

А. Г. ТЕЦЬКИЙ, О. В. ЖЕЛТУХІН, А. Є. ПЕРЕПЕЛИЦІН

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна

СТВОРЕННЯ НАДІЙНИХ НОУТБУКІВ НА ОСНОВІ ПРОСТИХ ЗМІННИХ КОМПОНЕНТІВ

Предметом вивчення в даній статті є принципи створення надійних і ремонтпридатних ноутбуків. **Метою** роботи є визначення конструктивних і схематичних особливостей будови портативних комп'ютерів та ноутбуків, які покращують відмовостійкість, ремонтпридатність, можливість живлення, а також знижують вартість ремонту, що дає змогу запропонувати більш надійні рішення. **Завдання:** проаналізувати існуючі архітектури комп'ютерів, створених на сучасних наборах чіпсетів; проаналізувати випадки відмов комп'ютерного обладнання щодо причин відмови і наслідків відмови; проаналізувати можливу доцільність ремонту і варіанти ремонту комп'ютерів; запропонувати рекомендації щодо структурної організації компонентів ноутбука та рекомендації щодо підтримки широкого діапазону напруг живлення ноутбука. Відповідно до поставлених завдань, були отримані наступні **результати**. Виконано аналіз конструктивних особливостей сучасних ноутбуків та портативних комп'ютерів. Проаналізовано основні компоненти системної плати ноутбука, включаючи процесор, мультимікродатчик, контролер-концентратор. Проаналізовано можливі причини відмов компонентів системної плати. Проаналізовано взаємодію мультимікродатчика з Basic Input/Output System (BIOS) та Unified Extensible Firmware Interface (UEFI) ноутбуків. Виявлено причини та обговорюються рішення можливих проблем заміни акумуляторів. Обговорюються недоліки прямого підключення периферійних пристроїв до системи на кристалі. Запропоновано рекомендації створення ремонтпридатних рішень. Такі пристрої мають більшу вартість, масогабаритні характеристики та більше енергоспоживання. **Висновки.** Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що проведений аналіз рішень від провідних виробників і практичний досвід діагностики відмов ноутбуків дозволив запропонувати набір рекомендацій щодо створення надійних ноутбуків та модифікації компонентів вже існуючих, зокрема підтримку широкого діапазону напруг живлення, що дасть змогу забезпечити живлення від джерел постійного струму без використання додаткових конвертерів. Запропоноване використання окремих контролерів для кожного інтерфейсу портів периферійних пристроїв підвищує стійкість системи до впливу зовнішніх факторів та у разі відмови робить можливим продовження роботи інших портів.

Ключові слова: архітектура комп'ютерів; системна плата; інтерфейси передачі даних; система на кристалі; ноутбук; PCI Express; PCIe; USB; відмовостійкий комп'ютер; ремонтпридатні рішення.

Вступ

Архітектура будь-яких комп'ютерів є усталеною і складається з процесора, контролера системної шини та однієї чи кількох системних шин [1]. Функціональність кінцевого пристрою розширюється за рахунок великої кількості периферії, підключеної до системних шин. З метою зменшення вартості, підвищення продуктивності та зменшення габаритів відбувається розміщення максимальної кількості компонентів в одному кристалі або корпусі [2]. У такий спосіб забезпечується підвищення продуктивності, зменшення масогабаритних показників [3], зменшення собівартості виробництва комп'ютерів.

Водночас із покращенням споживчих характеристик комп'ютерів спостерігається і значне зменшення надійності функціонування новітніх комп'ютерів, особливо у складних умовах використання з нестабільною напругою електроживлення і наявністю електромагнітних завад [4] високої інтенсивності, спричиненої виробничою діяльністю сучасних підприємств та умов експлуатації аерокосмічної техніки. Іншою причиною відмов обладнання є нештатні чи аварійні ситуації, пов'язані з пошкодженнями ліній електроживлення або розподільчих підстанцій [5]. Тому слід розглянути використання обчислювальної техніки з більш стійкою, захищеною архітектурою, особливо для застосування у критичних галузях.



Розвиток технологічного процесу дав змогу створювати більш компактні рішення, що є безпосередньою перевагою для користувачів, адже відбувається досить щільне заповнення корпусу ноутбука. Також особливістю є щільне заповнення поверхні материнської плати компонентами поверхневого монтажу [6]. Ці компоненти часто мають площу біля 1 мм. кв., через це їх досить легко пошкодити через необережне поводження під час розбирання корпусу ноутбука з метою очищення системи охолодження від пилу та іншого бруду, що всмоктується кулером через вентиляційні отвори на корпусі.

Щільне розташування компонентів та інтеграція кількох схем в один корпус ускладнює процес ремонту пристрою у разі виникнення відмови. Існує необхідність розроблення надійних та ремонтпридатних пристроїв, де компактність кінцевого пристрою не є головною вимогою, натомість пріоритетним є використання принципів створення ремонтпридатних рішень [7].

Тому актуальним є завдання вивчення конструктивних особливостей виробів різних виробників та надання пропозицій із впровадження рекомендацій для створення ремонтпридатних рішень, що дасть змогу виконувати ремонт пошкоджених пристроїв швидше та дешевше.

Відповідно до зазначеного вище, важливо проектувати архітектуру комп'ютерів яка передбачає захист критичних компонентів шляхом застосування спеціалізованих захищених адаптерів інтерфейсів зовнішніх пристроїв і внутрішніх системних шин комп'ютера. Використання цих спеціалізованих адаптерів дещо погіршує якісні характеристики комп'ютера, але може значно підвищити його надійність і ремонтпридатність.

Метою даної роботи є визначення конструктивних і схемотехнічних особливостей будови портативних комп'ютерів та ноутбуків, які покращують відмовостійкість, ремонтпридатність, можливість живлення, а також знижують вартість ремонту, що дає змогу запропонувати більш надійні рішення.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні **завдання**: проаналізувати існуючі архітектури комп'ютерів, створених на сучасних наборах чіпсетів; проаналізувати випадки відмов комп'ютерного обладнання щодо причин відмови і наслідків відмови; проаналізувати можливу доцільність ремонту і варіанти ремонту комп'ютерів; запропонувати рекомендації щодо структурної організації компонентів ноутбука та рекомендації підтримки широкого діапазону напруг живлення ноутбука.

Структура цієї статті включає вісім основних секцій. Перші чотири секції присвячені представленню результатів аналізу окремих компонентів ноутбуків, а в інших пропонуються їх поліпшення.

1. Аналіз основних компонентів системної плати ноутбука

У комп'ютері мультиконтролер, хаб і процесор грають різні, але взаємозалежні ролі, забезпечуючи функціональність системи.

Процесор – це основний обчислювальний пристрій, який відповідає за виконання інструкцій у складі програмного забезпечення, оброблення даних та керування іншими компонентами системи [8]. Він виконує арифметичні, логічні та операції з рухомою комою, а також керує потоками даних між різними частинами комп'ютера [9].

Мультиконтролер часто використовується для керування певними функціями або периферійними пристроями, такими як клавіатура та подібними. Він може виконувати завдання, пов'язані з контролем живлення або підтримкою різних інтерфейсів введення-виведення. Мультиконтролер може працювати як незалежний модуль, координуючи взаємодію між процесором та іншими компонентами системи.

Контролер-концентратор (інша назва – хаб або чіпсет) є компонентом, який з'єднує різні частини системи й управляє потоками даних між ними. У сучасних комп'ютерах він може виконувати функції інтеграції різних інтерфейсів, таких як USB, PCI-Express [10] або інших шин. Він забезпечує розподіл ресурсів і каналів зв'язку, даючи змогу процесору та периферійним пристроям обмінюватися даними без перевантаження системи. На системних платах стаціонарних комп'ютерів контролер-концентратор обов'язково виконано як зовнішню схему, що називається південним мостом.

Північний міст і південний міст являли собою два контролери системної шини – швидкі шини та повільні шини. Нині ці завдання виконує один контролер-концентратор. Деякі його функції зараз часто інтегровані у процесор. Випускаються мікроконтролери, які мають все на кристалі, проте вони обмежені за обсягом пам'яті.

Об'єднання на одному кристалі процесора максимальної кількості компонентів або в одному корпусі є тенденцією. Якщо потрібно вирішувати різні завдання централізовано та швидко, виникає необхідність побудови системи в одному корпусі. Це забезпечує зменшення габариту, зменшення тепловиділення, зменшення вартості, підвищення швидкодії [11]. Невеликі кремнієві підкладенки чіплетів можуть об'єднуватися з використанням міжз'єднань. Перевагою такої побудови є те, що не потрібно передавати сигнали по системній платі [12]. У таких реалізаціях швидкості передавання настільки високі, що сигнал не встигає передатися від одного кінця лінії до іншого кінця лінії, а процесор вже може починати виконувати наступну інструкцію.

Недоліки інтеграції на одному кристалі обумовлені підвищенням вразливості інтерфейсів до впливу. Як правило, периферійні пристрої підключаються безпосередньо до відповідних контактних виводів процесора. Всередині корпусу, звичайно, передбачаються деякі елементи захисту, але досить ненадійні. Вони є такими через використання технології в одиниці нанометрів, який є чутливим до всього: до статичної електрики, до різних впливів, до індуктивностей, до випромінювання, до дефектів тощо.

Системи з окремих компонентів, які часто застосовувалися до побудови рішень на одному кристалі, були досить надійні. У таких конструкціях все було створено окремо, але вони мали високу вартість. Оскільки використовувалось багато компонентів, вони мали високе енергоспоживання. Багато з таких компонентів мають відносно низьку швидкість. Це зумовлене більшими відстанями між компонентами на системній платі. Відповідно, максимальні значення тактової частоти обмежуються.

Крім цього, скрізь встановлювалися шинні формувачі – вихідні буфери. Вони давали ємнісне навантаження, що також знижувало швидкість. У сучасних системах цього недоліку немає.

Вибираючи контролер-концентратор для побудови обчислювального пристрою на основі мікропроцесора фірми Intel з архітектурою x64 слід брати до уваги наступні чинники:

- підтримка всієї лінійки мікропроцесорів відповідного покоління;
- можливість підтримки процесорів декількох поколінь;
- підтримка максимальної кількості інтерфейсів периферійних пристроїв;
- можливість застосування додаткових мікросхем для буферизації інтерфейсів, призначених для підключення зовнішніх периферійних пристроїв, що розташовані за межами основної плати.

Використання мікропроцесорів з ультранизьким електроспоживанням бажано обмежити у пристроях, що використовуються для керування промислового обладнання, особливо у хімічній, енергетичній сферах промисловості.

Ці мікропроцесори, як правило, мають контролер-концентратор, інтегрований на спільній платі з самим мікропроцесором, і відзначаються доволі низькою надійністю та великими апаратними витратами на відновлення апаратури управління промисловим обладнанням.

Відмова апаратури у критичних системах керування може призвести до катастрофічних наслідків, тому при виборі мікропроцесорного комплексу для розроблення системи керування слід взяти до уваги все зазначене вище.

2. Аналіз можливих причин відмов основних компонентів ноутбуків

У сучасних ноутбуках використовуються процесори переважно зі зниженим енергоспоживанням. Наприклад, у сімействі Intel такі процесори мають позначення U наприкінці. Прикладом конкретної моделі є i7-6500U [13].

Такі процесори з індексом U мають контролер-концентратор на тій же підкладці і, як показує практика, у 98% відбувається відмова контролера-концентратора, при цьому процесор залишається робочим. Контролер-концентратор на материнських платах може відмовляти, наприклад, внаслідок впливу статичної електрики.

Якщо потрібно побудувати надійну систему, не варто використовувати такий контролер-концентратор, доцільно декомпонувати функції цього контролера-концентратора у вигляді окремих пристроїв. У такому разі можна побудувати досить надійну систему, яка не відмовлятиме навіть у крайньому випадку, наприклад, удар блискавки по підключеному обладнанні. У разі аварії відмовляє лише один інтерфейс, решта системи залишається робочою, незалежно від процесора.

Порівняння підтримуваних процесорів Intel за моделями контролера-концентратора та відповідного процесорного роз'єму представлені в таблиці 1.

Таблиця 1
Порівняння процесорів Intel за моделями контролера-концентратора (чипсет) та роз'єму процесора

Чипсет	Роз'єм процесора	Версії процесорів Intel
HM55	Socket G1 / GA998A	i3, i5, i7, Pentium of 1th gen
HM67	Socket G2 / GA998A	i3, i5, i7, Pentium of 2th gen
HM70	Socket G2 / GA998A	Pentium, Celeron of 2th and 3th gen
HM76, HM77	Socket G2 / GA998A	i3, i5, i7, Pentium, Celeron of 2th and 3th gen
HM86	Socket G3 / BGA1168, 1364	i3, i5, i7, Pentium, Celeron of 4th gen
H170	FCBGA 1440	i3, i5, i7, Pentium, Celeron of 5th, 6th, and 7th gen
HM310	FCBGA 1440	i3, i5, i7, Pentium, Celeron of 8th and 9th gen
HM370	FCBGA 1440	i3, i5, i7, i9 of 9th gen
HM470	FCBGA 1440	i3, i5, i7, i9 of 10th gen
HM570	FCBGA 1787	i3, i5, i7, i9 of 11th gen
HM670	FCBGA 1964	i3, i5, i7, i9 of 12th gen
Z790	FCBGA 1964	i3, i5, i7, i9 of 13th gen

3. Аналіз BIOS і UEFI ноутбуків

Взаємодія BIOS з мультиконтролером може змінюватись у залежності від архітектури системи, але в загальному випадку BIOS може використовувати мультиконтролер для керування певними функціями введення-виведення або для підтримки різних периферійних пристроїв. Він може допомагати BIOS в керуванні клавіатурою та іншими пристроями введення, забезпечуючи їхнє коректне функціонування до того, як операційна система візьме це на себе [14].

У пам'яті BIOS зберігається набір програмних інструкцій та даних, необхідних для виконання його завдань. Основні елементи, які зберігаються в цій пам'яті, включають налаштування системи, такі як конфігурація обладнання та параметри роботи. Це можуть бути параметри частоти процесора, параметри оперативної пам'яті, пристроїв зберігання даних та параметри для завантаження системи. Також у пам'яті BIOS розташований код, необхідний для ініціалізації та тестування апаратного забезпечення, а також драйвери для базових функцій введення-виведення, які забезпечують сумісність із пристроями до початку завантаження операційної системи.

Зазвичай виробники публікують на своїх сайтах повні версії BIOS, а також утиліти для операційних систем для оновлення BIOS шляхом перезаписування фрагментів пам'яті в мікросхемі. З метою зниження ймовірності помилкових дій через використання невідповідного програмного забезпечення виробники можуть обмежувати доступ до матеріалів на сайті за допомогою введення серійного номера пристрою. У такий спосіб користувачеві складніше завантажити версію BIOS для іншої моделі пристрою, що знижує ймовірність виникнення програмних проблем.

Практичне дослідження проблем сумісності акумуляторів ноутбуків показує, що в BIOS можуть вказуватись коди акумуляторів, які підтримуються, тому трапляються випадки, коли новий оригінальний акумулятор може не працювати в ноутбуці. Такий акумулятор визначається мультиконтролером як неоригінальний і може працювати лише на розряд. Ноутбук не може його зарядити при підключенні та повідомляє про це, оскільки мультиконтролер, який керує живленням, не дає відповідного сигналу.

Також трапляються випадки, коли неможливо один оригінальний акумулятор легко замінити іншим оригінальним, поки встановлений акумулятор не вважається зношеним. Як правило, операційна система повідомляє користувача, що встановлений акумулятор рекомендується замінити, коли він має більше 60% зносу. В такому разі у BIOS може бути записаний код поточного акумулятора та його рівень зносу. Якщо знос менше 60%, то будь-які інші акумулятори будуть ігноруватись системою.

4. Аналіз особливостей контролю напруги блоком живлення та роботи від акумулятора

При роботі від блока живлення відбувається заряджання акумулятора та забезпечується живлення всіх пристроїв у складі ноутбука.

Деякі виробники мають специфічні джерела живлення, які відрізняються від блока живлення стаціонарного комп'ютера. Специфіка полягає в тому, що це джерело живлення має всього дві напруги: чергова напруга +5 В та інша напруга +12 В.

Це добре тим, що чим менше каналів живлення, тим менша ймовірність того, що буде розбалансування між рівнями напруги. Це може бути викликано різкою зміною споживаної потужності на одному з каналів. Стандартне джерело живлення має +5 В, +3.3 В та +12 В.

Джерело живлення контролює напругу тільки на каналі +5 В. Інші канали отримують напругу за залишковим принципом. Іноді буває додаткове регулювання на каналі +3.3 В. У разі різкого зниження навантаження на каналі +12 В і різкого збільшення на каналі +5 В відбувається стрибок напруги на каналі +12 В, величина стрибка може становити до 20 В. При цьому використовується елементна база та транзистори, як правило, з граничною напругою 20-30 В.

Це пов'язано з тим, що вони мають низький опір у режимі насичення та дозволяють будувати енергоефективні стабілізатори. Якщо будуть з більшою напругою, ніж 30 В, то канал виходить довшим і неможливо отримати таку маленьку напругу насичення на ньому.

Використання USB Type-C для заряду також можливе. Сучасні ноутбуки мають додатковий порт USB Type-C, через який за протоколом Power Delivery можна забезпечувати живлення ноутбука потужністю до 100 Вт. Якщо штатний блок живлення має потужність понад 100 Вт, то ноутбук повідомляє користувача, що використовується обмежене живлення, тому при виконанні ресурсомістких задач частина заряду буде братися з внутрішнього акумулятора ноутбука.

Використання цього порту для стаціонарного живлення ноутбука не рекомендується, оскільки контакти є крихкими, а провідники тонкими, виникає окислення і підвищене нагрівання при струмах до 5 А при напрузі живлення в 20 В.

Це призводить до швидкого зносу цього роз'єму живлення. Такий спосіб підключення живлення корисний при роботі від портативного зарядного пристрою, якщо він підтримує протокол Power Delivery для надання живлення.

Комунікацію з акумулятором ноутбука забезпечує мультиконтролер. У складі акумулятора є свій контролер, який стежить за температурою і напругою на каскадах акумулятора. Таких каскадів може бути від одного до чотирьох [15]. Той самий контролер виконує процеси заряду і розряду коли акумулятор використовується. Популярними є контролери серії BQ від виробника TI. Комунікація між контролером акумулятора та мультиконтролером відбувається за інтерфейсом I2C [16, 17].

Можуть існувати обмеження використання акумуляторів, коли конкретний акумулятор підтримується обмеженою кількістю моделей ноутбуків.

5. Запропоновані рекомендації для підтримки широкого діапазону напруг живлення ноутбука

Система живлення загалом для портативних комп'ютерів та ноутбуків може бути виконана з підтримкою широкого діапазону напруг. У ноутбуках живлення від блока – це основне джерело, друге джерело живлення – це акумулятор.

Підтримка широкого діапазону напруг живлення для існуючих ноутбуків може бути забезпечена попередньою схемою-інвертором, яка підвищує напругу, якщо вона нижча за потрібну вхідну напругу. Наприклад, якщо вхідна напруга повинна бути 19 В, та замість неї подали 12 вольт, то це недостатньо для повної напруги зарядки акумулятора 12,6 В. При подачі на вхід 12 В у такій схемі інвертор підвищує напругу до 17-19 В. Далі напруга подається на стандартну схему, яка заряджає акумулятор. Якщо напруга на вході більше 24 В, інвертор стабілізує та знижує її до 19 В. Такі реалізовані схеми у пристроях існують, проте на практиці зустрічаються досить рідко.

Створення первинного джерела живлення дозволяє виконати нормування до певного рівня або діапазону і дасть змогу створювати джерела живлення, які потрібні для живлення споживачів. У разі виникнення критичної події за джерелом живлення станеться відмова цього перетворювача, при цьому решта елементів не постраждають.

Стандарт напруги 27 В у своєму повному діапазоні може доходити до 30 В. У цьому випадку 30-вольтних елементів недостатньо. Існують контролери широтно-імпульсної модуляції (ШИМ) та польові транзистори з робочою напругою 40-60 В. Вони цілком нормально працюють із 27-вольтовим джерелом, випускаються компанією TI. Хоча номенклатура таких виробів невелика, їх можна використовувати для створення рішень з широким діапазоном на етапі проектування. Чим вища напруга, тим менше струми споживання, і напруга насичення вже не так сильно впливає на роботу системи.

6. Запропоновані рекомендації щодо структурної організації компонентів ноутбука

Пасивне охолодження є перевагою, якщо є можливість його організувати [18]. Зараз всі системні плати мають багатошарове виконання і, як правило, основне живлення виконано у вигляді окремого шару плати або двох шарів. Тому силові елементи живлення паяються на ділянках з досить теплопровідним складом, а сам шар виступає у ролі радіатора. Тобто тепло відводиться через плату на всю площу з тепловідляючих елементів [19].

Розпаювання оперативної пам'яті на системній платі також є перевагою. Таке рішення може виключити проблеми поганого контакту в лініях та конекторах пам'яті, що є однією з можливих причин збоїв у роботі комп'ютера.

Розпаювання накопичувачів на системній платі не рекомендується, оскільки сучасні накопичувачі, що використовують Flash-пам'ять, часто мають незадовільну якість. Наприклад, береться мікросхема пам'яті, яка має багато дефектів, тестується, ці дефекти заносяться до таблиці дефектів, далі ці ділянки пам'яті виключаються із загального обсягу користування. Мікросхема знаходиться в режимі постійної деградації, згодом дефектних ділянок ставатиме більше і більше.

Побудова корпусу ноутбука із пластику в сучасних виробках не є найкращим рішенням, тому що пластик, як правило, вторинний. Він дуже тендітний і досить швидко старіє і тріскається.

Використання металевго корпусу дає додаткове тепловідведення. Металеві ділянки, які використовуються для заземлення на корпус, використовуються і для передачі тепла з плати.

Петлі кришки ноутбука також повинні кріпитись до корпусу, металевий корпус забезпечить довговічність цього механізму.

Модульне виконання клавіатури ноутбука є простим при заміні, не вимагає відокремлення від пластикової частини корпусу ноутбука.

Поділ задньої кришки ноутбука на відсіки дозволяє виконувати очищення системи охолодження або заміну накопичувача без повного зняття кришки. Для цього достатньо відкрутити один або кілька гвинтів та зняти кришку відсіку.

Роз'єм живлення ноутбука також є частою причиною механічних поломок та його якість впливає на довговічність роботи пристрою. Різними виробниками використовується понад 10 різних видів роз'ємів живлення, однак одним із найпоширеніших є роз'єм круглої форми. Доцільно використовувати універсальний та поширений формат роз'єму живлення ноутбука, наприклад, роз'єм 5.5x2.1 мм.

7. Запропоновані етапи створення надійних ноутбуків

Створення надійних рішень включає аналіз типових дефектів і проблем різних виробників. Це стосується проблем від системи живлення до розміщення плати, систем охолодження, можливе розташування окремих складових плат у складі корпусу з перемичками по додаткових лініях.

Побудова надійної системи потребує повернення до класичної моделі виконання компонентів на системній платі. Можна використовувати певні елементи цієї системи, але повинен бути контролер, який має зовнішнє підключення периферійних пристроїв, які виконуються на досить старій логіці і дозволяють підключати зовнішню периферію з найменшими ризиками. Теоретично може використовуватися будь-яка шина для взаємодії з процесором таких елементів периферії. Наприклад, шина PCI-Express цілком може використовуватись для такої взаємодії. Перевага інтерфейсу PCI-Express полягає в тому, що якщо відмовляє хоча б один канал, то інтерфейс перемикається в інший режим, наприклад, відмова одного каналу PCI-Express 4x не призводить до відмови всього інтерфейсу. Краще використовувати інтерфейс та контролер на кожен пристрій, наприклад, для COM-порту, USB-порту, мережевого адаптера, де кожен має свій інтерфейс PCI-Express. Це рішення не є оптимальним за вартістю, габаритами та енергоспоживанням, натомість є оптимальним з точки зору надійності. У такому разі система стає дорожчою, більшою за розмірами, споживає більше енергії, але з погляду стійкості до зовнішнього впливу вона виходить досить надійною.

Пропонується не використовувати стандартний чіпсет, який має інтерфейси USB, SATA та інші, замість цього використовувати стандартний контролер, наприклад, інтерфейсу PCI-Express та розробляти зовнішні інтерфейси PCI-Express. Необхідно використовувати окремі інтерфейси, тобто відмовитися від чіпсету та використовувати набір стандартних контролерів, які підключатимуться на цей інтерфейс. Інтерфейс дозволяє організувати швидкий обмін між процесором та вибраним контролером, наприклад, COM-порту. Контролер цього порту – це власний процесор, який має шинні формувачі, на які підключаються периферійні пристрої та виходить розподілена система без жодного хаба.

Підтримка широкого діапазону напруг також важлива. Сучасні ноутбуки мають значно менші струми заряду, тому зниження напруги заряду при незмінній потужності дозволяє уникнути нагріву навіть при використанні універсального роз'єму. Підтримка широкого діапазону напруг вхідного живлення дозволяє використовувати зовнішні джерела

постійного струму для живлення ноутбука без потреби в додаткових інверторах. Це забезпечує енергоефективність при використанні зовнішнього живлення від джерел постійного струму.

Впровадження підтримки широкого діапазону напруг дає змогу використовувати зовнішні джерела постійного струму для живлення ноутбука без додаткових інверторів напруги, чим забезпечується енергоефективність використання зовнішнього живлення. Прикладом такого використання є стабільна робота ноутбука від збірки з п'яти послідовних каскадів Li-ion комірок, що відповідає діапазону приблизно 20,5 В при повному заряді та 15,5 В при повному розряді збірки.

8. Запропоновані рекомендації щодо модифікації компонентів існуючих ноутбуків

Відзначимо дві проблеми наявних пристроїв, які варто вдосконалити з метою їх усунення.

Забезпечення використання акумуляторів у складі ноутбуків є першою проблемою. Деякі виробники можуть штучно обмежувати користування акумулятором ноутбука, якщо його код не знаходиться у списку дозволених кодів. Теоретично така проблема може бути вирішена шляхом зчитування вмісту BIOS, декомпозиції блоків, у певному блоці вручну замінюється рівень зношування на більш високий, потім блоки вмісту BIOS упаковуються і завантажуються в мікросхему. Якщо все успішно, ноутбук побачить інший акумулятор і буде коректно з ним працювати. У разі помилки BIOS може не працювати взагалі, тому важливо зберігати вихідний вміст вбудованої програми перед початком робіт.

Забезпечення підтримки широкого діапазону напруг живлення є другою проблемою. Мультиконтролер перевіряє напругу, що йде від блока живлення ноутбука, як правило, допустимим відхилення вважається біля 1 В. Тобто, якщо напруга живлення становить 19,5 В, то ноутбук визначає підключений блок живлення з напругою в діапазоні від 18,5 В до 20,5 В. Інше відхилення буде визначено мультиконтролером як дефект блока живлення, така напруга буде ігноруватися.

Пропонується збільшити робочий діапазон вхідної напруги живлення, що дозволить більш ефективно використовувати зовнішні акумулятори в умовах відсутності джерела живлення 220 В змінного струму. На деяких існуючих ноутбуках це можливо зробити шляхом зміни параметрів дільника напруги на материнській платі ноутбука, але при такій модифікації система контролю напруги може не відслідкувати завищеної напруги живлення, що може призвести до відмов компонентів ноутбука.

Дискусія

Комп'ютерне обладнання в аерокосмічній галузі має бути створене з використанням принципів забезпечення надійності, оскільки його функціонування безпосередньо впливає на безпеку людей і ефективність задач, що виконуються. Аерокосмічні системи працюють у екстремальних умовах, таких як висока волога, температурні коливання, радіаційне випромінювання та вібрації, що можуть призвести до відмов у роботі. Навіть найменший дефект у програмному забезпеченні чи апаратних компонентах може викликати серйозні наслідки, включаючи втрату дорогоцінного обладнання або життя.

Надійність комп'ютерних систем забезпечує можливість безперервного моніторингу та контролю, що є важливим для виявлення потенційних проблем на ранніх етапах. Крім того, використання принципів забезпечення надійності допомагає знизити витрати на обслуговування та ремонт, оскільки менш ймовірно, що система зазнає відмов у процесі експлуатації.

Виявлено, що об'єднання кількох пристроїв в одному компоненті чи модулі ускладнює пошук несправності та збільшує вартість окремого такого компонента, що має бути замінений при ремонті.

Контролер-концентратор на материнських платах може відмовляти, наприклад, внаслідок впливу статичної електрики. Декомпозиція функцій цього контролера-концентратора у вигляді окремих пристроїв може підвищити захист від такого типу негативного впливу.

Практичне дослідження проблем сумісності акумуляторів ноутбуків показує, що дозволені коди акумуляторів записуються в частині BIOS, тому бувають випадки, коли зовні однакові акумулятори мають різну вбудовану програму контролера акумулятора, відповідно, призначені для роботи в різних моделях ноутбуків і не є взаємозамінними.

На практиці кожен розробник ноутбуків має власні формати акумуляторів, власні роз'єми для підключення акумуляторів до ноутбука, власні вбудовані програми в контролер акумулятора, тому великою проблемою є взаємозамінність акумуляторів між різними виробниками і моделями ноутбуків.

Можливим рішенням було б встановлення певної кількості елементів живлення (наприклад, поширених елементів 18650) у корпус акумулятора. Операція з встановлення чи заміни елементів живлення потребує певних знань і вмінь (як і робота з будь-яким хімічним джерелом струму), але натомість можна отримати універсальне рішення, де складність заміни елементів живлення у ноутбуці може бути співрозмірною із заміною батарейок у пульті управління побутовою технікою.

Висновки

Проведене дослідження виявляє недоліки сучасних портативних комп'ютерів від різних виробників і пропонує рішення для вибору архітектури цих пристроїв, орієнтуючись на максимальну надійність в умовах промислової експлуатації. Воно також сприяє мінімізації наслідків відмов, зниженню вартості і трудомісткості процесу відновлення.

Виконаний огляд сучасних архітектур портативних комп'ютерів, побудованих на сучасних чіпсетах, виконано аналіз існуючих недоліків рішень, які пропонуються виробниками ноутбуків. Це дозволило сформулювати рекомендації з вибору об'єднання компонентів портативного комп'ютера з для забезпечення надійності його функціонування і підвищення його ремонтпридатності.

Якщо потрібно побудувати надійну систему, не варто використовувати контролер-концентратор з об'єднанням функцій, доцільно реалізувати функції цього контролера-концентратора у вигляді окремих пристроїв. У такому разі можна побудувати досить надійну систему, яка не відмовлятиме навіть у крайньому випадку (наприклад, удар блискавки по підключеному обладнанні). У разі аварії відмовляє лише один інтерфейс, решта системи залишається робочою, незалежно від процесора.

Впровадження запропонованих рекомендацій зі створення ремонтпридатних ноутбуків та портативних комп'ютерів дає змогу зменшувати час діагностування відмови, час та вартість ремонту, іншим аспектом впровадження запропонованих рекомендацій є збільшення вартості та збільшення габаритних розмірів кінцевого пристрою.

Подальше дослідження полягатиме у пошуку найкращих комбінацій компонентів системної плати відповідно до визначених характеристик та задач.

Внесок авторів: формулювання мети і завдань дослідження – **О. В. Желтухін, А. Є. Перепелицин**, аналіз основних компонентів системної плати ноутбука – **О. В. Желтухін, А. Є. Перепелицин**, аналіз можливих причин несправностей – **О. В. Желтухін, А. Г. Тецький**, аналіз BIOS і UEFI ноутбуків, аналіз особливостей контролю напруги блоком живлення – **О. В. Желтухін, А. Г. Тецький**, аналіз живлення від акумулятора – **А. Г. Тецький**, запропоновані рекомендації щодо структурної організації компонентів ноутбука та інших його покращень – **А. Г. Тецький, А. Є. Перепелицин, О. В. Желтухін**.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що немає конфлікту інтересів щодо цього дослідження, фінансового, особистого, авторського чи іншого, який міг би вплинути на дослідження та результати, представлені в статті.

Фінансування

Дослідження проведено без фінансової підтримки.

Доступність даних

Рукопис не має пов'язаних даних.

Використання засобів штучного інтелекту

Автори підтверджують, що не використовували генеративних технологій штучного інтелекту при створенні представленої роботи та дослідженні.

Автори прочитали та погодилися з опублікованою версією рукопису.

Література

1. McClintock, D. *Motherboard testing using the PCI bus* [Text] / D. McClintock, L. Cunningham, & T. Petropoulos // *Proceedings International Test Conference 2000*. – 2000. – P. 593-599. DOI: 10.1109/TEST.2000.894253.
2. A Fully Integrated Multi-CPU, Processor Graphics, and Memory Controller 32-nm Processor [Text] / M. Yuffe, & et al. // *IEEE Journal of Solid-State Circuits*. – 2012. – Vol. 47, no. 1. – P. 194-205. DOI: 10.1109/JSSC.2011.2167814.
3. Batra, N. *Evolution of Efficient On-Chip Interconnect Architecture for SOC: A Review* [Text] / N. Batra, & B. Singh // *Proceedings of 2022 IEEE Global Conference on Computing, Power and Communication Technologies, GlobConPT 2022*. – 2022. – 6 p. DOI: 10.1109/GlobConPT57482.2022.9938209.
4. *Characterization of a Fault-Tolerant RISC-V System-on-Chip for Space Environments* [Text] / D. A. Santos, A. M. P. Mattos, D. R. Melo, & L. Dilillo // *Proceedings of 2023 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems, DFT 2023*. – 2023. – 6 p. DOI: 10.1109/DFT59622.2023.10313549.
5. He, D. *Quality and reliability challenges for ultra mobile computing and communication application processor packaging* [Text] / D. He, & W. Kang // *Proceedings of 2009 International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*. – 2009. – P. 1104-1112. DOI: 10.1109/ICEPT.2009.5270594.
6. Patel, B. A. M. *Affordable Educational Laptop With Physical Computing Using Single Board Computer* [Text] / B. A. M. Patel, & H. R. Hamirani // *Proceedings of 2021 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2021*. – 2021. – 4 p. DOI: 10.1109/ICCCI50826.2021.9402691.
7. Dempsey, P. *The Teardown; Framework laptop: Framework laptop: A right-to-repair upgrade ultrabook - at last* [Text] / P. Dempsey // *Engineering & Technology*. – 2022. – Vol. 16, no. 12. – 4 p. DOI: 10.1049/et.2021.1218.
8. *SkyLake-SP: A 14nm 28-Core xeon® processor* [Text] / S. M. Tam, & et al. // *Proceedings of 2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference, ISSCC 2018*. – 2018. – P. 34-36. DOI: 10.1109/ISSCC.2018.8310170.
9. *Cascade Lake: Next Generation Intel Xeon Scalable Processor* [Text] / M. Arafa, & et al. // *IEEE Micro*. – 2019. – Vol. 39, no. 2. – P. 29-36. DOI: 10.1109/MM.2019.2899330.
10. *PCIe Hot-Plug Support Standardization Challenges in ATCA* [Text] / M. Correia, & et al. // *IEEE Transactions on Nuclear Science*. – 2019. – Vol. 66, no. 10. – P. 2282-2285. DOI: 10.1109/TNS.2019.2937367.
11. Bashir, Q. *Energy- and Temperature-aware Scheduling: From Theory to an Implementation on Intel Processor* [Text] / Q. Bashir, M. Pivezhandi, & A. Saifullah // *Proceedings of 2022 IEEE 24th Int Conf on High Performance Computing & Communications; 8th Int Conf on Data Science & Systems; 20th Int Conf on Smart City; 8th Int Conf on Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application, HPCC/DSS/SmartCity/DependSys 2022*. – 2022. – P. 1922-1930. DOI: 10.1109/HPCC-DSS-SmartCity-DependSys57074.2022.00288.
12. *Design Space Exploration for Chiplet-Assembly-Based Processors* [Text] / S. Pal, D. Petrisko, R. Kumar, & P. Gupta // *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*. – 2020. – Vol. 28, no. 4. – P. 1062-1073. DOI: 10.1109/TVLSI.2020.2968904.
13. *Intel Core i7-6500U Processor, Intel* [Electronic resource]. – Available at: <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/88194/intel-core-i7-6500u-processor-4m-cache-up-to-3-10-ghz.html>. – 03.08.2024.
14. Ashraf Ali, S. *UEFI BIOS Compatibility for Multiple SOC Based on Device Capability Detection* [Text] / S. Ashraf Ali, S. Mohana Kumar, & S. J. Krishna Prasad // *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Smart Electronics and Communication, ICOSEC 2020*. – 2020. – P. 1339-1344. DOI: 10.1109/ICOSEC49089.2020.9215371.
15. Perepelitsyn, A. *Method of creation of power sources for home appliances under constraints of limited resources* [Text] / A. Perepelitsyn, & A. Tetskyi // *Radioelectronic and Computer Systems*. – 2023. – № 2. – P. 81-93. DOI: 10.32620/reks.2023.2.07.
16. Тецький, А. Г. *Метод відновлення акумуляторів ноутбуків в умовах обмежених ресурсів* [Текст] / А. Г. Тецький, А. Є. Перепелицин, & О. В. Желтухін // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2023. – № 5. – С. 98–108. DOI: 10.32620/akt.2023.5.08.
17. Tetskyi, A. *Method of Repairing Accumulators of Portable Electronics Under Limited Resources* [Text] / A. Tetskyi, O. Zheltukhin, & A. Perepelitsyn // *Proceedings of 2023 IEEE 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2023*. – 2023. – 6 p. DOI: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416488.
18. *Thermal Characteristics of Flexible Heat Spreaders in High Power Fanless Notebooks* [Text] / R. Srikanth, R. Doddi, D. Kathiravan, & P. K. Raju //

Proceedings of 2020 19th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, ITherm 2020. – 2020. – P. 143-147. DOI: 10.1109/ITherm45881.2020.9190291.

19. Zhang, Z. *Research on Integrated Circuit Heat Dissipation Packaging Method Considering the Distribution of Thermal Characteristics [Text]* / Z. Zhang, Y. Wang, & Z. Wang // *Proceedings of 2023 IEEE International Conference on Sensors, Electronics and Computer Engineering, ICSECE 2023*. – 2023. – P. 490-497. DOI: 10.1109/ICSECE58870.2023.10263408.

References

1. McClintock, D., Cunningham, L., & Petropoulos, T. Motherboard testing using the PCI bus. *Proceedings International Test Conference 2000*, 2000, pp. 593-599. DOI: 10.1109/TEST.2000.894253.

2. Yuffe, M., & et al. A Fully Integrated Multi-CPU, Processor Graphics, and Memory Controller 32-nm Processor. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 2012. vol. 47, no. 1, pp. 194-205. DOI: 10.1109/JSSC.2011.2167814.

3. Batra, N., & Singh, B. Evolution of Efficient On-Chip Interconnect Architecture for SOC: A Review. *Proceedings of 2022 IEEE Global Conference on Computing, Power and Communication Technologies, GlobConPT 2022*, 2022, pp. 1-6. DOI: 10.1109/GlobConPT57482.2022.9938209.

4. Santos, D. A., Mattos, A. M. P., Melo, D. R., & Dilillo, L. Characterization of a Fault-Tolerant RISC-V System-on-Chip for Space Environments. *Proceedings of 2023 IEEE International Symposium on Defect and Fault Tolerance in VLSI and Nanotechnology Systems, DFT 2023*, 2023, pp. 1-6. DOI: 10.1109/DFT59622.2023.10313549.

5. He, D., & Kang, W. Quality and reliability challenges for ultra mobile computing and communication application processor packaging. *Proceedings of 2009 International Conference on Electronic Packaging Technology & High Density Packaging*, 2009, pp. 1104-1112. DOI: 10.1109/ICEPT.2009.5270594.

6. Patel, B. A. M., & Hamirani, H. R. Affordable Educational Laptop with Physical Computing Using Single Board Computer. *Proceedings of 2021 International Conference on Computer Communication and Informatics, ICCCI 2021*, 2021, pp. 1-4. DOI: 10.1109/ICCCI50826.2021.9402691.

7. Dempsey, P. TheTeardown; Framework laptop: Framework laptop: A right-to-repair upgradable ultrabook - at last. *Engineering & Technology*, 2022, vol. 16, no. 12, pp. 1-4, DOI: 10.1049/et.2021.1218.

8. Tam, S. M., & et al. SkyLake-SP: A 14nm 28-Core xeon® processor. *Proceedings of 2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference, ISSCC 2018*, 2018, pp. 34-36. DOI: 10.1109/ISSCC.2018.8310170.

9. Arafa, M., & et al. Cascade Lake: Next Generation Intel Xeon Scalable Processor. *IEEE Micro*,

2019, vol. 39, no. 2, pp. 29-36. DOI: 10.1109/MM.2019.2899330.

10. Correia, M., & et al. PCIe Hot-Plug Support Standardization Challenges in ATCA. *IEEE Transactions on Nuclear Science*, 2019, vol. 66, no. 10, pp. 2282-2285. DOI: 10.1109/TNS.2019.2937367.

11. Bashir, Q., Pivezhandi, M., & Saifullah, A. Energy- and Temperature-aware Scheduling: From Theory to an Implementation on Intel Processor. *Proceedings of 2022 IEEE 24th Int Conf on High Performance Computing & Communications; 8th Int Conf on Data Science & Systems; 20th Int Conf on Smart City; 8th Int Conf on Dependability in Sensor, Cloud & Big Data Systems & Application, HPCC/DSS/SmartCity/DependSys 2022*, 2022, pp. 1922-1930. DOI: 10.1109/HPCC-DSS-SmartCity-DependSys57074.2022.00288.

12. Pal, S., Petrisko, D., Kumar, R., & Gupta, P. Design Space Exploration for Chiplet-Assembly-Based Processors. *IEEE Transactions on Very Large Scale Integration (VLSI) Systems*, 2020, vol. 28, no. 4, pp. 1062-1073. DOI: 10.1109/TVLSI.2020.2968904.

13. *Intel Core i7-6500U Processor, Intel*. Available at: <https://ark.intel.com/content/www/us/en/ark/products/88194/intel-core-i7-6500u-processor-4m-cache-up-to-3-10-ghz.html>. (accessed August 3, 2024).

14. Ashraf Ali, S., Mohana Kumar, S., & Krishna Prasad, S. J. UEFI BIOS Compatibility for Multiple SOC Based on Device Capability Detection. *Proceedings of 2020 IEEE International Conference on Smart Electronics and Communication, ICOSEC 2020*, 2020, pp. 1339-1344. DOI: 10.1109/ICOSEC49089.2020.9215371.

15. Perepelitsyn, A., & Tetskyi, A. Method of creation of power sources for home appliances under constraints of limited resources. *Radioelektronni i komputerni sistemi – Radioelectronic and computer systems*, 2023, no. 2, pp. 81-93. DOI: 10.32620/reks.2023.2.07.

16. Perepelitsyn, A., Tetskyi, A., & Zheltukhin, O. Metod vidnovlennya akumuljatoriv noutbukiv v umovakh obmezhenykh resursiv [Method of repairing of laptop batteries under constraints of limited resources]. *Aviacijno-kosmicna tehnika i tehnologia – Aerospace technic and technology*, 2023, no. 5, pp. 98-108. DOI: 10.32620/akt.2023.5.08. (In Ukrainian).

17. Tetskyi, A., Zheltukhin, O., & Perepelitsyn, A. Method of Repairing Accumulators of Portable Electronics Under Limited Resources. *Proceedings of 2023 IEEE 13th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies, DESSERT 2023*, 2023, pp. 1-6, DOI: 10.1109/DESSERT61349.2023.10416488.

18. Srikanth, R., Doddi, R., Kathiravan, D., & Raju, P. K. Thermal Characteristics of Flexible Heat Spreaders in High Power Fanless Notebooks. *Proceedings of 2020 19th IEEE Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems, ITherm 2020*, 2020, pp. 143-147. DOI: 10.1109/ITherm45881.2020.9190291.

19. Zhang, Z., Wang, Y., & Wang, Z. Research on Integrated Circuit Heat Dissipation Packaging Method Considering the Distribution of Thermal Characteristics. *Sensors, Electronics and Computer Engineering, ICSECE 2023*, 2023, pp. 490-497. DOI: 10.1109/ICSECE58870.2023.10263408. *Proceedings of 2023 IEEE International Conference on*

Надійшла до редакції 10.08.2024, розглянута на редколегії 15.10.2024

PROTOTYPING OF RELIABLE NOTEBOOKS BASED ON SIMPLE REPLACEABLE COMPONENTS

Artem Tetskyi, Olexander Zheltukhin, Artem Perepelitsyn

The subject of study in this article and research is principles of creating of reliable and repairable notebooks. The **goal** is to determine the structural and circuital peculiarities of the construction of portable computers and laptops, which improve fault tolerance, repairability, allow possibility of power supply using wider voltage range, and also reduce the cost of repairing, which makes it possible to create more reliable solutions with fault tolerance. The **task** is to analyze the existing architectures of computers built on modern chipsets; to analyze cases of failure of the computer equipment regarding the causes and consequences of faults; to analyze the possible reasonability of repairing and the computer repair options; to propose recommendations of the structural organization of notebook components and the recommendations for the support of a wide range of notebook voltages of power supply. According to the tasks, the following **results** were obtained. The analysis of the constructional design features of modern laptops and portable computers is performed. The main components of notebook motherboard, including the processor, multicontroller, and host bridge, are analyzed. The possible causes of faults of system board components are analyzed. The interaction of the multicontroller with BIOS and UEFI of notebooks is analyzed. The causes and solutions of possible issues of battery replacement are identified. The disadvantages of direct wired connection of peripheral devices to the processors implemented as a system on chip are discussed. The recommendations of the creation of repairable circuits of notebooks are proposed. The proposed circuits have a higher cost, weight and size characteristics with higher power consumption, but the obtained fault-tolerance allows the use in critical industries. **Conclusions.** The scientific novelty of the obtained results is in the fact that the performed analysis of solutions from leading manufacturers and the practical experience of laptop failures diagnostics allowed to propose a set of recommendations of the reliable laptops creation and modification of the existing components including the support of a wide range of power supply voltages, that will make it possible the charging from power sources without the use of an additional converters. The proposed use of discrete components and controllers for each interface port for connection of peripheral devices increases the system durability to the influence of external factors with maintaining of workability of the notebook and the rest ports of motherboard in case of the fault of one of them.

Keywords: computer architecture; motherboard; data transfer interface; notebook; laptop; system on chip; PCI Express; PCIe; USB; reliable computer; repairable solutions.

Тецький Артем Григорович – канд. техн. наук, доц. каф. комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Желтухін Олександр Васильович – старш. викл. каф. комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Перепелицин Артем Євгенович – канд. техн. наук, доц., доц. каф. комп'ютерних систем, мереж і кібербезпеки, Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», Харків, Україна.

Artem Tetskyi – PhD, Associate Professor at the Computer Systems, Networks and Cybersecurity Department, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.tetskyi@csn.khai.edu, ORCID: 0000-0003-1745-2452, Scopus Author ID: 57202894656.

Olexander Zheltukhin – Senior Lecturer at the Computer Systems, Networks and Cybersecurity Department, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.zheltukhin@csn.khai.edu, ORCID: 0000-0001-7338-6256, Scopus Author ID: 58099279900.

Artem Perepelitsyn – PhD, Associate Professor at the Computer Systems, Networks and Cybersecurity Department, National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute», Kharkiv, Ukraine, e-mail: a.perepelitsyn@csn.khai.edu, ORCID: 0000-0002-5463-7889, Scopus Author ID: 56332607800.