

В.С. Глухов¹, А.А. Лукенюк², С.Г. Шендерук²

¹Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електронних обчислювальних машин,

²Львівський центр Інституту космічних досліджень НАН та ДКА України

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗБОРУ НАУКОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ СУПУТНИКА “ІОНОСАТ-МІКРО”

© Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г., 2013

Розглянуто особливості ПЛІС системи збору наукової інформації (СЗНІ) супутника “Іоносат-мікро”. Перше покоління ПЛІС СЗНІ було розроблено для супутника “Січ-2”. Після аналізу результатів експлуатації СЗНІ були встановлені нові вимоги до наступного покоління ПЛІС, набір виконуваних функцій був розширений, були розроблені нові моделі ПЛІС та модельні стенди і набори тестів для відлагодження окремих ПЛІС та СЗНІ загалом. До набору ПЛІС входять ПЛІС центрального блока СЗНІ, комплект ПЛІС периферійних модулів та ПЛІС контрольно-перевіркової апаратури. Модельний стенд дає змогу перевірити обмін даними каналами SciWay (зокрема і його компонентом – каналом CAN), послідовними каналами типу RS та радіоканалом. Також моделюється обмін даними з малогабаритною астро-вимірювальною системою (МАВС), яка забезпечує високоточну орієнтацію супутника, моделюється робота модулів з динамічною пам’яттю та робота під дією різноманітних завад.

Ключові слова: супутник “Іоносат-мікро”, СЗНІ, система збору наукової інформації, малогабаритна астро-вимірювальна система, ПЛІС, SciWay.

The features of FPGA set for IonoSat-Micro spacecraft onboard scientific data collection systems (SDCS) are described. The first generation of SDCS FPGAs was developed for use in satellite “Sich-2”. After “Sich-2” SDCS operation results analyzing new requirements were determined for second generation of FPGAs, its functionality was expanded, their models were developed, testbench and complex test for entire set of developed SDCS FPGAs was created. The FPGA set includes SDCS central unit FPGA, peripherals FPGAs, control and test equipment FPGA. Testbench provides simulation of data exchanges by SciWay and CAN channels, by serial links such as RS and via radio. Also data transmission with compact astro-measurement system “MAVS” designed for high-precision spacecraft orientation, with dynamic memory and transmissions under different interferences were simulated.

Key words: satellite “IonoSat-Micro”, SDCS, scientific data collection system, compact astro-measurement system, FPGA, SciWay.

Вступ

Ідеологія побудови системи збору та оброблення наукової інформації (СЗНІ), яка використовувалась на борту супутника “Січ-2” в експерименті “Потенціал”, показала високу надійність та ефективність її роботи. Аналіз результатів експлуатації СЗНІ супутника “Січ-2” та нові завдання із створення комплексу наукової апаратури (КНА) “Іоносат-мікро” показали необхідність розширення виконуваних СЗНІ функцій. Це, своєю чергою, зумовило вимоги до другого покоління ПЛІС, в результаті виконання яких розширено функціональні можливості ПЛІС, розроблено їхні моделі, створено модельний стенд для комплексної перевірки роботи розроблених ПЛІС для усієї СЗНІ. До комплексу ПЛІС СЗНІ входять ПЛІС центрального блока (ЦБ), ПЛІС периферійних мікромодулів (ПМ), ПЛІС контрольно-перевіркової апаратури. Модельний стенд забезпечує моделювання

обмінів каналами SciWay (зокрема і інтерфейсом CAN), послідовними каналами типу RS, обмінів через радіоканал, також моделюється робота з апаратурою малогабаритної астрономічної виміральної системи (МАВС) з динамічною пам'яттю і дія завад.

1. Аналіз останніх досліджень та публікацій

Принципи побудови бортової СЗНІ для космічних наукових апаратів описані в [6–8]. Кожний базовий модуль СЗНІ є дворівневою системою і складається з протокольного мікроконтролера та спеціалізованого базового вузла на основі ПЛІС [9, 10]. Базовими модулями СЗНІ є центральний блок, периферійний модуль та модуль контрольно-перевіркової апаратури. Для базового набору модулів розроблений модельний стенд, який дає змогу промодельовати роботу як кожної окремої ПЛІС, так і усього набору ПЛІС. Для кожного конкретного варіанта використання базові модулі модифікуються за рахунок реконфігурації ПЛІС [11]. Також підлягає модифікації базовий модельний стенд [12]. Для КНА супутника “Іоносат-мікро” додаткові функціональні вузли СЗНІ та її КПА реалізуються значною мірою також за рахунок реконфігурації ПЛІС. Порівняно з СЗНІ КНА “Потенціал” СЗНІ КНА “Іоносат-мікро” додатково повинна виконувати функції [13, 14]:

- a. здійснювати управління та приймати інформацію від більшої кількості наукових приладів зі швидкістю до 100 Мбіт/с з використанням уніфікованого інтерфейсу SciWay [15];
- b. виконувати формування та декодування кодів Ріда-Соломона, а також скремблювання інформації, що передається у бортову апаратуру швидкісної радіолінії (БА ШРЛ). Повинна бути передбачена можливість згорткового кодування і використання декодера Вітербі;
- c. передавати інформацію в БА ШРЛ зі швидкістю 30,72 Мбіт/с;
- d. передавати наукову інформацію через командну радіолінію СПС-S (резервний варіант);
- e. приймати від бортового цифрового обчислювального центру анотаційну інформацію та прив'язувати її до наукових даних, що передаються на наземні пункти приймання;
- f. приймати від малогабаритної астрономічної виміральної системи (МАВС) інформацію про зображення ділянок зоряного неба зі швидкістю близько 30 Мбайт/с;
- g. синхронізувати роботу наукових пристроїв, що належать до складу СЗНІ;
- h. тимчасово зберігати прийняту інформацію.
- i. контролювати рівень поглиненої дози радіації.

Структурні схеми ПЛІС ПМ, ЦБ та КПА контролера швидкісної радіолінії, який відповідає рекомендаціям [16, 17], та особливості моделювання їхньої роботи описано у [18, 19].

Якщо врахувати, що периферійні мікромодулі СЗНІ, які містять ПЛІС, вбудовані у наукові прилади як центральні процесори, то стає актуальним завдання забезпечення якісної перевірки роботи як самих ПЛІС, так і СЗНІ загалом.

2. Цілі статті

Мета роботи – створити комплекти тестів для перевірки роботи моделі СЗНІ супутника “Іоносат-мікро”, тестування моделі та аналізу результатів тестування

3. Базова структура ПЛІС СЗНІ та модельного стенда

СЗНІ комплексу наукової апаратури (КНА) складається з модуля центрального блока (рис. 1) і набору периферійних модулів. На рис. 1 також показано зовнішній вигляд електронної плати блока аналізатора густини заряджених і нейтральних частинок (АГЧ) космічної плазми з резервним периферійним мікромодулем СЗНІ.

4. Структура ПЛІС СЗНІ КНА “Іоносат-мікро”

ПЛІС ЦБ СЗНІ є типовою (рис. 2) і фактично не змінюється для різних СЗНІ. ПЛІС ПМ [18, 19] є базовою і уточнюється та модифікується для кожного конкретного наукового пристрою. Для використання в складі МАВС КНА “Іоносат-мікро” ПЛІС ПМ (рис. 4) додатково містить внутрішню пам'ять типу FIFO (Int. MAIS FIFO) та контролер (FIFO Controler) зовнішньої пам'яті типу FIFO, яка розташована у зовнішньому по відношенні до ПЛІС динамічному запам'ятовувальному пристрої DRAM. Характеристики ПЛІС СЗНІ наведено в таблиці.

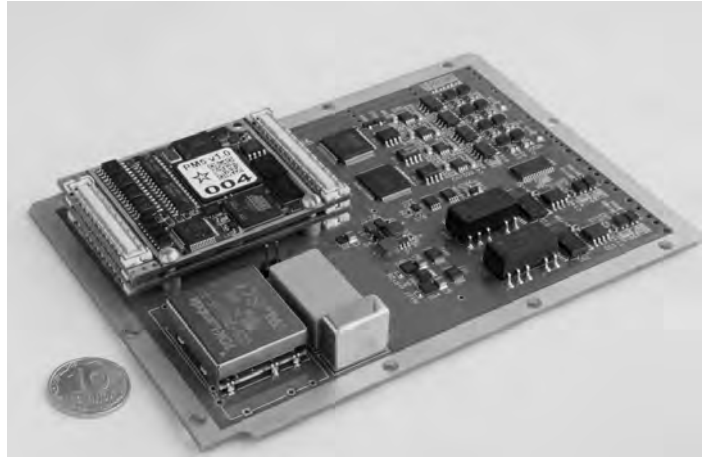
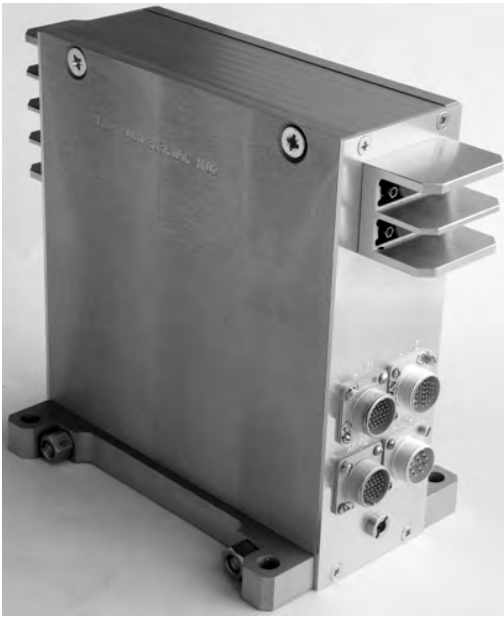


Рис. 1. Зовнішній вигляд центрального блока та резервованого ПМ у складі АГЧ

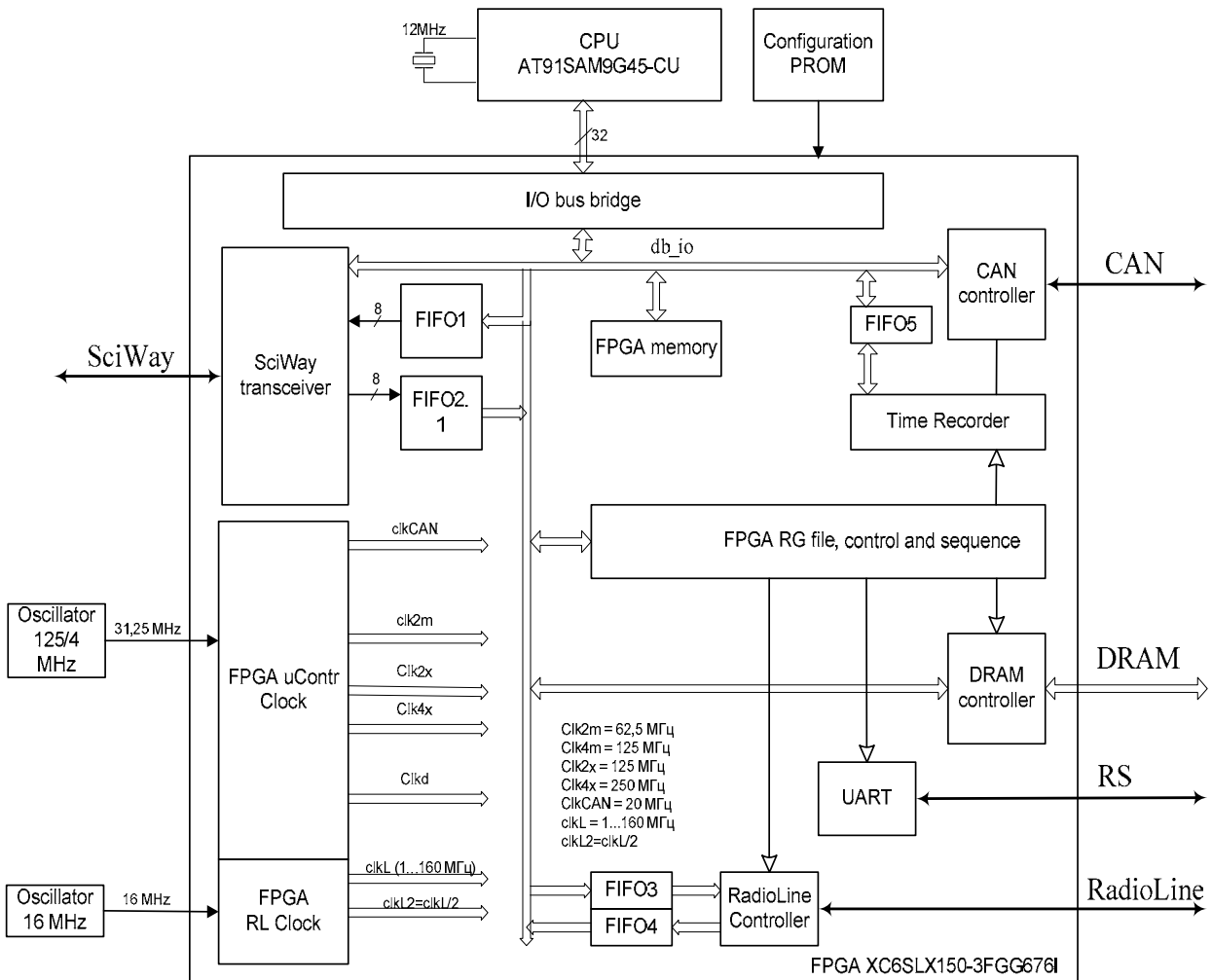


Рис. 2. ПЛІС центрального блока СЗНІ

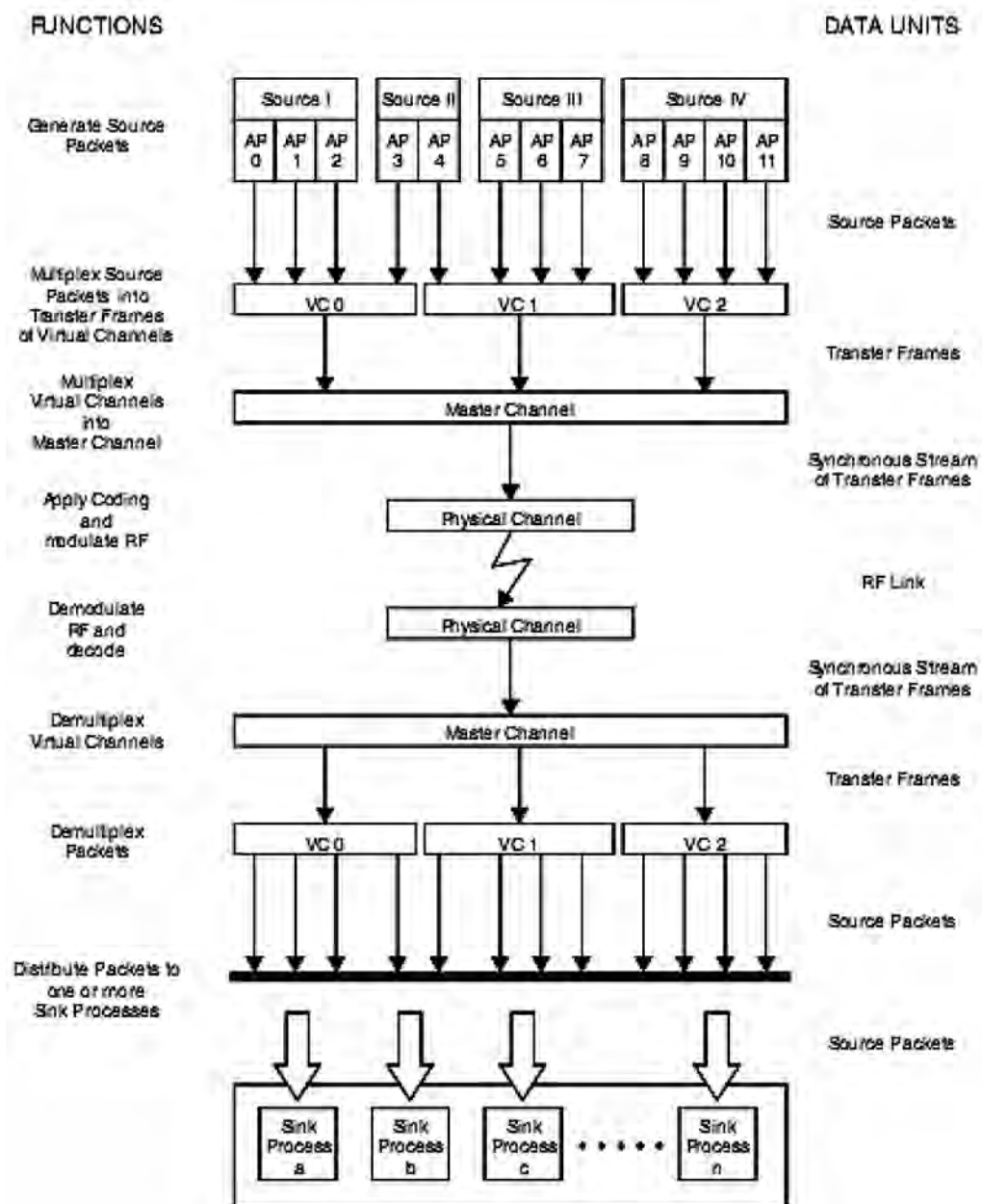
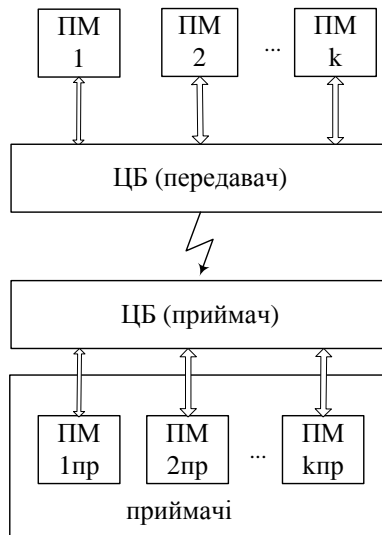


Рис. 3. Модулі СЗНІ у структурі передачі телеметричної інформації

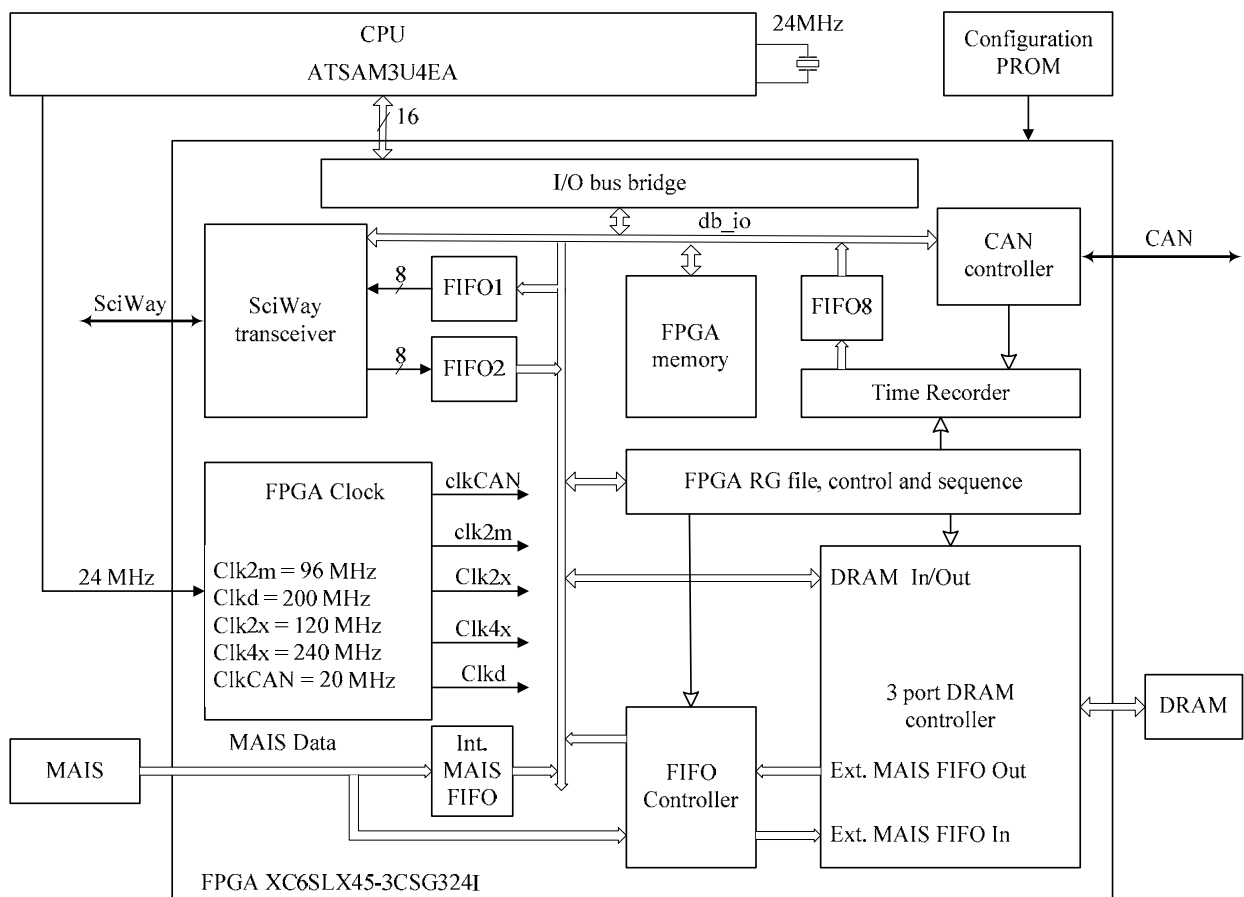


Рис. 4. ПЛІС ПІМ МАВС

Характеристики ПЛІС СЗНІ

Параметри	ПІМ	ЦБ
ПЛІС	xc6slx45 csg324-3	xc6slx150 fgg676-3
Кількість синхронних каналів SciWay	1	4
Частоти синхронного каналу SciWay, МГц	120/240	125/250
Кількість контролерів CAN	1	4
Частота CAN, МГц	20	20
Системна шина мікроконтролера, біт	16	32
Частота мікроконтролера, МГц	24	31,25
Частота радіоканалу, МГц	немає	1 ... 160
Кількість задіяних слайсів ПЛІС	1189 (17%)	7758 (33%)
Кількість задіяних контактів ПЛІС	105	274
Кількість блоків RAMB 16-бітних	6 (5%)	21 (7%)
Кількість блоків RAMB 8-бітних	1 (1%)	4 (1%),
Кількість DRAM (частота DRAM, МГц)	1 (192)	2 (200)
Споживана потужність, загальна (на кристалі), мВт	913 (701)	3435 (2997)
Джиттер синхронного каналу, пс	200	200
Температура кристала ПЛІС, град. Ц	40,8	68,2
Струм джерела Vccint 1,2 В, мА	198 / 173 / 25	1107 / 900 / 207
Струм джерела Vssaux 3,3 В, мА	90 / 42 / 48	139 / 68 / 71
Струм джерела Vcco33 3,3 В, мА	33 / 31 / 2	292 / 272 / 21
Струм джерела Vcco18 1,8 В, мА	150 / 14 / 137	380 / 94 / 286

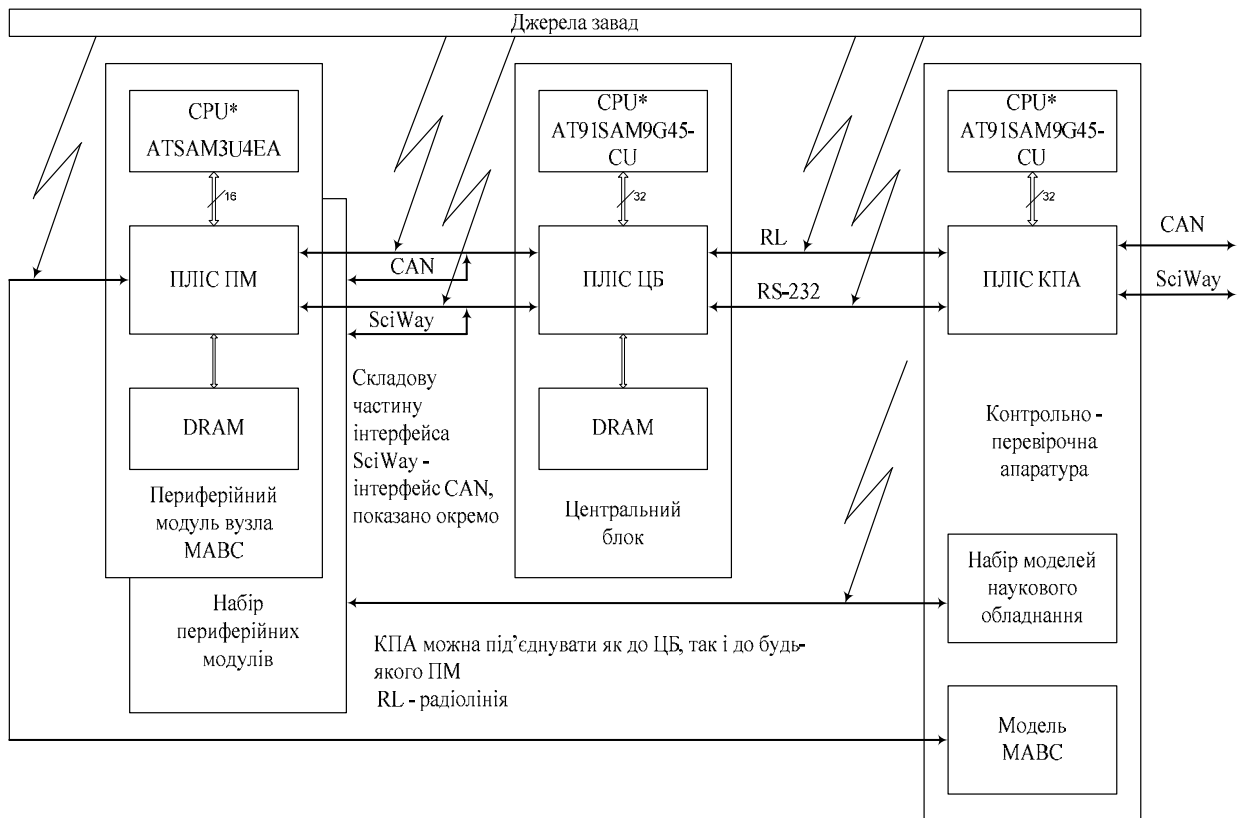


Рис. 5. Модельний стенд КНА "Іоносат-мікро"

ПЛИС забезпечує роботу DRAM як основної пам'яті вбудованого ПМ МABC, так і його пам'яті типу FIFO. Для цього порівняно з базовим варіантом контролер динамічної пам'яті у складі ПЛИС зроблено трипортовим (3 port DRAM Controller).

Оцінкові кількісні характеристики ПЛИС ПМ та ЦБ для використання у складі МABC КНА "Іоносат-мікро" наведено у таблиці.

5. Тестування моделі СЗНІ

Модельний стенд СЗНІ [18, 19] є базовим і уточнюється для кожного КНА. Для КНА "Іоносат-мікро" структурна схема стенда має вигляд, показаний на рис. 3. Додатково до складу стенда введено модель МABC, моделі інших наукових пристроїв та збільшена кількість ПЛИС периферійних модулів. Під час роботи проведено моделювання процесів обміну інформацією між МABC, ПМ, ЦБ та КПА за допомогою існуючих інтерфейсів під дією зовнішніх завад. Масштаб часу під час функціонального моделювання становить приблизно від $1:10^6$ до $1:10^5$, тобто 1 мкс реального часу роботи системи моделюється приблизно за 0,1 ... 1 с машинного часу залежно від типу комп'ютера та конфігурації системи. Логічне моделювання відбувається приблизно на порядок довше.

Для тестування моделі СЗНІ розроблено такі тести: тест ОЗП, тест регістрів, тест ДОЗП, тест CAN, тест контролера МABC, тест контролера МABC з FIFO на основі ДОЗП, тест імітатора МABC, тест синхронних каналів SciWay, комплексний тест ланцюжка передачі даних: мікроконтролер – імітатор МABC – контролер МABC – FIFO на основі ДОЗП – автомат перекачки до контролера синхронного каналу SciWay – передавач синхронного каналу SciWay – приймач синхронного каналу SciWay – мікроконтролер. Набір тестів постійно розширюється і доповнюється новими перевітками. Результати моделювання проходження деяких тестів показано на рис. 6. Результати моделювання підтверджують коректну роботу розроблених моделей.

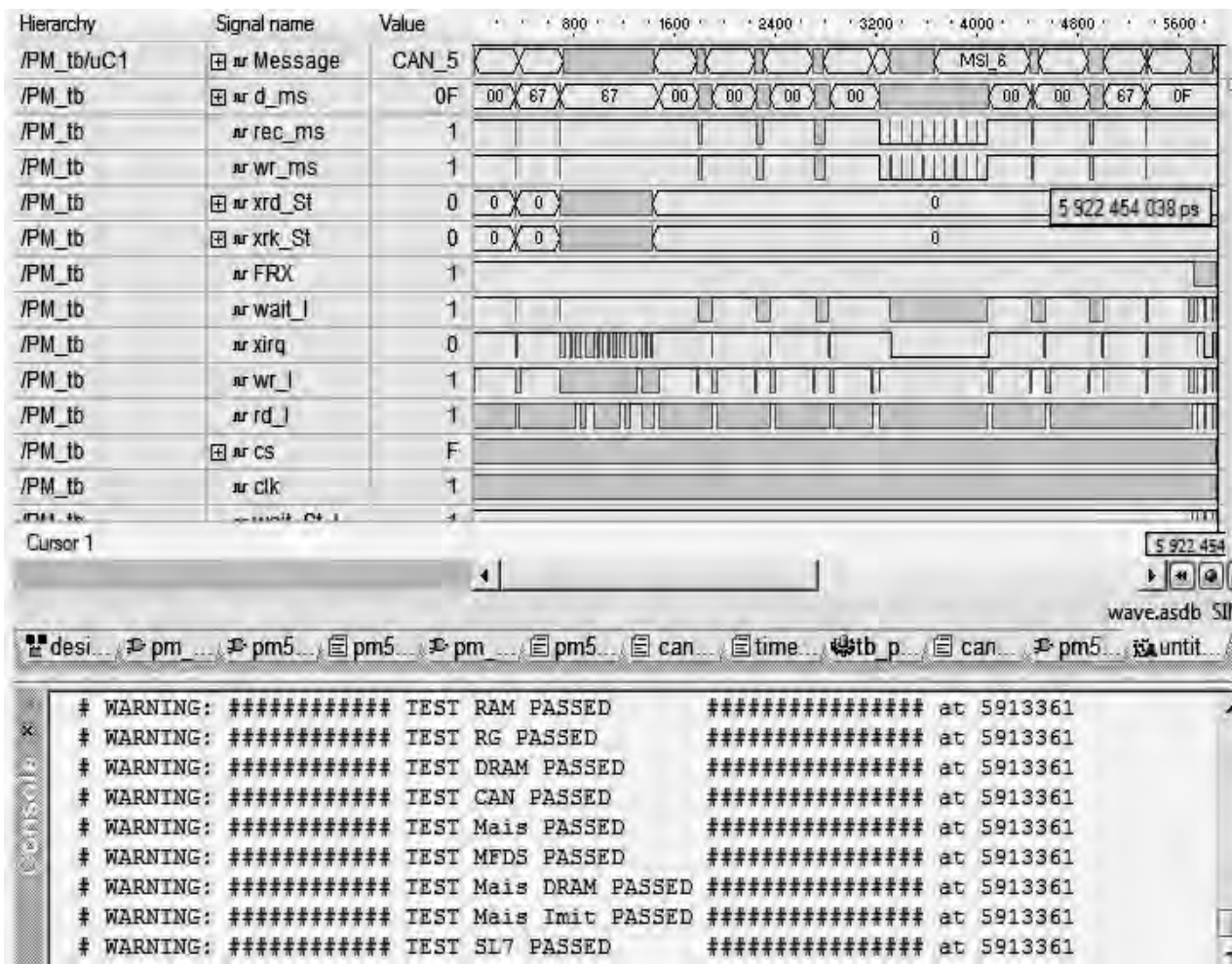


Рис. 6. Тестування моделі СЗНІ “Іоносат-мікро”

Висновки

У роботі наведено результати створення модельного стенда для тестування моделі СЗНІ супутника “Іоносат-мікро”. Модельний стенд забезпечує моделювання обмінів каналами SciWay (зокрема і інтерфейсом CAN), послідовними каналами типу RS, обмінів через радіоканал, також моделюється робота з апаратурою МАВС, з динамічною пам’яттю і дія завад. Наведено технічні характеристики ПЛІС ПМ. Проведено моделювання процесів обміну інформацією між МАВС, ПМ, ЦБ та КПА за допомогою існуючих інтерфейсів. Результати моделювання підтверджують коректну роботу розроблених моделей.

6. Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Принципи побудови бортової системи збору та обробки наукової інформації для космічних досліджень: VI Міжнар. наук.-техн. конф. “Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки”: зб. доп. – Ч. II. – 26–27 квітня 2007 р. – К., 2007. – С.313–319. 7. Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Уніфікована бортова система збору і обробки інформації з наукової апаратури // 2-я Українська конф. по перспективним космічним дослідженням: сб. тез. – С.68. – Кацивели, Крым, 2002. 8. Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Спеціалізований контролер для системи збору наукової інформації супутника “Січ-2” // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” “Комп’ютерні системи та мережі”. – 2011. – № 717. – С.10–16. 9. Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Використання реконфігурованих елементів у бортових системах збору й обробки даних // 2-я Українська конференція по перспективним космічним дослідженням: сб. тез. –

С.67. Кацивели, Крым, 2002. 10. Глухов В., Лукенюк А., Шендерук С. // НВІС системи збору наукової інформації супутника "Січ-2" // Матер. 5-ї Міжнар. наук.-техн. конф. "Сучасні комп'ютерні системи та мережі: розробка та використання" ACSN-2011. – 29 вересня–1 жовтня, 2011. – Львів, 2011. – С.57–60. 11. Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Комплект ПЛІС системи збору наукової інформації космічного апарата. Космічний проект "Іоносат-мікро" // Національна академія наук України. Державне космічне агентство України. Інститут космічних досліджень. – К.: Академперіодика, 2013. – С. 134–139. 12. Hlukhov V., Lukenuk A., Shenderuk S. "IonoSat micro" satellite scientific data collecting system model. "Сучасні комп'ютерні системи та мережі: розробка та використання" // Матер. 6-ї Міжнар. наук.-техн. конф. ACSN-2013. – 16–18 вересня 2013. – Львів, 2013. – С. 15–17. 13. Лизунов Г.В., Лукенюк А.А., Макараов А.Л., Фёдоров О.П. Космический проект "Ионосат-микро". Цели и методы. Космический проект "Ионосат-микро" // Національна академія наук України. Державне космічне агентство України. Інститут космічних досліджень. – К.: Академперіодика, 2013. – С. 11–25. 14. Лукенюк А.А., Корепанов В.Е., Шувалов В.А., Шендерук С.Г. Комплекс научной аппаратуры "Ионосат-микро". Космический проект "Ионосат-микро" // Національна академія наук України. Державне космічне агентство України. Інститут космічних досліджень. – К.: Академперіодика, 2013. – С. 118–125. 15. Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Унифицированный интерфейс бортовых систем КА. Космический проект "Ионосат-микро" // Національна академія наук України. Державне космічне агентство України. Інститут космічних досліджень. – К.: Академперіодика, 2013. – С. 126–133. 16. Recommendation for space. Data system standards. TELEMETRY CHANNEL CODING. CCSDS 101.0-B-5. Blue book. June 2001. 17. Recommendation for space. Data system standards. Packet telemetry. CCSDS 102.0-B-5. Blue book. November 2000. 18. Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. // Комплект ПЛІС бортової системи збору наукової інформації // IX Міжнар. наук.-техн. конф. "Гіротехнології, навігація, керування рухом і конструювання авіаційно-космічної техніки": зб. доп. – 17–18 квітня 2013 року. – К., 2013. – С. 401–409. 19. Глухов В.С., Лукенюк А.А., Шендерук С.Г. Моделирование работы ПЛІС системы збору наукової інформації // 14-я Междунар. науч.-практ. конф. "Современные информационные и электронные технологии". – Одесса, 27–31 мая 2013 г. – Одесса, 2013. – С. 131–134.