

УДК 621.391.6

**Вишнівський В. В.** Державний університет телекомунікацій, Київ

**Жердев М. К.** Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ

**Савран В. О.** Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка

## ДІАГНОСТИЧНА МОДЕЛЬ УЗАГАЛЬНЕНОГО МОДУЛЯ ЦИФРОВОГО ПРИБОРУ НА ОСНОВІ ЕНЕРГОДИНАМІЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДУ

*В статті розроблено методику побудови діагностичної моделі узагальненого модуля цифрового пристрою для удосконаленого спектрального методу діагностування на основі перехідних процесів в шині живлення. Дану модель розроблено з метою забезпечення заданого коефіцієнта готовності цифрового пристрою при обмежених затратах на експлуатацію.*

**Ключові слова:** діагностична модель, цифровий пристрій, спектральний метод діагностування, перехідні процеси, шина живлення, коефіцієнт готовності

**Vyshnivskiy V. V.** State University of Telecommunications, Kyiv

**Zherdev M. K.** Military Institute of Telecommunications and Information, Kyiv

**Savran V. O.** Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University

## DIAGNOSTIC MODEL OF THE GENERALIZED MODULE OF THE DIGITAL DEVICE BASED ON THE IMPROVED ENERGY DYNAMICAL SPECTRAL METHOD

*In the article the method of constructing a diagnostic model of the logic elements of a digital device for the advanced spectral method of diagnosing on the basis of transient processes in the power bus is developed. The essence of the method is that when periodically switching the logic elements into the power bus, there arise periodic packets of energy-dynamic transients, the form and number of which depend on the type of integrated circuit and the method of its inclusion. An estimation and choice of diagnostic parameters of logical elements of digital devices is made. The parameters of the energy-dynamic transients can be used as diagnostic information. This model is designed to provide a predetermined readiness rate for a digital device at a reduced cost of operation. A model summarizes and just for any digital device.*

**Keywords:** diagnostic model, digital device, spectral method of diagnosing, transient processes, power supply bus, coefficient of readiness

**Вишневский В. В.** Государственный университет телекоммуникаций, Киев

**Жердев М. К.** Военный институт телекоммуникаций и информатизации, Киев

**Савран В. А.** Военный институт Киевского национального университета имени Тараса Шевченко

## ДИАГНОСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБОБЩЕННОГО МОДУЛЯ ЦИФРОВОГО УСТРОЙСТВА НА ОСНОВЕ ЭНЕРГОДИНАМИЧНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО МЕТОДА

*Разработана методика построения диагностической модели обобщенного модуля цифрового устройства для усовершенствованного спектрального метода диагностирования на основе переходных процессов в шине питания. Модель разработана с целью обеспечения заданного коэффициента готовности устройства при ограниченных затратах на эксплуатацию.*

**Ключевые слова:** диагностическая модель, цифровое устройство, диагностирование, переходные процессы, шина питания

**1. Вступна частина.** Побудова високоефективних систем визначення технічного стану цифрових пристроїв (ЦП) і їх складових компонентів у сучасних умовах вимагає розробки нових методів діагностування, а також синтезу сучасних автоматизованих систем технічного діагностування. Це обумовлено високою складністю ЦП, дефіцитом часу на прийняття рішення при проведенні контролю технічного стану (ТС) [1-4].

Перспективними напрямками наукових досліджень у розглянутій області являється розробка інформаційних технологій для обробки отриманої діагностичної інформації для удосконаленого спектрального енергодинамічного методу діагностування на основі енергодинамічних перехідних процесів в шині живлення ЦП [3]. Успішне рішення завдання контролю технічного стану ЦП, залежить від адекватності діагностичної моделі, методики побудови тестових впливів (ТВ) і методу діагностування.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Для прийняття рішення про технічний стан ЦП необхідно провести технічне діагностування. Процес діагностування полягає у отриманні й обробці діагностичних параметрів в контрольних точках (КТ) [3]. Набір вимірних значень діагностичних параметрів (ДП) в контрольних точках визначає якість отриманої діагностичної інформації про технічний стан ЦП. З ускладненням ЦП збільшується число контрольних точок, діагностичних параметрів, на основі яких приймається рішення про ТС. Тому вибір найбільш інформативних діагностичних параметрів дозволяє значною мірою скоротити час діагностування і підвищити його достовірність [3, 4].

Аналіз стану й перспектив розвитку існуючих автоматизованих систем технічного діагностування, а також наукових робіт, що присвячені даній тематиці показує, що задана ефективність ЦП досягається в основному за рахунок збільшення апаратних засобів. В таких роботах велика увага приділяється рішенню окремих завдань, що направлені на дослідження та розробку автоматизованої системи технічного діагностування тільки для окремих цифрових пристроїв. Тому виникає необхідність розробки нових методів і засобів автоматизації отримання та обробки діагностичної інформації, що дозволило б підвищити показники ефективності діагностування.

Для скорочення числа КТ в цифрових пристроях при діагностуванні можна використовувати спектр енергодинамічних перехідних процесів в шині живлення цифрових пристроїв в якості джерела діагностичної інформації. Сутність виникнення енергодинамічних перехідних процесів в шині живлення цифрових пристроїв полягає в тому, що при переключенні вхідних або вихідних трансляторів логічних елементів (ЛЕ) ЦП, які являються найбільш енергонасиченими, у шині живлення протікають енергодинамічні перехідні процеси (ПП), які за своїми параметрами співпадають з параметрами вхідних і вихідних сигналів, а аналіз цих сигналів в частотній області за допомогою перетворення Фур'є дозволяє досягти високої достовірності прийняття рішення щодо ТС.

Імпульси струму енергодинамічних перехідних процесів протікають у шині живлення ЦП будь-яких серій і структур, і відрізняються вони значеннями ДП, які характеризують їх ТС. Важливим є те, що імпульси струму енергодинамічних ПП протікають [5, 6] в цифрових пристроях зі структурами транзисторно-транзисторної логіки (ТТЛ), метал-оксид-напівпровідник (МОН), емітерно-зв'язувальної логіки (ЕЗЛ), інтегрально-інжекційної логіки (І<sup>2</sup>Л) при переключенні ЛЕ як із стану лог.0 в лог.1 так і з лог.1 в лог.0 відповідно. Ці сигнали відповідають переднім і заднім фронтам імпульсів вхідних та вихідних сигналів. Також в шині живлення можна зареєструвати імпульси сигналів ЦП з відповідними амплітудами і тривалістю. Так як перший імпульс енергодинамічних перехідних процесів має тривалість одиниці наносекунд і амплітуду, що перевищує номінальну напругу шини живлення в десятки разів, то спектри цих сигналів лежать значно в більш високочастотній області ніж спектри інших сигналів. Це дає можливість отримати і виділити спектр імпульсу енергодинамічних перехідних процесів і використати його у якості діагностичної інформації.

Таким чином, з точки зору інформативності даний підхід дає можливість суттєво скоротити кількість КТ і дозволяє отримувати та обробляти діагностичну інформацію від кожного ЛЕ цифрового пристрою. При протіканні енергодинамічних ПП в шині живлення ЦП, можливі ситуації, при яких діагностична інформація може не правильно трактуватися і на її основі будуть прийматися невірні рішення про ТС. Тому на основі аналізу і обробки діагностичної інформації, вибору ДП необхідно розробити новий науково-методичний апарат для удосконаленого спектрального енергодинамічного методу діагностування.

У науково-технічній літературі по розробці й експлуатації РЕТ основна увага приділяється питанням дослідження можливості мінімізації середнього часу відновлення й вартості засобів діагностування. При цьому, основним фактором, що стримує розвиток сучасних автоматизованих систем технічного діагностування є відсутність методичного апарату, що здатний автоматизувати розробку діагностичних моделей логічних елементів цифрових пристроїв, вхідних впливів (ВВ) для них.

**Формулювання цілей (мети) статті.** Проведений аналіз можливостей існуючих автоматизованих систем технічного діагностування показав, що вони не дозволяють оперативно виявляти несправності логічних елементів цифрових пристроїв. Для їх реалізації необхідні великі часові та матеріальні витрати. До основних недоліків таких систем, що знижують їх ефективність, відносяться складність і висока ціна програмної й апаратної частини, необхідність доступу до великої кількості КТ, відсутність ефективних сучасних методів діагностування, великі витрати на підготовчому етапі при розробці ДМ. Однією з основних причин, що обумовлюють визначені недоліки є обмежене застосування інформаційних технологій. Тому існуючий методичний апарат отримання та обробки діагностичної інформації орієнтований на непродуктивний шлях розвитку.

Таким чином, розробка діагностичної моделі узагальненого модуля цифрового пристрою для удосконаленого спектрального методу на основі перехідних процесів в шині живлення з метою забезпечення заданого коефіцієнта готовності ЦП при обмежених затратах на експлуатацію є важливим актуальним завданням. Тому стаття присвячений розробці ДМ логічних елементів ЦП для удосконаленого спектрального енергодинамічного методу діагностування. Даний підхід призначений для визначення ДМ з метою прийняття рішення про ТС цифрових пристроїв з заданою достовірністю за допустимий час.

**2. Методика побудови діагностичної моделі узагальненого модуля ЦП.** Складна організація внутрішньої структури ЦП, випадковий характер виникнення дефектів, велике число можливих ВВ, вихідних реакцій (ВР) і діагностичних параметрів в часовій та частотній областях, що отримані в результаті переключення ЛЕ цифрових пристроїв, дають можливість стверджувати наступне: кожний дефект має унікальну, властиву тільки йому множину ВВ, ВР і ДП. Такий підхід дозволяє використовувати імпульси енергодинамічних ПП в шині живлення ЦП для їх діагностування.

Розглянемо методику побудови діагностичної моделі узагальненого модуля цифрового пристрою. Методика включає чотири етапи, а саме:

- 1) аналіз внутрішньої структури цифрових пристроїв, виділення логічних елементів;
- 2) декомпозиція складного ЦП на модулі та виділення груп змінних;
- 3) синтез діагностичної моделі для імпульсів енергодинамічних перехідних процесів в шині живлення для елементарного логічного елемента цифрового пристрою;
- 4) синтез ДМ для узагальненого модуля цифрових пристроїв.

**На першому етапі** виділяються підсистеми логічного елемента ЦП (рис. 1). Внутрішню структуру логічного елемента ЦП можна представити сукупністю трьох підсистем – управління, обробки інформації та управління вихідними трансляторами та енергоживлення.

За допомогою підсистеми обробки інформації та управління вихідними трансляторами здійснюється передача, перетворення та збереження інформації. Підсистема управління виконує допоміжні функції (каналізує інформаційні потоки згідно алгоритму перетворення через модулі інформаційної підсистеми, генерує управляючі сигнали, які необхідні для роботи підсистеми обробки інформації та управління вихідними трансляторами, а також формує сигнали для зв'язку ЦП із зовнішнім середовищем). Підсистема енергозабезпечення призначена для забезпечення живленням ЛЕ з рівнями, що відповідають напругам живлення  $U_{жив}$ , причому

$$U_{жив} = \{U_{жив1}, \dots, U_{живi}, \dots, U_{живp}\}, \quad I_{жив} = \{I_{жив1}, \dots, I_{живi}, \dots, I_{живp}\},$$

де  $p$  – число шин живлення ЦП.

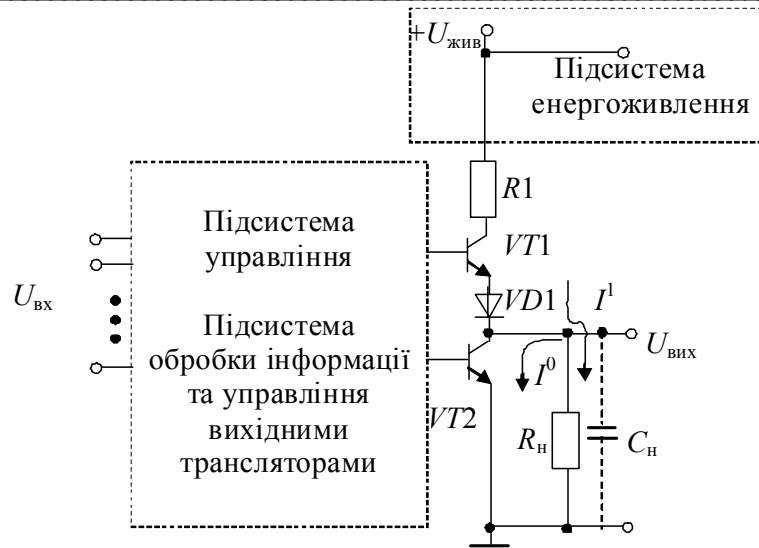


Рис. 1. Підсистеми цифрового пристрою

Вхідні впливи, що надходять на управляючу підсистему і підсистему обробки інформації та управління вихідними трансляторами ЦП, розділимо на два класи: управляючі та інформаційні. Під інформаційними вхідними впливами  $D^S$  і управляючими вхідними впливами  $D^U$  будемо розуміти сигнали, які утворюють відповідні множини багатомірних вхідних змінних  $D^S = \{D_1^S, \dots, D_i^S, \dots, D_n^S\}$ ,  $D^U = \{D_1^U, \dots, D_i^U, \dots, D_\psi^U\}$ , де  $n, \psi$  – число вхідних інформаційних та управляючих шин відповідно.

Множину  $D^U$  розділимо на дві підмножини  $\{I\}$  і  $\{D^C\}$  так, що

$$D^U = \{I\} \cup \{D^C\}.$$

Підмножину  $\{I\}$  утворюють управляючі сигнали ЦП

$$\{I\} = \{I_1, \dots, I_i, \dots, I_m\}, \quad I_i \in (0, 1, *),$$

де  $m$  – число управляючих сигналів, за допомогою яких ЦП виконує управління зовнішніми пристроями чи, навпаки, зовнішні пристрої здійснюють безпосередній вплив на процес обробки даних у ЦП. Ці сигнали подаються і знімаються, як правило, зі спеціально призначених входів і виходів ( $RD, WR, HALT$  та ін.);  $*$  – невизначене значення сигналу.

Підмножину  $D^C$  утворюють команди управління ЦП

$$D^C = \{D_1^C, \dots, D_i^C, \dots, D_c^C\}, \quad D_i^C = \{C_{i1}, \dots, C_{ij}, \dots, C_{ig}\}, \quad C_{ij} \in (0, 1, *),$$

де  $C$  – число команд управління в системі команд складного ЦП;  $g$  – розрядність  $i$ -ої команди управління.

Множина  $D^C$  задає множину функцій  $\Phi$ , причому

$$\Phi = \{\Phi_1, \dots, \Phi_j, \dots, \Phi_a\},$$

де  $a$  – число функцій, які реалізує МП в цифровому пристрої;  $\Phi_j$  – функція (правило), згідно якій вхідній змінній  $D_i^S$  ставиться у відповідність вихідна змінна  $D_i^Z$ .

Вихідні реакції ЦП на ВВ утворюють множину багатомірних вихідних змінних  $D^Z$ ,

$$D^Z = \{D_1^Z, \dots, D_i^Z, \dots, D_r^Z\}, \quad D_i^Z = \{Z_{i1}, \dots, Z_{ij}, \dots, Z_{iS}\}, \quad Z_{ij} \in (0, 1, *),$$

де  $r$  – число вихідних шин;  $S$  – розрядність  $i$ -ої вихідної шини.

Множина  $D_i^Z$  утворюється з множини  $D^S$  за рахунок функціональних перетворень вхідних змінних, при яких здійснюється переключення визначених ЛЕ. У цьому випадку справедливий наступний вираз:

$$D_i^Z = F(D^S, D^U). \quad (1)$$

Шина живлення з відповідними  $U_{\text{жив}}$  являється невід'ємною частиною ЦП, що бере участь при її функціонуванні та, як правило, є загальною для всіх її ЛЕ. У цьому випадку справедливий наступний вираз:

$$I_{\text{жив}} = F(D^Z, D^S, D^U). \quad (2)$$

Вираз (2) показує аналітичну залежність  $I_{\text{жив}}$  від інформаційних та управляючих ВВ і вихідних реакцій складного ЦП. Аналіз виразів (1) і (2) показує, що діагностування ЦП можна здійснити за кількома джерелами діагностичної інформації: ДП в часовій і частотній області при обробці енергодинамічних імпульсів і ВР цифрових пристроїв.

Проведення діагностування ЦП існуючими методами за допомогою діагностичних параметрів в часовій області при обробці енергодинамічних імпульсів і вихідних реакцій цифрових пристроїв являється неефективним. Проте, перехід від звичайної, просторово-часової форми обробки і подання енергодинамічних імпульсів до частотно-спектральної форми приводить до більш тонкого механізму аналізу сигналів. Підвищення достовірності в цьому випадку обумовлене тим, спектр енергодинамічних імпульсів містить інформацію про функції на всьому періоді його зміни. Тому надалі діагностування ЦП буде здійснюватися за такими джерелами діагностичної інформації як спектр імпульсів енергодинамічних перехідних процесів в шині живлення.

*На другому етапі* здійснюється декомпозиція ЦП на  $L$  модулів та виділення груп змінних. Декомпозиція ЦП на функціонально-завершені вузли дозволяє скоротити розглянуту множину припустимих  $D^S$  і  $D^U$ , що значно спрощує побудову та упорядкування ВВ. Великі інтегральні схеми у цифрових пристроях можна представити у вигляді сукупності функціонально-завершених вузлів (частин ВІС, що виконують деякі операції над вхідними впливами), які далі будемо називати модулями. Модулі взаємодіють між собою у рамках чітко визначеної структури міжмодульних зв'язків, які визначаються сукупністю внутрішньокристалічних шин, управляючих сигналів і відповідно до протоколів взаємодії.

Згідно правила Фуджівари при декомпозиції схеми з  $N_0$  станами на  $L$  модулів з  $N_l$  станами кожного модуля при умові, що  $N_0 = \sum_l N_l$ ,  $l = \overline{1, L}$  згідно правила трикутника будимо мати  $\sum_l (N_l) < (\sum_l N_l)^2 = N_0^2$ . Час  $T_r$ , необхідний на генерацію ВВ для всієї схеми, значно перевищує суму часу, необхідного на генерацію ВВ для окремої частини схеми, тобто  $\sum_l T_l < T_r$ . Таким чином, модульна архітектура приводить до скорочення затрат на час тестування. Кожний модуль ЦП характеризується реалізованими функціями  $\Phi_j$ , кількість яких визначається управляючими сигналами даного модуля  $j_i$ .

В загальному випадку на кожний модуль надходять інформаційні і управляючі впливи і подаються відповідні рівні напруги живлення, а сам модуль може мати декілька вихідних шин даних і живлення. Обмежимося розглядом модулів з однією вихідною шиною даних і живлення. Модулі з кількома вихідними шинами і шинами живлення будемо розділяти на деяку сукупність модулів з однією вихідною шиною даних і шиною живлення.

За конструктивно-схемотехнічним рішенням всі модулі можна розділити на асинхронні і синхронні. У асинхронних модулів ВР на ВВ з'являється через час  $t_s$  (затримка при проходженні сигналу в схемі). У синхронних модулів термін появи ВР на ВВ залежить, як від  $t_s$ , так і від часу надходження на їх відповідні входи синхронізуючих імпульсів  $\gamma_c$ , ( $\gamma_c \in J_i$ , синхросигнал  $\gamma_c$ , який являє собою одиничний (нульовий) імпульс, що надходять у визначені (дискретні) моменти часу  $t_i \in T$ ;  $T$  – множина дискретних моментів часу). Сигнал, що обробляється у ЦП, послідовно проходить через вказані модулі.

За реакцією на ВВ всі модулі можна розділити на комбінаційні і послідовні. Модулі комбінаційного типу – це такі модулі, ВР яких залежить тільки від ВВ, що діють у даний момент часу  $t_i$ , і не залежить від ВВ, що діяли у попередній момент часу  $t_{i-1}$ . До таких

модулів відносяться схеми, які не містять елементів пам'яті (мультиплексори, арифметично-логічні пристрої, багаторозрядні регістри зсуву та ін.).

Модулі послідовного типу – це такі модулі, ВР яких залежить як від ВВ, що діють на його входах у даний момент часу  $t_i$ , так і ВВ, що надійшли на його входи у  $n$  попередніх моментів часу  $t_j$ ,  $j = \overline{(i - n), i}$ . До таких модулів відносяться схеми, які містять елементи пам'яті (регістри, лічильники та ін.).

Загальні змінні модулів обох типів розділимо на наступні групи:

1) множина інструкцій  $J = \{J_1, \dots, J_{ij}, \dots, J_{id}\}$ ,  $J_i = \{\Omega_{i1}, \dots, \Omega_{ij}, \dots, \Omega_{iu}\}$ ,  $\Omega_{ij} \in (0, 1, *)$ , ( $d$  – кількість управляючих інструкцій;  $u$  – розрядність управляючої шини модуля);

2) множина багатомірних вхідних змінних  $D^x = \{D_1^x, \dots, D_i^x, \dots, D_k^x\}$ ,  $D_i^x = \{X_{i1}, \dots, X_{ij}, \dots, X_{ib}\}$ ,  $X_{ij} \in (0, 1, *)$ , ( $k$  – кількість зовнішніх шин ВІС чи вихідних шин модуля комбінаційного типу;  $b$  – розрядність  $i$ -тої шини ВВ, яка являє собою зовнішню шину ВІС або вихідну шину модуля комбінаційного типу);

3) множина багатомірних вхідних змінних  $D^y = \{D_1^y, \dots, D_i^y, \dots, D_h^y\}$ ,  $D_i^y = \{Y_{i1}, \dots, Y_{ie}, \dots, Y_{ir}\}$ ,  $Y_{ie} \in (0, 1, *)$ , ( $h$  – кількість шин, які відповідають змінній стана модуля послідовного типу;  $r$  – розрядність  $i$ -ої шини ВВ, яка відповідає вихідній змінній стана модуля послідовного типу).

Змінні модуля комбінаційного типу розділимо на наступні групи:

1) множина багатомірних вихідних змінних  $D_{\text{комб}}^z = \{Z_1^k, \dots, Z_i^k, \dots, Z_v^k\}$ ,  $Z_i^k \in (0, 1, *)$ , ( $v$  – розрядність вихідної шини модуля комбінаційного типу);

2) значення напруги шини живлення  $U_{\text{комб}}$ , для якої характерним є те, що при протіканні ПП струм споживання  $I_{\text{комб}}$  залежить від виду тестових впливів і технології виготовлення ОК (ТТЛ, КМОН та ін.).

Змінні модуля послідовного типу розділимо на наступні групи:

1) множина багатомірних вихідних змінних  $D_{\text{посл}}^z$ , якій відповідає перемінна стану  $D_{\text{посл}}^z = \{Z_1^p, \dots, Z_i^p, \dots, Z_f^p\}$ ,  $Z_i^p \in (0, 1, *)$ , ( $f$  – розрядність вихідної шини модуля послідовного типу);

2) значення напруги шини живлення  $U_{\text{посл}}$ , для якої характерним є те, що при протіканні ПП струм споживання  $I_{\text{посл}}$  залежить від виду вхідних впливів, внутрішнього стану модулю, технології виготовлення ОК (ТТЛ, комплементарний метал-оксид-напівпровідник (КМОН), та ін.).

**На третьому етапі** здійснюється синтез діагностичної моделі для імпульсів енергодинамічних перехідних процесів в шині живлення для елементарного логічного елемента цифрового пристрою (рис. 2, б).

На рис. 2,а приведено вхідний імпульс, який поступає на вхід логічного елемента [4, 5, 6]. Напруга на вході вихідних трансляторів зростає до рівня  $U_{\text{пор1}}$  (рис. 2,б), після чого починається лавиноподібний процес відкриття одного транзистора і закриття другого. В деякий момент часу обидва транзистора виявляються відкритими, що спричиняє протікання струму короткого замикання  $I_{\text{кз}} \approx 800 \text{ мА}$ .

Час протікання  $I_{\text{кз}}$  складає одиниці наносекунд. Цей процес викликає в шині живлення імпульси енергодинамічних перехідних процесів  $I_{\text{пп}} \approx 20 \text{ мА}$ , які швидко затухають (рис. 2,б). При закінченні вхідного імпульсу виникає зворотній процес, коли напруга на вході вихідних трансляторів впаде до рівня  $U_{\text{пор2}}$  [6].

Із розглянутих рисунків видно, що

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\text{жив}}}{R_{\text{нас1}} + R_{\text{нас2}}} \approx \frac{U_{\text{жив}}}{2R_{\text{нас}}}, \quad I_{\text{пп}} = \frac{U_{\text{жив}}}{R_{\text{дин1}} + R_{\text{дин2}}} \approx \frac{U_{\text{жив}}}{2R_{\text{дин}}}, \quad (3)$$

де  $R_{нас1}, R_{нас2}, R_{нас}$  – опір переходу колектор-емітер транзисторів  $VT1, VT2$  та його середнє значення в режимі насичення транзисторів відповідно, динамічний опір переходу колектор-емітер транзисторів  $VT1, VT2$  та його середнє значення, відповідно.

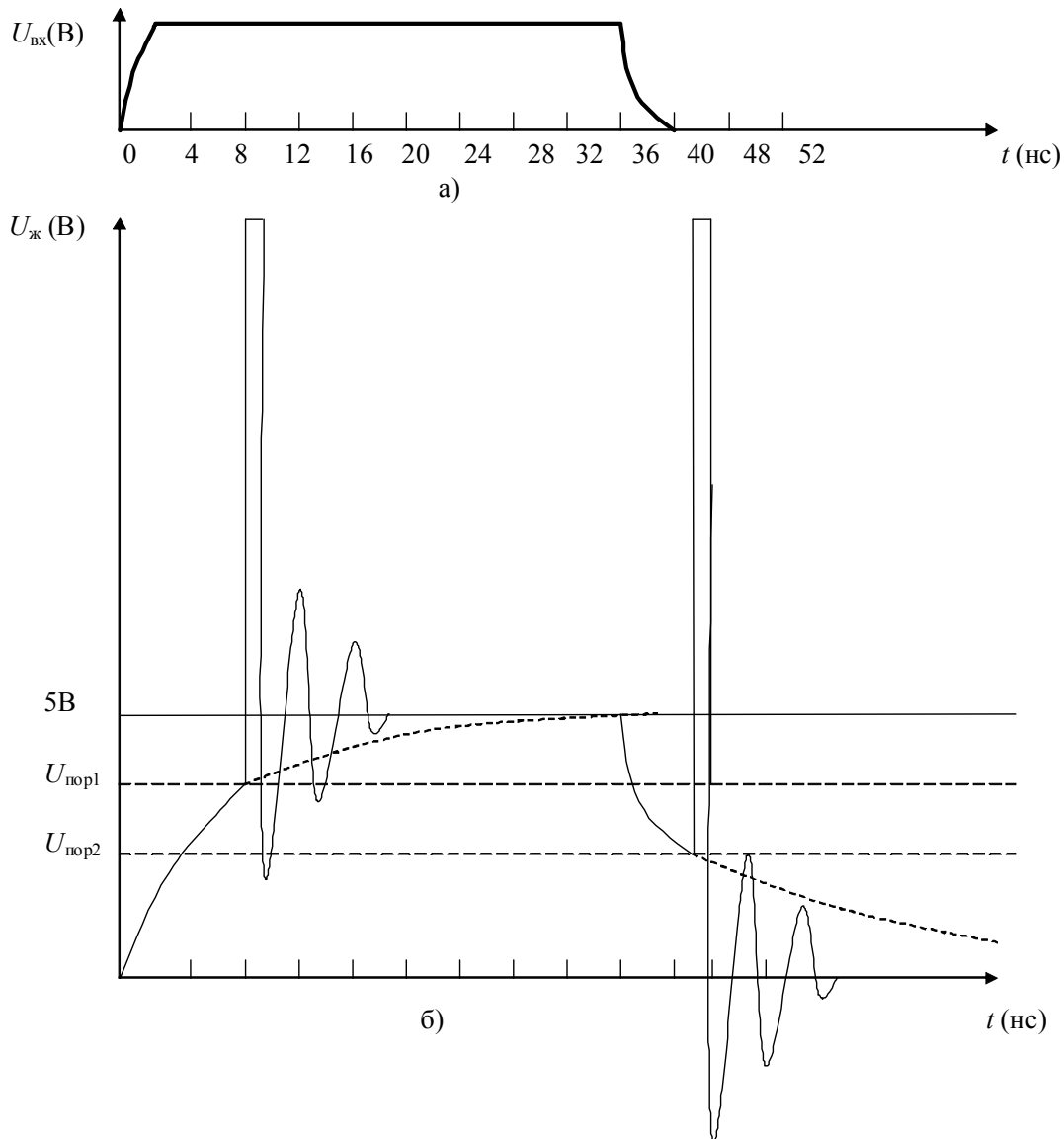


Рис. 2. Імпульси енергодинамічних перехідних процесів в шині живлення цифрових пристроїв

Таким чином, в якості діагностичного параметра можна вибрати струм короткого замикання  $I_{кз}$ , який залежить від стану підсистем управління, обробки інформації та управління вихідними трансляторами, енергоживлення, а також стану вихідних трансляторів логічного елемента.

**На четвертому етапі** здійснюється синтез діагностичної моделі для узагальненого модуля ЦП. Для отримання єдиної та однозначної залежності ВР від тестового впливу об'єднуємо всі зовнішні інформаційні вхідні шини і всі внутрішні шини в одну з узагальненою розрядністю  $H$  таким чином, що

$$\{D^x\} \cup \{D^y\} = \{D^I\} = \{I_1, \dots, I_i, \dots, I_H\}, H = \sum_{i=1}^k b_i + \sum_{i=1}^h r_i, I_i \in (0, 1, *).$$

Об'єднання декількох однорідних шин в одну припустимо. В цьому випадку зберігаються фізичний зміст процесів, що описуються, і коректність ДМ, а також

здійснюється перехід від однієї форми представлення вхідних змінних до іншої. В узагальненому модулі вихідна перемінна  $D^w$  описується наступним виразом:

$$D^w = \{w_1, \dots, w_i, \dots, w_\gamma\}, \quad w_i \in (0, 1, *), \quad \gamma - \text{розрядність вихідної шини.}$$

Для модуля комбінаційного типу величина  $D^w = D_{\text{комб}}^z$ , для модуля послідовного типу –  $D^w = D_{\text{посл}}^z$ . В узагальненому модулі при протіканні ПП значенню напруги  $U_{\text{узаг}}$  шини живлення відповідає струм споживання  $I_{\text{узаг}}$ . При цьому для модуля комбінаційного і послідовного типів  $I_{\text{узаг}} = I_{\text{комб}} \cup I_{\text{посл}}$ .

Таким чином, ДМ  $l$ -го узагальненого модуля має вигляд:

$$M_F^l = F(T, D^l, D^w, \Phi^w, I_{\text{узаг}}, J), \quad (4)$$

де  $\Phi^w$  – множина функцій, що визначають значення  $D^w$  відповідного типу модуля при відомих  $T, J, D^w$ .

Допоміжним параметром, який характеризує складність розробленої діагностичної моделі ЦП, являється формат множини функцій  $\Phi^w$  змінних  $D^l, D^w, J$ , що визначає їх розмірність, тобто  $\Phi^w = \langle D^l, D^w, J \rangle$ .

Як видно, вираз (4) є узагальнюючим і справедливим для будь-якого узагальненого модуля ЦП. Таким чином, розроблена діагностична модель узагальненого модуля ЦП з урахуванням ПП відображає реальні фізичні процеси, які протікають в цифровому пристрої, універсальна і може бути використана в якості базової моделі для розгляду типових дефектів, розробки загальних правил та методики побудови ТВ і розробки методу діагностування з урахуванням ПП. Це дає можливість розраховувати значення діагностичних параметрів узагальненого модуля в справному стані та для різних типів дефектів ЦП і умов їх прояву на структурному і функціональному рівнях.

**3. Висновки.** Таким чином, в статті вирішено важливе актуальне наукове завдання розробки діагностичної моделі узагальненого модуля ЦП для удосконаленого спектрального методу на основі енергодинамічних перехідних процесів в шині живлення.

1. Проведено оцінку і вибір діагностичних параметрів логічних елементів цифрових пристроїв. В якості носіїв діагностичної інформації вибрані енергодинамічні перехідні процеси в шині живлення ЦП, які мають однозначну функціональну залежність з вихідними реакціями і параметрами (амплітудними і часовими) логічних елементів пристрою.

2. В результаті аналізу внутрішньої структури ЦП і взаємодії основних функціональних вузлів у рамках цієї структури розроблено діагностична модель узагальненого модуля ЦП з урахуванням ПП у шині живлення. Дана модель є узагальнюючою і справедливою для будь-якого ЦП. Вона відрізняється від відомих одночасним описом внутрішньої структури об'єкта контролю, функціональною залежністю між вихідними реакціями цифрового пристрою і сигналами в шині живлення при надходженні на ЦП вхідних впливів. Дана ДМ може використовуватись як базова для побудови ВВ на структурно-функціональному і структурному рівнях.

#### Список використаної літератури

1. 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. 17-22.

2. Жердев М. К. Контроль технічного стану цифрових типових елементів заміни електромагнітним способом / М. К. Жердев, В. В. Вишнівський, Г. Б. Жиров, С. І. Глухов // Збірник наукових праць ВІТІ НТУУ "КПІ". – 2006. – № 3. С. 9- 12.

3. Жердев М. К. Напрями розвитку систем контролю технічного стану і діагностування складних технічних систем / М. К. Жердев, В. В. Вишнівський, І. В. Пампуха, О. Ю. Скуйбіда // Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного



університету імені Тараса Шевченка. – 2006. – № 3. – С. 22-25.

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

5. Вишнівський В. В. Обґрунтування можливості використання параметрів спектру енергодинамічних імпульсів для контролю технічного стану цифрових пристроїв об'єктів РЕЗО / В. В. Вишнівський, М. Г. Ніколайчук // Третя науково-практична конференція молодих учених і студентів "Інформаційно-вимірювальні технології, технічне регулювання та менеджмент якості: стан, досягнення і перспективи". – Одеса, 2012. – С. 206-207.

6. Вишнівський В. В. Діагностична модель спектрального аналізу енергодинамічних імпульсів при наявності збоїв / В. В. Вишнівський, М. Г. Ніколайчук // Дев'ята регіональна конференція студентів і молодих науковців «Інформатика, інформаційні системи та технології». – Одеса, 2012. – С. 67-68.

### References

1. Vyshnivskiy V. V., Zherdiev M. K., Kredentser B. P., Kyzavkov V. V., Redziuk Ye. V. "Without pin induction method of diagnosing of radio electronic blocks". *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka* 43 (2013): 17-22.

2. Zherdiev M. K., Vyshnivskiy V. V., Zhyrov H. B., Hlukhov S. I. "Control of the technical state of digital typical replace elements an electromagnetic method". *Zbirnyk naukovykh prats VITI NTUU "KPI"* 3 (2006): 9-12.

3. Zherdiev M. K., Vyshnivskiy V. V., Pampukha I. V., Skuibida O. Yu. "Development directions of the control system of the technical state and diagnosing of the complex technical systems". *Zbirnyk naukovykh prats Viiskovoho instytutu Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka* 3. (2006): 22-25.

4. Vyshnivskiy V. V., Zherdiev M. K., Lenkov S. V., Protsenko V. O. "Diagnostics of digital and analog devices of radio electronic technique". *Kyiv: Znannia Ukrainy* (2009): 220.

5. Vyshnivskiy V. V., Nikolaichuk M. H. "A ground of the possibility to use the parameters of spectrum of energy-dynamic impulses for control of the technical state of digital devices of radio electronic weapons". *The 3-d scientific practical conference of young scientists and students "Informatively measurings technologies, technical adjusting and management of quality: state, achievement and prospects"*. Odesa (2012): 206-207.

6. Vyshnivskiy V. V., Nikolaichuk M. H. "A diagnostic model of spectrology of energy-dynamic impulses at presence of failures". *The 9-th regional conference of students and young research workers «Informatics, informative systems and technologies»*. Odesa (2012): 67-68.

### Автори статті

**Вишнівський Віктор Вікторович** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних наук, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел.: +380 (63) 474 79 24. E-mail: vish\_vv@ukr.net.

**Жердев Микола Костянтинівич** – доктор технічних наук, професор, Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ. Тел.: +380 (63) 462 93 34. E-mail: vish\_vv@ukr.net.

**Савран Віталій Олександрович** – аспірант науково-дослідного центру Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ. Тел.: +380 (50) 928 48 32. E-mail: savrvital@ukr.net.

### Authors of the article

**Vyshnivskiy Viktor Viktorovich** – sciences doctor (technic), professor, head of Computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel.: +380 (63) 474 79 24. E-mail: vish\_vv@ukr.net.

**Zherdiev Mykola Kostiantynovich** – sciences doctor (technic), professor, Military Institute of Telecommunications and Information, Kyiv. Tel.: +380 (63) 462 93 34. E-mail: vish\_vv@ukr.net.

**Savran Vitalii Oleksandrovyh** – post-graduate student of the scientific research center of the Military Institute of Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv. Tel.: +380 (50) 928 48 32. E-mail: savrvital@ukr.net.

Дата надходження  
в редакцію: 11.06.2017 р.

Рецензент:  
доктор технічних наук, професор Б. П. Креденцер  
*Військовий інститут телекомунікацій та  
інформатизації, Київ*