

УДК 681.518.5

¹В.В. Вишнівський д.т.н.
²М.Г. Ніколайчук**РОЗРОБКА ЧАСТОТНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО МЕТОДУ КОНТРОЛЮ
ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ ОБ'ЄКТІВ РЕЗО**¹Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка²Київський національний університет імені Тараса Шевченка

В роботі обґрунтовано частотний енергетичний метод контролю технічного стану цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронних засобів озброєнь. Даний метод дозволяє використовувати спектр енергодинамічних імпульсів, що виникають у шині живлення цифрових пристроїв для перевірки їх працездатності.

Ключові слова: *технічний стан, цифровий пристрій, система технічної діагностики, об'єкт діагностування.*

Вступ

Об'єкти радіоелектронних засобів озброєнь (РЕЗО) представляють собою складні технічні системи. Головним їх завданням є забезпечення виконання задач функціонального використання. Радіоелектронні засоби озброєння у своєму складі мають окремий клас найважливіших елементів – цифрові пристрої (ЦП). Для побудови сучасних засобів діагностування для ЦП пропонується частотний енергетичний метод отримання та обробки діагностичної інформації (ДІ) про їх технічний стан (ТС) [1].

Інтенсивний розвиток цифрової техніки визначає відчутний розрив між технологічними досягненнями мікроелектроніки й наявними системами технічного діагностування [1]. Широка номенклатура цифрових пристроїв, їх багатofункціональність, висока швидкодія висувають жорсткі вимоги до систем технічної діагностики (СТД) по тривалості діагностування, що забезпечує необхідну вірогідність, по необхідному об'ємі пам'яті для зберігання діагностичної інформації. При побудові систем технічної діагностики цифрових пристроїв керуються наступними вимогами [1, 2]:

1. Алгоритми технічного діагностування повинні забезпечити необхідну вірогідність результатів при визначенні технічного стану об'єктів діагностування, із заданими обмеженнями на інші параметри системи технічної діагностики.

2. Проектування СТД повинне здійснюватися одночасно із проектуванням об'єкта діагностування.

3. При проектуванні об'єктів діагностування необхідно передбачати можливість використання діагностичного обладнання.

Одним з ефективних шляхів рішення проблеми підвищення надійності функціонування об'єктів РЕЗО являється розробка практично прийнятних алгоритмічних методів діагностування технічного стану об'єктів діагностування (ОД). Оскільки ці методи пов'язані з обробкою значних обсягів інформації, виникає необхідність автоматизації процесів діагностування. Практично це завдання зводиться до створення автоматизованих систем технічного діагностування (АСТД).

З розробкою АСТД пов'язані наступні основні завдання:

1. Аналіз і моделювання об'єктів діагностування.
2. Оптимізація процесів діагностування.
3. Діагностування з використанням даних моделювання.
4. Автоматизація розробки інформаційного забезпечення АСТД і процесів діагностування.

Можливості вдосконалення систем технічної діагностики об'єктів РЕЗО визначаються підвищенням можливостей їх пристосованості до агрегатного відновлення, зростанням зручності обслуговування.

Для визначення працездатності ЦП на об'єкті РЕЗО можуть бути використані різні методи [1]. Аналіз показує, що підвищити вірогідність діагностування й знизити витрати часу дозволяє відомий енергодинамічний метод [3], у якому як діагностична інформація використовуються імпульси струму квазікороткого замикання, що виникають у ланцюзі живлення логічних елементів при їхніх переключеннях. Висока вірогідність діагностування забезпечується за

рахунок того, що в якості узагальненої контрольної точки об'єкта діагностування використовується його ланцюг живлення, загальний для всіх елементів. Це дозволяє, не вводячи додаткові контрольні точки, знімати діагностичну інформацію із всіх логічних елементів. Уданий час цей метод застосовується для діагностування обмеженого типу пристроїв через складність аналізу сигналів у часовій області (мала тривалість імпульсів, спотворення форми сигналів). Тому актуальним являється подальший розвиток даного методу з метою дослідження можливості аналізу сигналів і одержання діагностичної інформації в частотно-спектральній області.

Енергодинамічний метод діагностування цифрових пристроїв [3] являється одним з перспективних методів визначення технічного стану цих елементів об'єктів РЕЗО. Скорочуючи число контрольних точок до однієї, метод дозволяє автоматизувати процес діагностування й істотно зменшити час локалізації елемента, що відмовив. При цьому аналізуються сигнали в ланцюзі живлення, що виникають при переключенні логічних елементів з одного стану в інший. Однак технічна реалізація енергодинамічного методу обмежена рядом наступних факторів.

По-перше, імпульси енергодинамічного процесу мають малу тривалість ($\tau_i=2\dots 4$ нс) і тому займають широку (до 0,2ГГц) смугу частот. Для якісної обробки таких імпульсів пристрій виділення повинен мати рівномірну частотну характеристику й лінійну фазочастотну характеристику в такому ж діапазоні частот. Побудова пристрою виділення й підсилення енергодинамічних імпульсів, що має подібні характеристики, представляє певні технічні труднощі.

По-друге, при аналізі сигналів, що виникають у ланцюзі живлення, можливі помилки через наявність імпульсів кратного спрацьовування й маскування ними дефектних елементів, що знижує вірогідність діагностування. Для визначення числа імпульсів, що відповідають одночасному спрацьовуванню двох, трьох і більше елементів, необхідно будувати відповідне число паралельних каналів обробки діагностичної інформації. Це значно ускладнює пристрій діагностування.

По-третє, з метою боротьби з високочастотними імпульсними перешкодами в ланцюгах живлення встановлюють так звані "розв'язуючі" конденсатори. Ці конденсатори спотворюють форму сигналів, зменшують їх амплітуду й для деяких логічних базисів унеможливають застосування енергодинамічного методу.

Одним зі шляхів підвищення вірогідності СТД, що використовує енергодинамічний процес в інтегральних схемах, є перетворення діагностичної інформації від звичайної, просторово-часової форми її подання до частотно-спектральної форми, у якій інформація зберігається, передається й обробляється.

Постановка задачі

У статті вирішується задача розробки частотного енергетичного методу одержання й обробки ДІ для визначення працездатності цифрових пристроїв на основі використання енергодинамічного процесу в інтегральних мікросхемах, що дозволяє проводити контроль ТС цифрових пристроїв із заданою вірогідністю. При використанні цього методу знімання інформації проводиться тільки в одній або в крайньому випадку декількох контрольних точках цифрового пристрою.

Виклад основного матеріалу

Сутність цього методу полягає в тому, що при періодичному переключенні логічних елементів у ланцюзі живлення виникають періодичні пачки енергодинамічних імпульсів, форма яких і число залежать від типу інтегральної схеми й способу включення. Маючи дискретний спектр, вони можуть бути представлені у вигляді сукупності гармонійних складових, що відрізняються частотою, початковою фазою й амплітудою.

Частотний енергетичний метод дає можливість визначати наступні вихідні дані для побудови системи технічного діагностування цифрових пристроїв: основні діагностичні параметри; вхідні (стимулюючі) тестові впливи; спосіб отримання діагностичної інформації про реакцію об'єкта діагностування на вхідний тестовий вплив; область працездатності об'єкта в просторі контрольованих параметрів; критерій оцінки технічного стану об'єкта

діагностування (ОД).

Проведемо аналіз імпульсів у ланцюзі живлення ОД, що складається з послідовно включених інтегральних схем. При подачі імпульсу на вхід такого ОД його елементи спрацьовують по черзі. У момент спрацьовування кожного елемента в ланцюзі живлення виникає комплексний сигнал елемента. Комплексний сигнал при спрацьовуванні всіх N елементів складається з n комплексних сигналів елементів. Крім імпульсів струму квазікороткого замикання, у ланцюзі живлення виникають імпульси вхідного впливу, трансформовані в ланцюг живлення, імпульси переключення ЛЕ, низькочастотний шум і "білий" шум.

Для визначення можливості виділення з ланцюга живлення діагностичної інформації в частотній області порівнюємо спектри сигналів.

Імпульси переключення можуть бути представлені у вигляді двох складових

$$U(t) = U_1(t) + U_2(t),$$

де $U_1(t)$ - послідовність позитивних імпульсів,

$U_2(t) = -U_1(t - \tau)$ - послідовність негативних імпульсів.

При цьому негативні імпульси, тобто імпульси $U_2(t) = -U_1(t - \tau)$ слідують із тим же періодом, що й імпульси $U_1(t)$, але мають зсув у часі на величину тривалості імпульсу переключення τ .

Нехай $U_1(t) = S_1(j\omega)$,

$$U_2(t) = S_1(j\omega)e^{-j(\pi+\omega\tau)}.$$

Тоді

$$U(t) = S_1(j\omega)[1 + e^{-j(\pi+\omega\tau)}]. \quad (1)$$

Провівши наступні перетворення:

$$1 + e^{-j(\pi+\omega\tau)} = e^{-j(\frac{\pi+\omega\tau}{2})} e^{j(\frac{\pi+\omega\tau}{2})} + e^{-j(\frac{\pi+\omega\tau}{2})} e^{-j(\frac{\pi+\omega\tau}{2})} = 2e^{j(\frac{\pi}{2}-\frac{\omega\tau}{2})} \sin(\frac{\omega\tau}{2}),$$

отримаємо спектральну щільність суми двох імпульсів у вигляді:

$$S_n(j\omega) = 2S_1(j\omega) \sin(\frac{\omega\tau}{2}) e^{j(\frac{\pi}{2}-\frac{\omega\tau}{2})}.$$

Амплітудно-частотний спектр запишеться:

$$S(\omega) = U_0 \sqrt{\pi\tau} 2e^{j(\frac{\omega\tau}{2})^2} \sin(\frac{\omega\tau}{2}). \quad (2)$$

З виразу (2) видно, що АЧС має максимуми на частотах

$$\omega_i = \frac{2i-1}{\tau} \pi, \quad i = 1, 2, \dots, \infty,$$

а мінімуми

$$\omega_j = \frac{2j\pi}{\tau}, \quad i = 1, 2, \dots, \infty.$$

Імпульс впливу, що трансформований у ланцюг живлення й диференційований перехідними ланцюгами інтегральних схем, являється одиночним сигналом, спектр якого описується виразом:

$$S(j\omega) = \frac{U_0 \sqrt{\pi}}{2} \tau_1 e^{-\frac{(\omega\tau_1)^2}{4}} e^{j\pi}.$$

Множник $e^{j\pi}$ враховує негативну полярність.

Як і всякий пристрій, що містить напівпровідникові прилади, ІС характеризується рівнем власних шумів, які залежно від спектральних характеристик і фізичної природи їх виникнення діляться на теплові, дробові й низькочастотні. Спектральна щільність потужності теплового й дробового шумів не залежить від частоти, тому ці два види шумів відносяться до шумів з білим спектром. Спектральна щільність потужності низькочастотного шуму пропорційна $1/f\gamma$, де γ -

коефіцієнт, що характеризує вид спектра.

Наявність у спектрі імпульсів струму енергодинамічного процесу явно виражених максимумів і мінімумів є інформацією про кількість виділених імпульсів. У межах ширини спектра число максимумів m , що відрізняється від максимумів інших спектрів, на одиницю менше числа імпульсів, тобто $n = m + 1$.

Дифференційований імпульс впливу, що трансформований у ланцюг живлення, має максимальне значення модуля спектральної щільності на порядок менше, ніж імпульси струму енергодинамічного процесу.

Низькочастотні шуми займають дуже вузький (до десятків кілогерців) діапазон частот, і їхня фільтрація не внесе істотних спотворень у спектр імпульсів струму енергодинамічного процесу.

Дробовий і тепловий шуми ІС мають рівномірно розподілений по всіх частотах спектр і відносяться до так званому "білого" шуму, щільність якого за своїм значенням порівнянна з імпульсами струму переключення ІС із одного стану в інший.

Таким чином між спектром імпульсів струму енергодинамічного процесу, з одного боку, і спектрами імпульсів переключення, імпульсу впливу, що трансформований в ланцюг живлення, і шумами, з іншого боку, є істотні відмінності. Ці відмінності дозволяють виділяти імпульси струму енергодинамічного процесу.

Експериментальні дослідження, що проведені з різними типами ІС, підтверджують правильність теоретичного висновку про можливість виділення спектра імпульсів струму енергодинамічного процесу й використання його для визначення працездатності цифрових пристроїв об'єктів РЕЗО.

Висновки

Таким чином, обґрунтовано частотний енергетичний метод контролю технічного стану цифрових пристроїв об'єктів радіоелектронних засобів озброєнь. Даний метод дозволяє використовувати спектр енергодинамічних імпульсів, що виникають у шині живлення цифрових пристроїв для перевірки їх працездатності.

Сутність частотного енергетичного методу контролю технічного стану цифрових пристроїв полягає в тому, що при періодичному переключенні логічних елементів у ланцюзі живлення виникають періодичні пачки енергодинамічних імпульсів, форма яких і число залежать від типу інтегральної схеми й способу включення. Маючи дискретний спектр, вони можуть бути представлені у вигляді сукупності гармонійних складових, що відрізняються частотою, початковою фазою й амплітудою.

Ряд вузькополосних фільтрів, що утворюють паралельний аналізатор спектра, виділяють найбільш інформативні з точки зору діагностики гармоніки, які після порівняння з опорною напругою утворюють двійковий код.

Подальша обробка отриманої діагностичної інформації полягає в порівнянні отриманого коду з еталонним. Проведений аналіз спектрів сигналів, що виникають у ланцюзі живлення при переключеннях ЛЕ цифрових пристроїв, показав, що спектри являються достовірними джерелами діагностичної інформації. Використовуючи принципи одночасного аналізу, технічно можливо реалізувати пристрій для визначення працездатності цифрових пристроїв на основі спектрального аналізу сигналів.

Список літературних джерел

1. Діагностика цифрових та аналогових пристроїв радіоелектронної техніки: Монографія / Вишнівський В.В., Жердев М.К., Ленков С.В., Проценко В.О.; під редакцією М.К. Жердева, С.В. Ленкова. – К.: Знання України, 2009. – 220 с.

2. Вишнівський В.В. Загальний підхід до контролю технічного стану вторинних джерел живлення з широтно-імпульсною модуляцією / В.В. Вишнівський, Ю.В. Кожедуб // Вісник Хмельницького національного університету: Технічні науки. – Хмельницький, 2011. – № 2. – С. 233–236.

3. Вишнівський В.В., Гахович С.В., Катін П.Ю., Круценко В.В. Пристрій для діагностування цифрових ТЕЗ з використанням параметрів енергодинамічного процесу // Вісник КНУ. Сер. Військові науки. Вип. № 6. – К.: КНУ ім. Т.Шевченка, 2003. – С. 70-74