

*д-р техн. наук, проф. М. А. Мірошник,  
к.т.н., доцент Л. А. Клименко,  
студент 7-4-СКС Д. Д. Федорін  
(УкрДУЗТ);  
к.т.н., доцент В. А. Крилова,  
асистент Ю. М. Салфетникова,  
асистент С. Д. Деменкова,  
аспірант А. Н. Мірошник  
(НТУ «ХПИ»)*

## АНАЛІЗ КОРЕКТНОСТІ ГРАФОВИХ МОДЕЛЕЙ АВТОМАТНИХ СИСТЕМ ЛОГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ НА ПЛІС

Однією з метрологічних завдань є контроль якості програмного коду. Якщо для традиційних мов програмування ці питання опрацьовані досить детально, то для мов опису апаратури усталених підходів немає.

Мови опису апаратури (HDL) характеризуються дуалізмом. З одного боку це код на формальній мові з усіма його характеристиками і властивостями, а з іншого боку це опис цифрової схеми з усіма обмеженнями, що накладаються відповідної технологічної базою. Крім того, між кодом на мові опису апаратури (HDL-моделлю) і цифровою схемою знаходиться компонент САПР, званий синтезатором. Підмножина HDL, яке коректно перетворюється синтезатором в цифрову схему, називається синтезованою підмножиною HDL. Крім того, що оператори HDL, які коректно описують схему, мають входити до синтезованої підмножини, структура HDL-моделі має відповідати певним правилам оптимального синтезу. Стосовно до моделей кінцевих автоматів це так званий двохпроцесорний автоматний шаблон, в якому функція переходів і виходів обчислюється в одному процесі, а призначення нового стану виконується в іншому процесі, пов'язаному з синхронізацією.

При верифікації систем логічного управління (СЛУ) доцільно застосувати функціональний підхід – перевіряти не програмний HDL-код та схему, що синтезується на його основі, а функціональну модель кінцевого автомата – state diagram. При цьому слід зауважити, що саме автоматний шаблон (state pattern) однозначно і коректно з точки зору синтезу відображає функціональну модель кінцевого автомата у вигляді State diagram [1].

Правила перевірки State diagram на коректність досить докладно розроблені і фактично стандартизовані. Це перевірка повноти, несуперечності, можливості бути реалізованим і наявності генеруючих контурів [2]. Виходячи з цього актуальним завданням є розробка процедур перевірки HDL-моделей кінцевих автоматів на коректність з урахуванням з одного боку умов коректності State

diagram, а з іншого боку правил роботи синтезаторів на технологічній платформі САПР ПЛІС.

Синтаксична коректність графа переходів автомата визначається виконанням умов для функцій переходу: несуперечливості (ортогональності) та повноти. Несуперечливість в графі переходів забезпечується, в тому випадку, якщо в ньому заборонені одночасні переходи по будь-яким двом або більше дуг, що виходить з однієї вершини. Повнота графа переходів (диз'юнкція позначок всіх дуг, що виходять з вершини, дорівнює одиниці) перевіряється після забезпечення несуперечності.

Побудова системи логічного управління на базі ПЛІС є сучасним підходом до автоматизованого проектування. Одним з найбільш розповсюджених способів опису систем логічного керування є моделі кінцевих автоматів, опис яких в свою чергу базується на state diagram. Від коректності графової моделі залежить коректність майбутнього HDL-коду.

Поняття ортогоналізації, що використовується для декомпозиції логічних функцій при синтезі цифрових систем [3], можливо застосувати також для перевірки графа на коректність [2]. В результаті проведених досліджень було показано, що функція умов переходів  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  несуперечлива, якщо вона ортогональна. Ортогональна функція умов переходів  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  в свою чергу є повною, якщо її терми покривають усі набори  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Верифікація HDL-моделі здійснюється на всіх етапах автоматизованого проектування, а саме на етапі функціонального моделювання (шляхом аналізу часових діаграм), на етапі синтезу RTL-схеми (шляхом аналізу звіту синтезу) та на етапі пост-синтезного моделювання (шляхом аналізу часових діаграм з урахуванням технологічної бази). В силу особливостей роботи системи моделювання, відсутні переходи або суперечливі умови переходів на етапі перевірки синтаксису не фіксуються, на етапі моделювання та автоматизованого синтезу вони можуть залишитися непоміченими (в залежності від версії синтезатора). Тому перевірка графових моделей на коректність – це важливий та невід'ємний етап автоматизованого проектування автоматних систем логічного управління, алгоритм функціонування яких представлено на мові опису апаратури.

### Список використаних джерел

1. Мірошник М. А. Проектирование диагностической инфраструктуры вычислительных систем и устройств на ПЛИС: монография / М. А. Мірошник. – Х.: ХУПС, 2012. – 188 с.
2. Мірошник М. А. Методи автоматизованого комп'ютерного проектування цифрового пристрою локального управління./ Мірошник М.А., Клименко Л.А.

// Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті, 2019, №1, с.11-18.

3. Автоматизированное проектирование систем логического управления с использованием шаблонов автоматного программирования / Шкиль А.С., Кулак Э.Н., Филипенко И.В., Кучеренко Д.Е., Гога М.В. // Радиоэлектроника и информатика : научно-технический журнал / М-во образования и науки Украины ХНУРЕ. – Харьков, 2018. – № 3. С. 75--82

*Трубчанінова К. А., к.т.н., доцент (УкрДУЗТ)*

### КРИТЕРІЙ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИМОГ ЕМС МОБІЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Забезпечити необхідний рівень завадостійкості телекомунікаційних систем рухомого зв'язку здатна технологія надширокосмугового зв'язку. Суть її полягає у передачі малопотужних кодованих імпульсів в дуже широкій смузі частот без несної частоти. Причому широкосмужність системи визначає не абсолютна величина ширини використаної смуги частот, а співвідношенням спектра повідомлення, який визначено швидкістю отримання інформації, та шириною спектра сигналу [1]. Припустимо, що  $\Delta F$  є шириною спектра повідомлення,  $W$  – ширина спектра сигналу, а  $T$  – тривалість сигналу. Добуток  $B = WT$  є базою сигналу. Зазвичай для широкосмугових систем  $W \gg \Delta F$  та  $B \gg 1$ . Розширюючи смугу частот із  $\Delta F$  до  $W$  виникає можливість збільшення швидкості передачі інформації, укорочуючи передані сигнали з величини  $T \cong 1/\Delta F$  до  $T_1 \cong 1/W$ , причому  $T_1 \ll T$ .

Таким чином, до переданого сигналу вводять деяку надмірність, величину якої визначає коефіцієнт розширення спектра  $K_f \cong W/\Delta F$ . Саме наявність цієї надмірності визначає такі властивості надширокосмугових систем, як можливість переборення явища багатопроменевості, усталеність до завад та можливість ефективного використання спектра під час використання переважаного частотного діапазону та цифрової обробки сигналу.

Зазвичай нижня межа співвідношення спектральних щільностей сигналу  $N_S$  та завади  $N_0$  у  $-7$  дБ на вході приймача гарантує його нормальну роботу. Цей рівень відповідає такому співвідношенню:  $N_S/N_0 \leq 0.2$ . У той же час спектральну щільність  $N_S$  визначають як  $N_S = P/W = E/WT$ , де  $P$  – потужність сигналу;  $W$  – ширина спектру сигналу;  $E$  – енергія сигналу;  $T$  – тривалість сигналу.

Таким чином, критерієм завадостійкості стає розв'язання такої нерівності:

$$E/WT \leq 0.2. \quad (1)$$

Згідно з теорією потенціальної завадостійкості Котельнікова В. А. [2] характеристики інформаційного сигналу залежать від відношення подвійної енергії сигналу  $E$  до спектральної щільності потужності

шуму  $N_0$  та становить величину  $Q = 2E/N_0 = 2q_0B$ ,

де  $q_0 = E/T$  – відношення середньої потужності

сигналу  $P_{SO} = E/T$  до потужності шуму  $P_{N0} = N_0W$

на вході приймача, а  $B = WT$  є базою сигналу.

При цьому співвідношення (1) набуде такого вигляду:

$$q^2/WT \leq 0.4, \quad (2)$$

де сам критерій визначено у термінах відношення сигнал / завада на вході приймача  $q$  та виграшу від обробки  $WT$ .

Зниження рівня електромагнітного випромінювання є основним методом забезпечення завадостійкості в системах безпроводового мобільного зв'язку. Тому сприятливим щодо забезпечення усталеної беззавадової роботи є зниження інформаційного сигналу на вході приймача до рівня шуму ( $q = 1$ ). Це обумовлює критерій щодо забезпечення завадостійкості телекомунікаційних систем безпроводового мобільного зв'язку ( $WT \geq 2.5$ ).

Таким чином, для забезпечення завадостійкості безпроводових мобільних систем найбільш доцільним є застосування технології надширокосмугових сигналів з базою сигналу  $B \geq 2.5$ . При цьому виникає задача вилучення інформаційного сигналу на фоні шуму [3].

#### Список використаних джерел

1. Серков О. А., Трубчанінова К. А. Концепція забезпечення електромагнітної сумісності систем безпроводового зв'язку на транспорті. VII МНТК «Проблеми інформатизації» (13 -15 листоп. 2019, т.1: секції 1-3, Черкаси-Баку-Бельсько-Бяла-Харків): тези доп. Харків: НТУ «ХП», 2019. С. 59.
2. Котельніков В. А. Теория потенциальной помехоустойчивости. Москва: Госэнергоиздат, 1956. 151 с.