов*. Альпина Паблишер, 2017, 360 с.

Дата надходження рукопису
до редакції 09.05 2023 р.

DOI: 10.15222/ТКЕА2023.3-4.03
UDC 62.112.5

Yu. M. LAVRYCH, M. I. BYSTROV, S. V. PLAKSIN,
L. M. POGORILA, Yu. V. SHKIL

Ukraine, Dnipro, Institute of Transport Systems and Technologies
of the National Academy of Sciences of Ukraine

E-mail: jurynlav@gmail.com

RENOVATION OF RADIO-ELECTRONIC DEVICES BY REENGINEERING

Domestic radio-electronics, which is still incorporated in many electronic devices, has practically exhausted its technical resource. The longer modernization is postponed and the radio-electronic equipment based on outdated elements remains in use, the more its efficiency declines and operating costs increase. This paper analyzes the problems of maintaining the operational efficiency of radio-electronics that has exhausted its technical resource and the production of its elemental base has been discontinued. The authors substantiate the approach to extending the life cycle of technical products by updating the target functions of modules and cells through reengineering. The reengineering was performed for the functional control system 4PK, which is part of the radar 5N86 ("Hen House"), which has been in operation since 1975. To check the possibility of preserving the existing operating principles, simulations of cells and modules on the new elemental base and existing modules were carried out using Tina-Ti software simulation tools (Texas Instruments), Electronics Workbench, Micro Cap. The results of the reengineering of the 2TM modules indicated the problem of choosing a new element base — they use negative logic, which complicates the using a series of modern elemental base, the vast majority of elements of which are designed on positive logic and positive supply voltage. In order not to disturb the power supply architecture of the active radar, a way was found to coordinate different levels. Testing the model showed a positive result, and a number of cells showed the possibility to build a universal cell using reconfigurable electronic microcircuits in its composition.

Keywords: reengineering, resource, module, cell, element base.

REFERENCES

1. Klimchenko V.I., Belavin A.V. Ground of rational correlation of volumes of major repairs, modernization and purchase and developments of OVT RTV on medium-term and long-term prospects. *Scientific works of Kharkiv national air force university*, 2013, vol. 3(36), pp. 35–41. (Ukr)
2. Fedukhin O.V. Forecasting of electronic devices reliability after long storage. *Mathematical Machines and Systems*, 2004, no. 4, pp. 164–170. (Rus)
3. Lavrych Yu. M. The research of the influence of long-term storage on the characteristics of solar batteries. *Proceedings of the II MNPC "Semiconductor materials, information technologies and photovoltaics"*, Kremenchuk, Ukraine, 2013, pp. 79–80. (Rus)

4. Beskorovainyi, V., Sudik, A. Optimization of topological structures of centralized logistics networks in the process of reengineering. *Innovative Technologies and Scientific Solutions for Industries*, 2021, no. 1 (15), pp. 23–31. <https://doi.org/10.30837/ITSSI.2021.15.023>

5. Velykodniy S.S., Zaitseva-Velykodna S.S., Burlachenko Zh.V. Software for automated design of network graphics of software systems reengineering. *Herald of Advanced Information Technology*, 2019, vol. 2, № 2, pp. 95–107. <https://doi.org/10.15276/hait.02.2019.2>

6. Nechiporenko A., Hubarenko Ye., Hubarenko M. Topological structure reengineering regional electric power systems *Radioelectronic and Computer Systems*, 2022, no. 2(102), pp. 49–62. <https://doi.org/10.32620/reks.2022.2.04>

7. Hammer M., Hershman L. *Faster Cheaper Better: The 9 Levers for Transforming How Work Gets Done*. Crown Business, 2010, 302 p.

Опис статті для цитування:

Лаврич Ю. М., Бистров М. І., Плаксін С. В., Погоріла Л. М., Шкіль Ю. В. Відновлення працездатності радіоелектронних пристроїв шляхом реінжинірингу. *Технологія та конструювання в електронній апаратурі*, 2023, № 3–4, с. 3–8. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2023.3-4.03>

Cite the article as:

Lavrych Yu. M., Bystrov M. I., Plaksin S. V., Pogorila L. M., Shkil Yu. V. Renovation of radio-electronic devices by reengineering. *Technology and design in electronic equipment*, 2023, no. 3–4, pp. 3–8. <http://dx.doi.org/10.15222/ТКЕА2023.3-4.03>