

ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИЧНО-КОНФІГУРОВАНОЇ ПЛІС У ЦИФРОВІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ РАДІОСПЕКТРОМЕТРОМ ЯКР

Розроблено цифрову систему керування імпульсним Фур'є радіоспектрометром ЯКР лабораторного типу, головні функціонально-алгоритмічні методи якої реалізовано в програмованій логічній інтегральній схемі (ПЛІС) Cyclone EP1C12F324. Алгоритм запропонованої програми та конфігураційна структура ІС, створені засобами синтаксису моделювання динамічних режимів логічних структур на основі автомату кінцевих станів та функціональних модулів, передбачають налаштування усіх необхідних режимів роботи ЯКР спектрометра та оперативний контроль за проведенням радіофізичного експерименту. Передача команд на виконуючі пристрої радіоспектрометра з швидкістю 3,15 Мбіт/с забезпечується через 4-бітний паралельний інтерфейс.

Ключові слова: алгоритм, автомат кінцевих станів, знакогенератор, ПЛІС, радіоспектрометр, система керування, ЯКР

1. Вступ. Програмовані логічні інтегральні схеми надають широкі можливості для конфігурування радіоелектронних систем, як на етапі розроблення, так і після виготовлення. Оперативне конфігурування, особливо на етапі виробництва обладнання, дозволяє диференціювати кінцеву електронну систему при одночасному зменшенні витрат, проектних ризиків, і суттєво пришвидшує час виходу продукту на ринок [1-3]. Сучасні статично-конфігуровані ПЛІС пропонують множину додаткових функцій, які включають вбудовані мікропроцесори (системи на кристалі СНК-ПЛІС), модулі пам'яті, цифрові сигнальні процесори, високошвидкісні інтерфейси та інші важливі функціональні блоки [3].

У випадку розроблення апаратури спостереження ЯКР та релаксаційних процесів (часи спин-спінової та спин-граткової релаксацій) у твердих тілах також часто виникає необхідність у передбаченні гнучкості вимірювальної системи: впровадження нових мульти-імпульсних методик дослідження, адаптація параметрів синтезованих сигналів для дослідження нових ядер, реалізація чутливого приймального тракту з можливістю цифрового накопичення та фільтрації сигналів спаду вільної індукції та ін [4, 5]. Така гнучкість конфігурування апаратури спостереження ЯКР можлива тільки завдяки застосуванню ПЛІС [5].

Метою даної роботи є створення цифрової системи керування імпульсним спектрометром ЯКР [6] з можливістю оперативної зміни її конфігурації, шляхом застосування статично-конфігурованої ПЛІС та синтаксису динамічних режимів логічних структур.

2. Синтез автомату кінцевих станів. Для забезпечення оперативного контролю над ходом експерименту і вибору його початкових умов в портативному радіоспектрометрі ЯКР необхідна наявність гнучкої системи керування [7]. Серед основних функціональних задач такої системи варто виділити наступні: наявність запам'ятовуючого пристрою для запису даних про основні налаштування та режими роботи спектрометра, можливість введення даних за допомогою користувальницького інтерфейсу, зручне та водночас інформативне меню керування налаштуваннями, наявність графічного інтерфейсу для відображення інформації про стан та режими роботи спектрометра, зв'язок з виконуючими модулями спектрометра через цифрову шину даних [8]. Для розробки вибрана недорога платформа Altera NIOS-EVALKIT-1C12, важливою перевагою якої є наявність апаратних засобів необхідних для виконання зазначених вище функціональних задач. Платформа містить ПЛІС EP1C12F324 сімейства Cyclone, мікросхему синхронного динамічного ОЗП об'ємом 16 МБ, мікросхему Flash-ПЗП об'ємом 8 МБ, генератор тактової частоти 24 МГц, 48 портів вводу-виводу, шини живлення 3,3 В і 5,0 В [9].

Алгоритм роботи програмної частини запропонованої системи зображений на рис. 1.

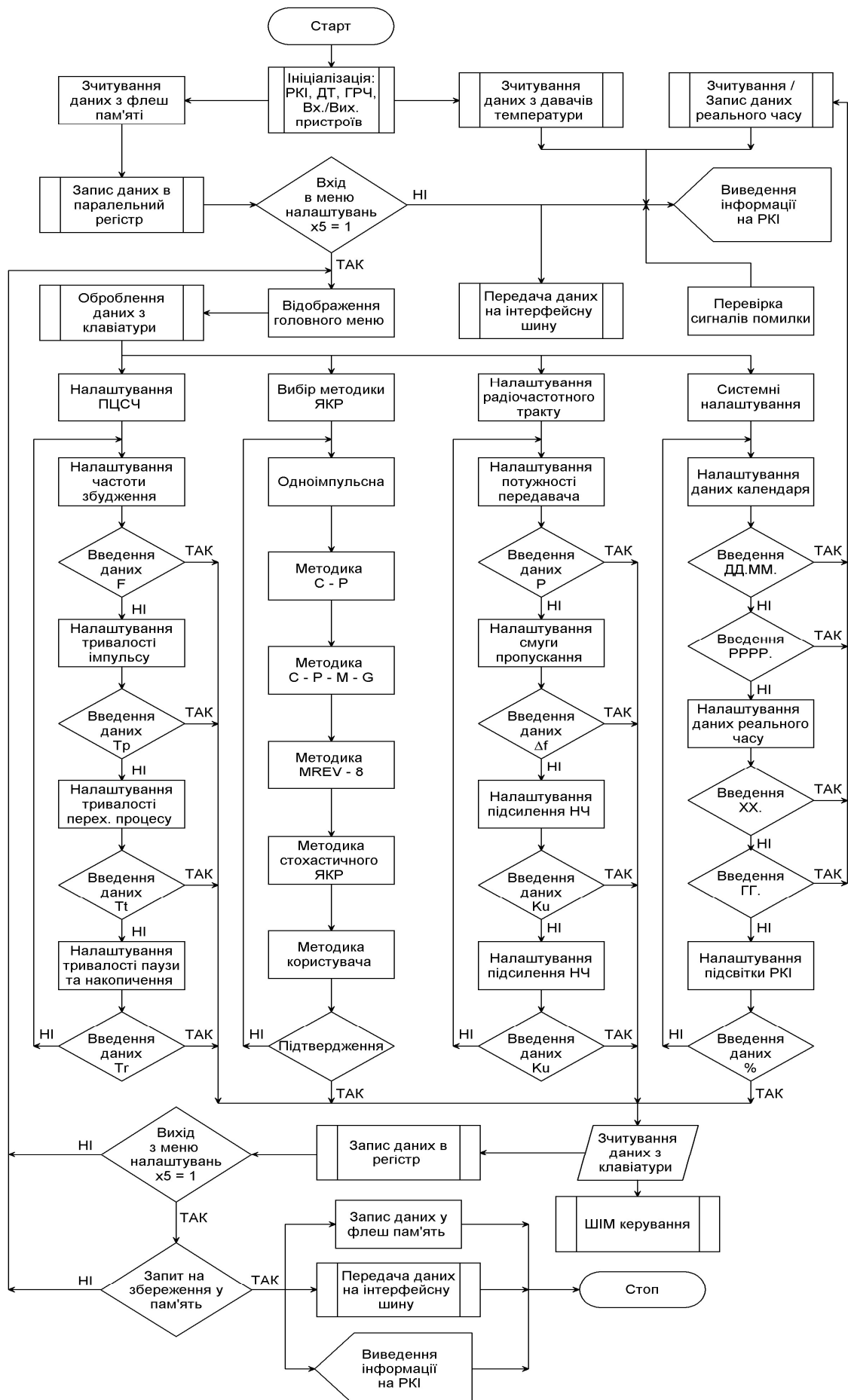


Рис. 1. Алгоритм роботи програми ПЛІС

Початковим етапом є ініціалізація пристроїв вводу-виводу, опитування датчика температури, зчитування налаштувань з зовнішньої флеш-пам'яті та наступний запис вихідних даних у регістри. В такому випадку пристрій забезпечує відображення основних параметрів на дисплеї та вивід їх на інтерфейсну шину. В цілому розроблений алгоритм передбачає можливість налаштування синтезатора прямого цифрового синтезу частот (ПЦСЧ), вибору типу послідовності сигналів збудження ЯКР, налаштування параметрів високочастотного тракту спектрометра та системи керування ним [8]. По завершенні налаштувань при повторному натисканні на кнопку «меню» перевіряється виконання умови збереження даних. При її виконанні нові дані записуються в енергонезалежну пам'ять та транслюються на інтерфейсну шину спектрометра. На дисплеї відображається головний екран.

Для реалізації наперед заданого алгоритму синтезовано автомат кінцевих станів, алфавіт вихідних послідовностей, якого $Y = \{y_1, y_2[4:0], y_3\}$ визначається множиною станів машини $S^0 = \{s_0, s_1, s_2, \dots, s_{32}\}$, а множина вхідних символів задана алфавітом $X = \{x_1, x_2, \dots, x_{5M}\}$ (табл. 1).

Табл. 1

Вхідні дані	Призначення входу x_N	Стани автомату	Опис стану s_N	Вихідні дані
x_1	Таймер ініціалізації	s_1	Ініціалізація	$y_1 = 1$
		s_2	Старт методики №1	$y_2[4:0] = 'b00000$
x_2	Завантаження методики	s_3	Старт методики №2	$y_2[4:0] = 'b00001$
		s_4	Старт методики №3	$y_2[4:0] = 'b00010$
x_3	Таймер збереження	s_5	Старт методики №4	$y_2[4:0] = 'b00011$
		s_6	Старт методики №5	$y_2[4:0] = 'b00100$
x_4	Таймер виходу	s_7	Налаштування синтезатора	$y_2[4:0] = 'b00101$
		s_8	Вибір методики	$y_2[4:0] = 'b00110$
x_5	Команда ввійти у меню	s_9	Налаштування ВЧ тракту	$y_2[4:0] = 'b00111$
		s_{10}	Системні налаштування	$y_2[4:0] = 'b01000$
x_6	Команда вверх	s_{11}	Вибір частоти збудження	$y_2[4:0] = 'b01001$
		s_{12}	Вибір тривалості імпульсу	$y_2[4:0] = 'b01010$
x_7	Команда вниз	s_{13}	Час перехідного процесу	$y_2[4:0] = 'b01011$
		s_{14}	Вибір тривалості паузи	$y_2[4:0] = 'b01100$
x_8	Команда підтвердження	s_{15}	Одноімпульсна методика	$y_2[4:0] = 'b01101$
		s_{16}	Методика С - Р	$y_2[4:0] = 'b01110$
x_9	Команда відхилення	s_{17}	Методика С - Р - М - G	$y_2[4:0] = 'b01111$
		s_{18}	Методика MREV - 8	$y_2[4:0] = 'b10000$
x_{10}	Таймер режиму сну	s_{19}	Методика стохастичного ЯКР	$y_2[4:0] = 'b10001$
		s_{20}	Користувальницька методика	$y_2[4:0] = 'b10010$
x_{11}	Вихід з режиму сну	s_{21}	Інтенсивність збудження	$y_2[4:0] = 'b10011$
		s_{22}	Смуга пропускання	$y_2[4:0] = 'b10100$
x_{1M}	Активація методики №1	s_{23}	Підсилення НЧ сигналу	$y_2[4:0] = 'b10101$
		s_{24}	Фаза опорного сигналу	$y_2[4:0] = 'b10110$
x_{2M}	Активація методики №2	s_{25}	Встановлення системної дати	$y_2[4:0] = 'b10111$
		s_{26}	Встановлення системного часу	$y_2[4:0] = 'b11000$
x_{3M}	Активація методики №3	s_{27}	Яскравість дисплея	$y_2[4:0] = 'b11001$
		s_{28}	Тривалість режиму сну	$y_2[4:0] = 'b11010$
x_{4M}	Активація методики №4	s_{29}	Запит збереження параметрів	$y_2[4:0] = 'b11011$
		s_{30}	Не зберігати	$y_2[4:0] = 'b11100$
x_{5M}	Активація методики №5	s_{31}	Зберігати	$y_2[4:0] = 'b11101$
		s_{32}	Режим сну, заставка	$y_3 = 1$

Початковим є стан $s_0 \in S$. Під час оброблення вхідних символів машина спочатку переходить зі стану s_0 в $s_1 = f(s_0, x_1)$. Процес триває до досягнення стану $s_{32} = f(s_2 \vee s_3 \vee s_4 \vee s_5 \vee s_6, x_{10})$. Така послідовність переходів формує вихідний алфавіт. Символ $y_1 = g(s_0)$ відповідає переходу з s_0 в s_1 . Множина символів $y_2[4:0] \in Y$ відповідає переходам між s_1 та s_{31} . Символ $y_{32} = g(s_2 \vee s_3 \vee s_4 \vee s_5 \vee s_6)$ відповідає переходу машини в стан s_{32} .

На рис. 2 у вигляді орієнтованого мультиграфа показано фрагмент діаграми станів машини, що відповідає алгоритму на рис. 1 (перехідні стани не підписано).

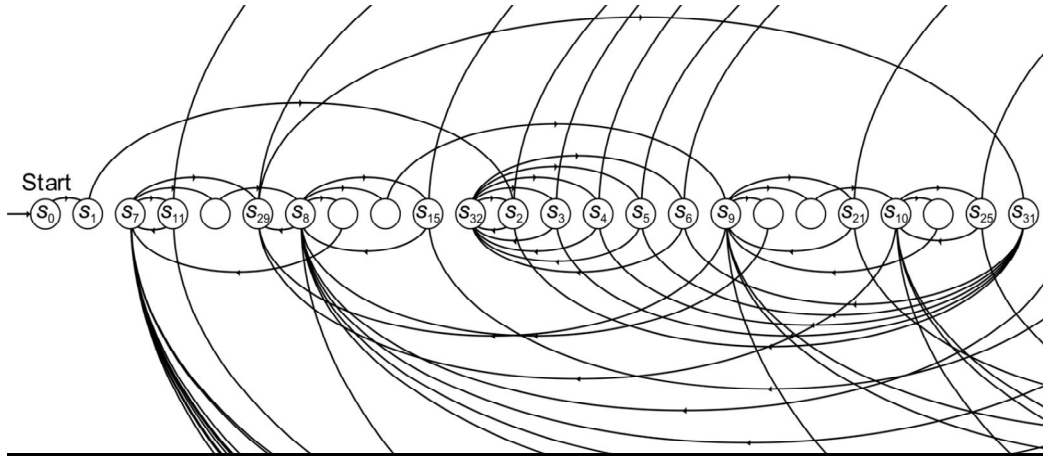


Рис. 2. Діаграма станів синтезованого автомату кінцевих станів

Функції переходів $f: S \times X \rightarrow S$ та функції виходів $g: S \rightarrow Y$ автомату кінцевих станів описані на мові VHDL. Фрагмент програмного коду наведено нижче.

```
-- Copyright (C) 1991-2010 Altera Corporation
LIBRARY ieee;
USE ieee.std_logic_1164.all;
```

```
ENTITY ALG1 IS
  PORT (
    reset : IN STD_LOGIC := '0';
    clock : IN STD_LOGIC;
    x1 : IN STD_LOGIC := '0';
    x2 : IN STD_LOGIC := '0';
    x3 : IN STD_LOGIC := '0';
    x4 : IN STD_LOGIC := '0';
    x6 : IN STD_LOGIC := '0';
    x7 : IN STD_LOGIC := '0';
    x8 : IN STD_LOGIC := '0';
    x9 : IN STD_LOGIC := '0';
    x10 : IN STD_LOGIC := '0';
    x11 : IN STD_LOGIC := '0';
    xM1 : IN STD_LOGIC := '0';
    xM2 : IN STD_LOGIC := '0';
    xM3 : IN STD_LOGIC := '0';
    xM4 : IN STD_LOGIC := '0';
    xM5 : IN STD_LOGIC := '0';
    y1 : OUT STD_LOGIC;
    y2 : OUT STD_LOGIC_VECTOR(4 DOWNTO 0);
    y3 : OUT STD_LOGIC;
    y4 : OUT STD_LOGIC_VECTOR(4 DOWNTO 0);
  );
END ALG1;
```

```
ARCHITECTURE BEHAVIOR OF ALG1 IS
  TYPE type_fstate IS
    (Start, Logo, Main1, Menu1, Menu2, Menu3, Menu4, SAVE, YES, N
    O, DDS1, DDS2, DDS3, DDS4, NQR1, NQR2, NQR3, NQR4, NQR5
    , NQR6, RF1, RF2, RF3, RF4, Sys1, Sys2, Sys3, Sys4, Screen_sav, Ma
    in2, Main3, Main4, Main5, Main1_1, Menu1_2, Menu2_1, Menu2_3
```

```
PROCESS
(fstate, reset, x1, x2, x3, x4, x6, x7, x8, x9, x10, x11, xM1, xM2, xM3, x
M4, xM5)
BEGIN
  IF (reset='1') THEN
    reg_fstate <= Start;
    reg_y2 <= "00000";
    reg_y4 <= "00000";
    y1 <= '0';
    y3 <= '0';
    y5 <= '0';
  ELSE
    y1 <= '0';
    reg_y2 <= "00000";
    y3 <= '0';
    reg_y4 <= "00000";
    y5 <= '0';
    CASE fstate IS
      WHEN Start =>
        IF ((x1 = '1')) THEN
          reg_fstate <= Logo;
          -- Inserting 'else' block to prevent latch inference
        ELSE
          reg_fstate <= Start;
        END IF;
      WHEN Logo =>
        IF ((x2 = '1')) THEN
          reg_fstate <= Main1;
          -- Inserting 'else' block to prevent latch inference
        ELSE
          reg_fstate <= Logo;
        END IF;
    END CASE;
  END IF;
  reg_y2 <= "00011";
```

```

,Menu3_2,Menu3_4,Menu4_3,DDS1_2,DDS2_1,DDS2_3,DDS
3_2,DDS3_4,DDS4_3,NQR1_2,NQR2_1,NQR2_3,NQR3_2,N
QR3_4,NQR4_3,NQR4_5,NQR5_4,NQR5_6,NQR6_5,RF1_2,R
F2_1,RF2_3,RF3_2,RF3_4,RF4_3,Sys1_2,Sys2_1,Sys2_3,Sys3
_2,Sys3_4,Sys4_3,Main2_1,Main3_1,Main4_1,Main5_1);
SIGNAL fstate : type_fstate;
SIGNAL reg_fstate : type_fstate;
SIGNAL reg_y2 : STD_LOGIC_VECTOR(4 DOWNTO 0)
:= "00000";
SIGNAL reg_y4 : STD_LOGIC_VECTOR(4 DOWNTO 0)
:= "00000";
BEGIN
PROCESS (clock,reg_fstate,reg_y2,reg_y4)
BEGIN
IF (clock='1' AND clock'event) THEN
fstate <= reg_fstate;
y2 <= reg_y2;
y4 <= reg_y4;
END IF;
END PROCESS;

```

```

WHEN Main5_1 =>
IF (((x6 = '0') AND (x11 = '0')) THEN
reg_fstate <= Menu1;
-- Inserting 'else' block to prevent latch inference
ELSE
reg_fstate <= Main5_1;
END IF;

reg_y2 <= "00100";
WHEN OTHERS =>
y1 <= 'X';
reg_y2 <= "XXXXX";
y3 <= 'X';
reg_y4 <= "XXXXX";
y5 <= 'X';
report "Reach undefined state";
END CASE;
END IF;
END PROCESS;
END BEHAVIOR;

```

3. Розроблення конфігураційної структури ПЛІС. Конфігураційна структура ПЛІС (рис. 3) розроблена в середовищі для проектування проектів на НВІС Altera – САПР Quartus II Web Edition, використовуючи метод комплексного графічно-синтаксисного програмування.

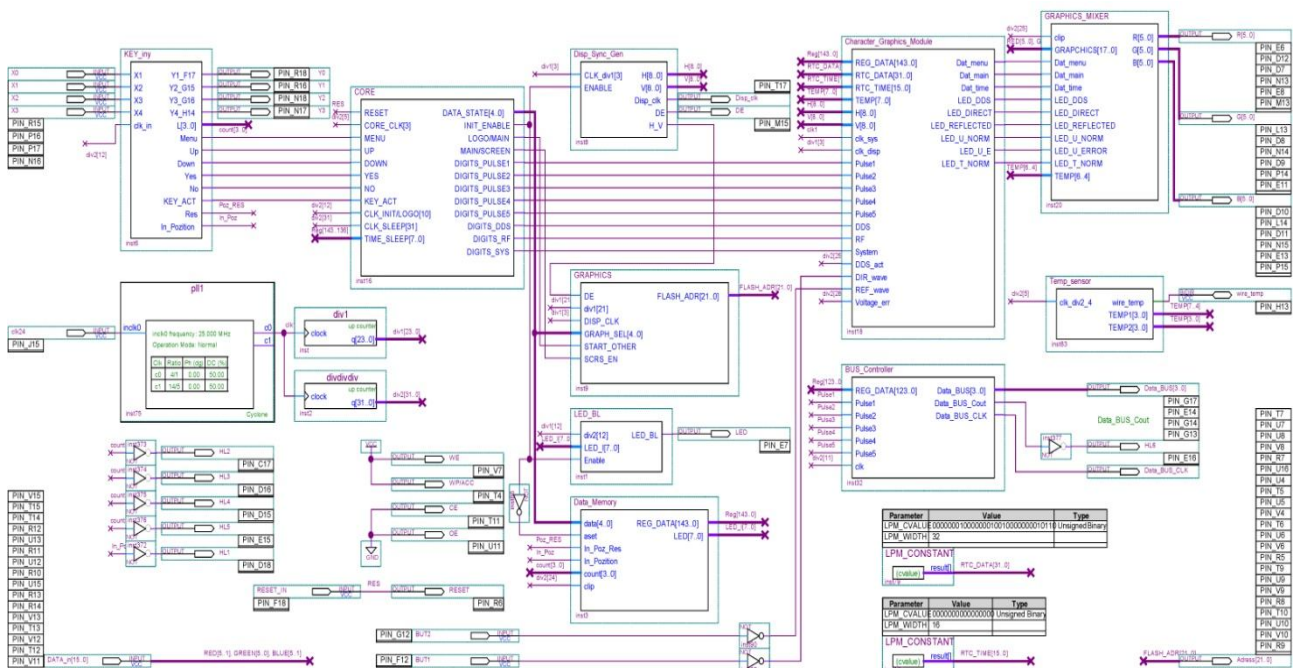


Рис. 3. Конфігураційна структура ПЛІС у вікні редактора схем САПР Quartus II

3.1. Головні модулі конфігураційної структури. У даній структурі головний модуль «core», побудований на основі автомату кінцевих станів та додаткових субмодулів комбінаційної (lpm_mult, lpm_decode, lpm_compare, lpm_mux) і послідовної (dff, latch, lpm_ff, lpm_counter) логіки, у відповідності до вихідних даних з модуля ініціалізації клавіатури «key_ini», забезпечує виконання функцій заданих програмним алгоритмом та виведення сигналів керування: Data_State[4..0]; Init_Enable; Logo/Main; Main/Screen; Digits (Pulse1-5, DDS, RF, SYS), необхідних для роботи інших модулів структури. Синхронна динамічна пам'ять «Data_Memory» необхідна для зберігання введених з клавіатури числових даних з метою їх подальшої переадресації модулем «BUS_Controller» на виконуючі пристрої спектрометра [8, 10]. Регістри даних, що розроблені для зберігання налаштувань параметрів спектрометра реалізовано на основі бібліотеки мегафункції LPM_DFF (паралельний регістр). Запис даних в регістри здійснюється відповідно до коду на адресній шині. Таким чином

створена система із 36-ти окремих 4-розрядних модулів LPM_DFF загальним об'ємом пам'яті 148 біт дозволяє зберігати налаштування ряду параметрів: частоти DDS, тривалості імпульсу збудження та перехідного процесу, паузи між імпульсами, типу послідовності, потужності передавача, смуги пропускання та підсилення радіоканалу спектрометра ЯКР. Синхронізація забезпечується від вбудованої в ПЛІС системи ФАПЧ та подільників «div», що формують частоти: 24 МГц – для ядра; 100 МГц – для графічної підсистеми; 6,25 МГц – для дисплея.

3.2. Графічна підсистема конфігураційної структури. Виведення зображення на рідкокристалічний індикаторний дисплей (РКІ) забезпечується графічною підсистемою конфігураційної структури, головний принцип роботи якої закладено в синтезі знако-символьної графіки – шрифтів та векторних динамічних зображень та мультиплексуванні цих даних з елементами фонові графіки (рис. 4).

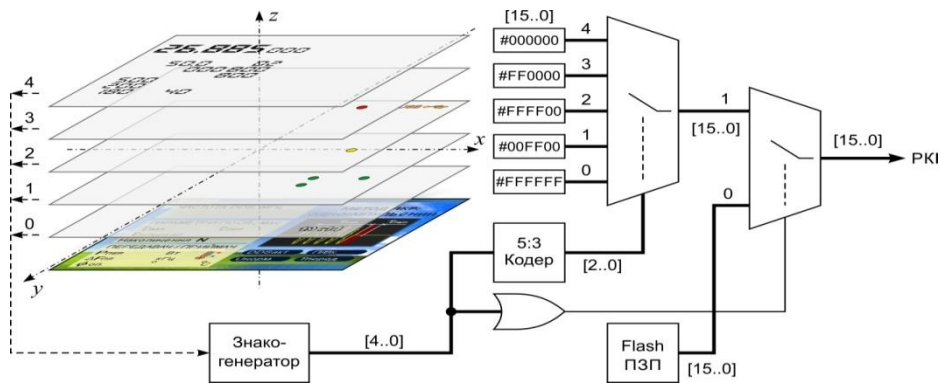


Рис. 4. Принцип мультиплексування графічних даних

Модуль «Disp_Sync_Gen» формує імпульси синхронізації растру, а «Graphics» – забезпечує зчитування 16-бітних даних фонові графіки із зовнішньої Flash-ПЗП AM29LV640MH об'ємом 64 Мбіт (рис. 3).

Структурний сегмент модуля знакогенератора «Character_Graphics_Module», що відповідає одному видимому символу на екрані РКІ зображено на рис. 5.

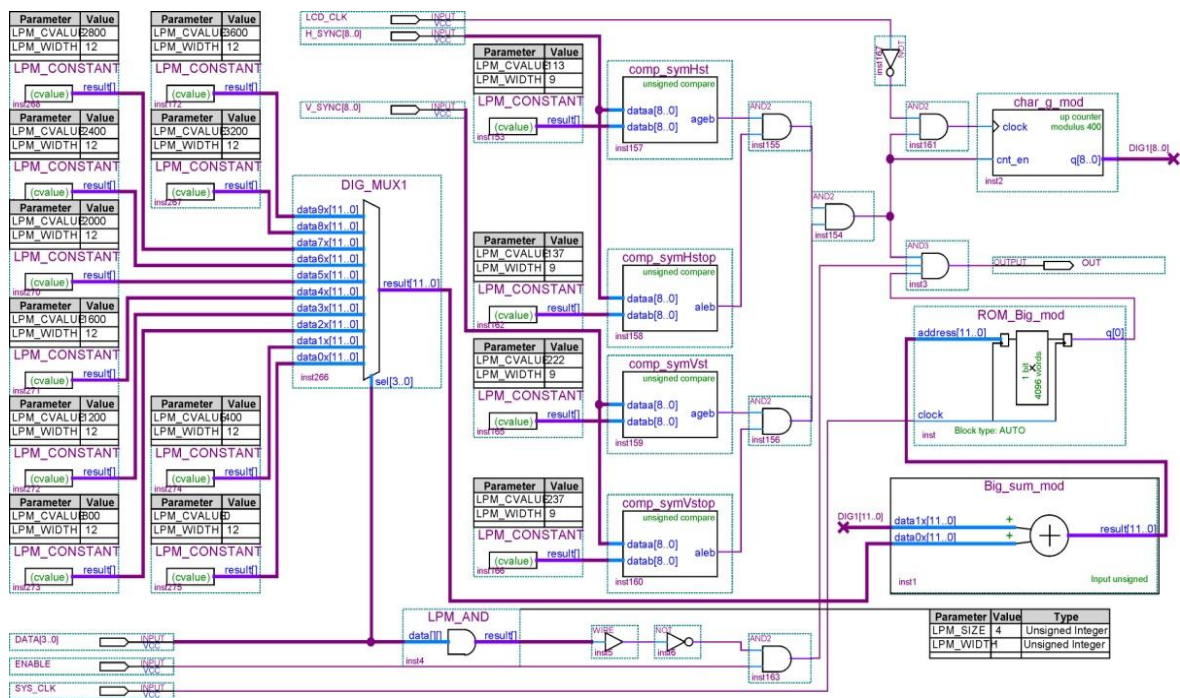


Рис. 5. Структурний сегмент модуля знакогенератора у вікні редактора схем САПР Quartus II

Головним елементом даного модуля є блок М4К-пам'яті «ROM_Big_mod», об'ємом 109 кбіт, що містить дані про графічне представлення 10-ти цифр від 0 до 9. Послідовне посторінкове зчитування графічних символів забезпечується подачею 11-розрядного коду на адресний вхід пам'яті. Адресація окремих сторінок забезпечується додаванням мультиплексованої числової константи до початкової адреси першого символу, яка змінюється при зміні даних на шині DATA[3..0]. Для шрифтів з іншим графічним представленням сформовано свої файли типу *.hex.

Ініціалізація контролера РКІ TD035STEB2 та виведення графіки через шістнадцяти-бітну шину даних забезпечується послідовністю виконання наступних операцій [11]:

- подача тактового сигналу частотою 6,5 МГц;
- подача імпульсу синхронізації у рядку тривалістю 2 мкс на лінію DE;
- виведення даних кольору першого пікселя першого рядка на паралельну шину [15..0];
- виведення даних кольору 240-го пікселя першого рядка на паралельну шину [15..0];
- виведення даних кольору 240-го пікселя першого рядка на паралельну шину [15..0];
- подача імпульсу синхронізації у кадрі тривалістю 12 мкс на лінію DE;
- виведення даних кольору першого пікселя другого рядка на паралельну шину [15..0];
- виведення даних кольору 240-го пікселя 320-го рядка на паралельну шину [15..0];
- виведення даних кольору 240-го пікселя 320-го рядка на паралельну шину [15..0];
- встановлення ліній шини [15..0] у стан високого імпедансу.

Зчитування даних температури починається з підпрограми ініціалізації, яка формує імпульс скидання тривалістю 30 мкс та приймає імпульси присутності тривалістю 60÷240 мкс.

Інші процедури та функції конфігураційної структури реалізовані засобами Megafunction з використанням бібліотек параметризованих модулів Library of Parameterized Modules (LPM). Компіляція проекту в Quartus II Web Edition показала, що розроблена конфігураційна структура використала 3699 (31 %) базових логічних блоків і 160 кбіт (68 %) пам'яті ПЛІС.

4. Апаратна реалізація та експеримент. Конструктивно, система керування радіоспектрометром виконаний у вигляді модульної структури (рис. 6), що включає основну плату з ядром на базі IC EP1C12F324, РКІ TD035STEB2, органи керування та порти вводу-виводу. Конфігурація ІС забезпечувалась завантаженням програмного коду через JTAG програматор. Інформація про роботу радіоспектрометра та текучі налаштування відображається на 3,50-дюймовому РКІ. Звукову індикацію забезпечує електромагнітний звуковий випромінювач. Матрична клавіатура 4×4 забезпечує оператору навігацію по меню та введення налаштувань параметрів радіоспектрометра, текучі значення яких зберігаються у енергонезалежній пам'яті. Формування тактових і синхронізуючих імпульсів роботи пристрою забезпечується від термостабілізованого кварцового генератора частотою 24 МГц.

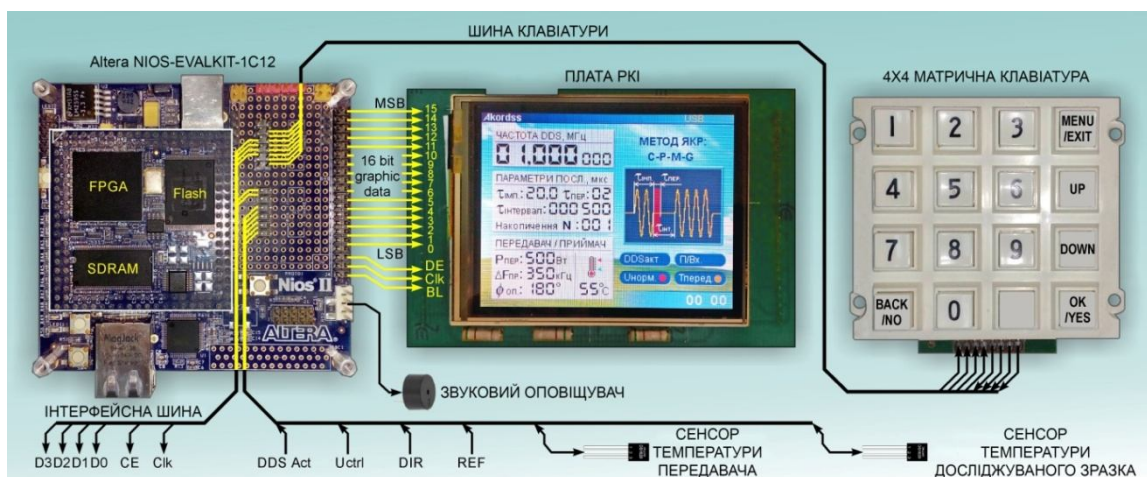


Рис. 6. Модульна структура розробленої системи керуванням радіоспектрометром ЯКР

Контроль температур у вимірювальній комірці радіоспектрометра та нагріву передавача забезпечують два цифрові давачі температури DS18B20 з'єднані з ІС по 1-Wire інтерфейсу. Вибрана роздільна здатність перетворювачів температури складає $0,125^{\circ}\text{C}$ [12]. Для вимірювання частоти передбачено окремий канал частотоміра. В пристрої також реалізований годинник реального часу на базі мікросхеми DS3231SN з автономним живленням [13]. Наявність зазначених вузлів дозволить оперативно фіксувати не тільки резонансні частоти ЯКР, але і час та робочу температуру проведення експерименту, що особливо важливо при дослідженні зразків із температурною залежністю параметрів резонансних спектрів [14, 15]. Для контролю нештатних ситуацій (перевищення максимальної вихідної потужності, перегрів вузлів спектрометра, нестабільність напруг живлення, і т. п.) передбачено окремі порти типу 1-Wire на які поступають сигнали помилки (DDS_Act, Uctrl, DIR, REF). У випадку відхилення від норми вказаних параметрів на дисплеї виводиться попереджувальні символи і блокується робота спектрометра.

Передавання команд на виконуючі пристрої радіоспектрометра забезпечується через 4-розрядну інтерфейсну шину (ІШ) із швидкістю передачі даних $3,15\text{ Мбіт/с}$. Дана шина дозволяє передавати паралельний код налаштування параметрів на системну плату а далі на цифровий синтезатор частот, формувач радіоімпульсів, програматор послідовностей, прийомо-передавальний тракт, керовані фільтри та інші функціональні вузли радіоспектрометра. Параметри сформованих кодових послідовностей керування радіоспектрометром ЯКР, що передаються на його ІШ наведені в табл. 2. Схема живлення пристрою умовно розділена на вузол керування, блок основних та чергових стабілізаторів напруги і електронно-керований ключ. Останнє дозволяє реалізувати «режим очікування» та сумісність із зовнішнім джерелом живлення стандарту АТХ, гальванічно розв'язане керування яким здійснюється через порт «P_ON».

Табл. 2

Параметр	Діапазон значень	Одиниця виміру	Довжина слова
Синтезатор частот			
Несуча частота	10÷50000000	Гц	28 Біт
Формувач послідовності збудження			
Тривалість імпульсу збудження	0,1÷100	мкс	12 Біт
Тривалість мертвого часу	0,1÷100	мкс	12 Біт
Тривалість паузи	$1 \times 10^{-6} \div 1$	с	24 Біт
Номер послідовності	1–6	-	4 Біти
Передавач			
Вихідна потужність	100÷1000	Вт	4 Біт
Приймач			
Смуга фільтра	1÷990	кГц	12 Біт
Підсилення НЧ сигналу	0÷99	дБ	8 Біт
Фаза опорного сигналу	0÷359	град.	12 Біт
Кількість ітерацій	1÷512	-	12 Біт

Діючий макет розробленої системи керування перевірено в комплексі з синтезатором частоти та формувачем імпульсних послідовностей радіоспектрометра ЯКР [10]. Створене багатосторінкове меню (рис. 7) дозволяє здійснювати зручне та інтуїтивно зрозуміле налаштування параметрів спектрометра ЯКР. Результати випробування макету показали відповідність його функціональних можливостей усім вимогам, що висуваються до портативної апаратури релаксаційної та імпульсно-резонансної спектроскопії.

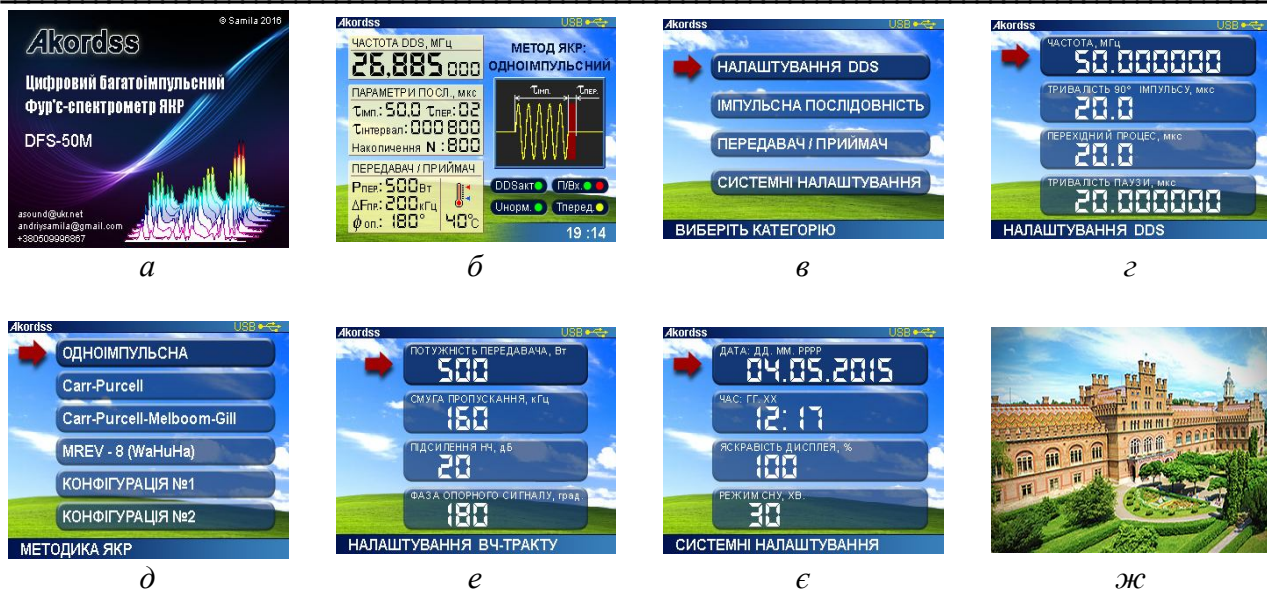


Рис. 7. Графічний інтерфейс системи керування радіоспектрометром ЯКР:

a – стартовий екран, *б* – головний екран інтерфейсу користувача, *в* – сторінка входу в головне меню, *г* – сторінка налаштувань параметрів синтезатора частоти, *д* – сторінка вибору методики ЯКР, *е* – сторінка налаштувань прийомо-передавального тракту, *є* – сторінка системних налаштувань, *ж* – екранна заставка

5. Висновки

Розроблено цифрову багатофункціональну систему керування імпульсним Фур'є радіоспектрометром ЯКР лабораторного типу, головні апаратно-програмні методи якої реалізовано використовуючи ПЛІС із статичною конфігурацією EP1C12F324. Основою алгоритму конфігураційної структури ІС є синтезований автомат кінцевих станів, алфавіт вихідних послідовностей Y , якого визначається множиною станів машини S , а множина вхідних символів задана алфавітом X . Функції переходів $f: S \times X \rightarrow S$ та функції виходів $g: S \rightarrow Y$ автомату кінцевих станів описані на мові VHDL.

Проведено експериментальні випробування діючого макету в комплексі з синтезатором частоти та формувачем імпульсних послідовностей радіоспектрометра ЯКР, що підтвердило функціональність розробки та її сумісність з існуючими стандартами апаратури ЯКР спектроскопії.

Список використаної літератури

1. AL-Dhafer A. H. G. Development of Microcontroller FPGA-based systems / A. H. G. AL-Dhafer // Int. J. Engng Ed. – 2004. – V.20, №1. – P. 52-60.
2. Meyer-Baese U. Digital Signal Processing with Field Programmable Gate Arrays / U. Meyer-Baese. – 3-th Ed. – Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 2007. – 774 p.
3. A range of programmable logic solutions [Internet resource] // – Available at: <http://www.intel.ua/content/www/ua/uk/fpga/devices.html>.
4. Weinan Tang. A single-board NMR spectrometer based on a software defined radio architecture / Tang Weinan and Wang Weimin // Measurement Science and Technology. – 2011. – V.22. – P. 015902/1-8.
5. Kazuyuki Takeda. Opencore NMR: Open-source core modules for implementing an integrated FPGA-based NMR spectrometer / Takeda Kazuyuki // Journal of Magnetic Resonance. – 2008. – V.192. – P. 218-229.

6. Khandozhko Alexander. A pulse coherent NQR spectrometer with effective transient suppression / Alexander Khandozhko, Victor Khandozhko, Andriy Samila // Eastern-European journal of enterprise technologies. – 2016. – V.6, №12(66). – P. 21-25.
7. Buzug T. M. A Control Unit for a Magnetic Particle Spectrometer / T. M. Buzug, S. Kaufmann, R. Marquina-Sanchez, M. Ryschka, T. F. Sattel // Springer Proceedings in Physics Magnetic Particle Imaging. – 2012. – V.140. – P. 309-312.
8. Samila Andriy. A Control Unit for a Pulsed NQR-FFT Spectrometer / Andriy Samila, Alexander Khandozhko, Ivan Hryhorchak, Leonid Polityans'kyi, Taras Kazemirskiy // IAPGOS. – 2015. – V.5, №4. – P. 55-58.
9. Cyclone Device Handbook // – Available at: https://www.altera.com/content/dam/altera-www/global/en_US/pdfs/literature/hb/cyc/cyclone_device_handbook.pdf.
10. Samila Andriy. Implementation of pulsed radiospectroscopy methods of NQR based on FPGA / Andriy Samila, Yuriy Bobalo, Zenon Hotra, Oleksandra Hotra, Leonid Polityans'kyi // Metrol. Meas. Syst. – 2015. – V.22, №3. – P. 363-370.
11. TFT LCD Specification, Model No.: TD035STEB2 [Internet resource] // – Available at: http://d1.ourdev.cn/bbs_upload782111/files_17/ourdev_476815.pdf.
12. DS18B20 Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer [Internet resource] // – Available at: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
13. DS3231 Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal [Internet resource] // – Available at: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>.
14. Balazjuk V. Temperature and baric dependence of nuclear quadrupole resonance spectra in indium and gallium monoselenides / V. Balazjuk, V. Khandozhko, Z. Kovalyuk, N. Raranskii, A. Samila // Proceedings of SPIE, Eleventh International Conference on Correlation Optics. – Bellingham, WA: 2013. – V.9066. – P. 90661G/1-7.
15. Samila A. P. The nuclear quadrupole resonance and sensory properties of GaSe and InSe layered semiconductors / A. P. Samila, V. O. Khandozhko, Z. D. Kovalyuk // Journal of Nano- and Electronic Physics. – 2015. – V.7, №3. – P. 03024/1-5.

Автор статті

Саміла Андрій Петрович – кандидат технічних наук, асистент кафедри радіотехніки та інформаційної безпеки, Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці. Тел. +380 50 999 68 67. E-mail : andriysamila@gmail.com.

Author of the article

Samila Andriy Petrovych – candidate of science (technic), assistant of the radio engineering and information security department, Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University, Chernivtsi. Tel. +380 50 999 68 67. E-mail : andriysamila@gmail.com.

Рецензент:

доктор технічних наук,
професор В. П. Тарасенко

Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут ім. Ігора Сікорського»,

Дата надходження
в редакцію: 27.09.2016 р.