

## УДК 621.325; 621.335

*Ю. В. Носова, А.А. Ільченко, студ. гр. ПН-91, к.т.н., доц., Божко К.М.*  
КПІ ім. Ігоря Сікорського

### РОЗРОБКА І МОДЕЛЮВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ MULTISIM АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСЛІДОВНОГО ТИПУ

**Анотація.** Пакет програмної симуляції Multisim від компанії National Instruments в наш час широко використовують для проектування електронних пристроїв і систем, а також в процесі навчання в університетах і коледжах світу. Проектування в середовищі Multisim є ефективним і потужним інструментом, проте воно потребує знання особливостей застосування цього програмного продукту. Автори сформулювали і вирішили задачу: розробити власну схему аналого-цифрового перетворювача на окремих дискретних електронних компонентах – резисторах, конденсаторах, мікросхемах тощо. Окремі вузли розробленої схеми були налаштовані за допомогою моделювання в Multisim. Робота усієї схеми в різних режимах була також перевірена при моделюванні. При цьому були використані бібліотечні компоненти Multisim і віртуальні контрольно-вимірювальні прилади. Були також виявлені деякі недокументовані особливості моделювання. Даний проект довів дієвість методу програмної симуляції при розробці складних аналогових і цифрових пристроїв і систем, зокрема для задач приладобудування. Він також встановив необхідність власного введення проектувальником обмежень на деякі параметри вузлів із операційними підсилювачами, наприклад, коефіцієнту підсилення, вихідного струму тощо, оскільки сама програма їх не обмежує.

**Ключові слова:** Multisim, цифро-аналоговий перетворювач, операційний підсилювач, суматор, аналоговий ключ, логіка CMOS, компаратор, аналого-цифровий перетворювач.

## ВСТУП

Середовище проектування електронних пристроїв і систем Multisim, на думку авторів, само може бути предметом наукового дослідження. При виконанні власної розробки аналого-цифрового перетворювача була поставлена також задача виявлення недокументованих особливостей даної програми. Результатом розробки мала бути схема, яка із прогнозованою похибкою відтворює в цифровій формі значення вхідної напруги. Таким чином, одночасно вирішувались навчально-методичні, інженерні і наукові задачі: навчитись розробці і моделюванню електронних пристроїв, розробити власну схему аналого-цифрового перетворювача та налаштувати її модель, опанувати програмний симулятор Multisim і дослідити приховані особливості його експлуатації.

### ОГЛЯД ДЖЕРЕЛ З МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРОБКИ АНАЛОГО-ЦИФРОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

В бібліотеці компонентів Multisim (версія, яка є доступною для навчання) присутні моделі лише двох ідеальних аналого-цифрових перетворювачів: восьми-розрядного ADC8 та шістнадцяти-розрядного ADC16. Тому інші автори [1] для моделювання пропонують свої власні прості схеми, зокрема двох-розрядну, та висвітлюють досвід її налаштування. Цю роботу можна вважати попередницею даного дослідження.

В Україні накопичений багатий досвід з розробки та дослідження інформаційно-вимірювальних систем на основі застосування аналого-цифрових перетворювачів. Зокрема в роботі [2] наведено системний аналіз параметрів аналогових пристроїв і метрологічних характеристик аналого-цифрових перетворювачів, що самокалібруються. Для вивчення принципів цифрової обробки сигналів корисними є численні монографії і підручники, класичними з яких автори вважають [3] та [4]. Прикладом сучасного підручника мовою

оригіналу є [5]. Для інженерів-розробників корисним буде [6]. Підтримку програмного продукту Multisim користувачі можуть отримати за допомогою ресурсу компанії National Instruments[7].

## РОЗРОБКА СХЕМИ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ПОСЛІДОВНОГО ТИПУ НА ДИСКРЕТНИХ ЕЛЕМЕНТАХ

Авторами була розроблена схема електрична структурна аналого-цифрового перетворювача послідовного типу на основі дискретних елементів (Рисунок 1).

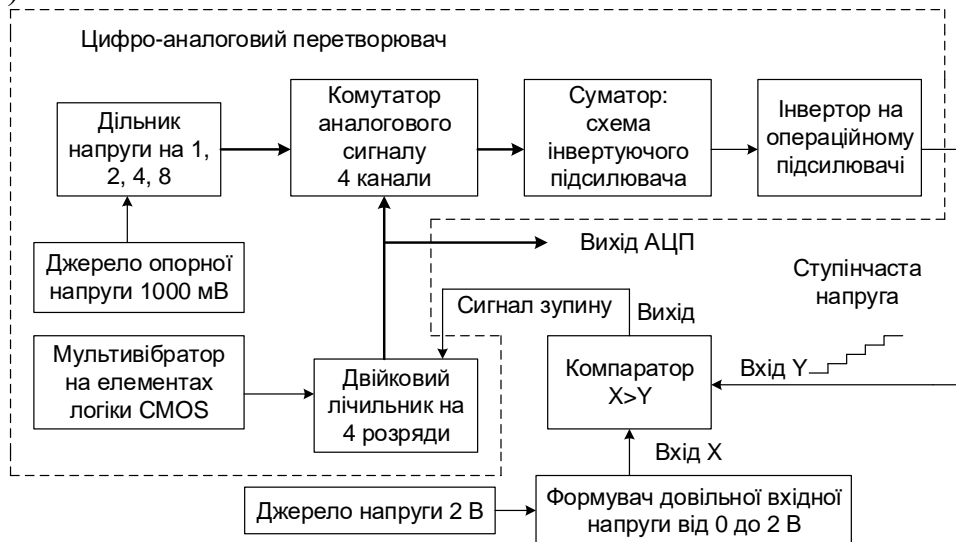


Рисунок 1. Схема електрична структурна аналого-цифрового перетворювача

В схемі реалізовано алгоритм послідовного збільшення ступінчастої напруги і порівняння її із вхідною вимірювальною напругою у компараторі. Номер ступені дорівнює кількості імпульсів, які надходять до двійкового лічильника. При перевищенні ступінчастою напругою рівня вхідної напруги відбувається зупин лічильника. На виході лічильника після зупину ми маємо двійковий код вхідної напруги. Похибка методу знаходиться в межах кроку квантування і завжди є додатною. Для реалізованої чотирьох-розрядної схеми похибка дорівнює  $1/8$  від величини опорної напруги, що дорівнює  $1/15$  від максимального рівня ступінчастої напруги. Основну частину схеми займає цифро-аналоговий перетворювач, задачею якого є формування ступінчастої напруги відповідно до цифрового коду.

Для реалізації розробленої схеми обрано поширені елементи від відомих виробників, які також є в бібліотеках електронних компонентів програми Multisim. При цьому був задіяний генератор імпульсів на елементах логіки CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), який зібрали на трьох інверторах за схемою несиметричного мультивібратора. Ключ або комутатор аналогового сигналу (мікросхема серії 4000) забезпечує надходження напруги по чотирьох каналах до входу суматора для формування ступінчастої напруги. Управління ключем – цифрове, від виходів двійкового лічильника (задіяна мікросхема CMOS серії 4000).

Імітатор вхідної напруги, яку необхідно перетворювати у цифрову форму, побудовано на резистивному дільнику та джерелі напруги 2 В. Величина опорної

напруги для формувача ступінчастого сигналу складає 1 В. Операційні підсилювачі типу AD544 задіяні в суматорі та інверторі.

Для вимірювання і реєстрації сигналів у характерних точках схеми запропоновано використати віртуальні лабораторні прилади Multisim: два мультиметри, двохканальний осцилограф та логічний аналізатор.

## МОДЕЛЮВАННЯ СХЕМИ В MULTISIM

Налаштування схеми відбувалось окремо для кожного із вузлів. Потім був створений загальний проект відповідно до завдання. Його реалізацію наведено на рисунках 2 та 3.

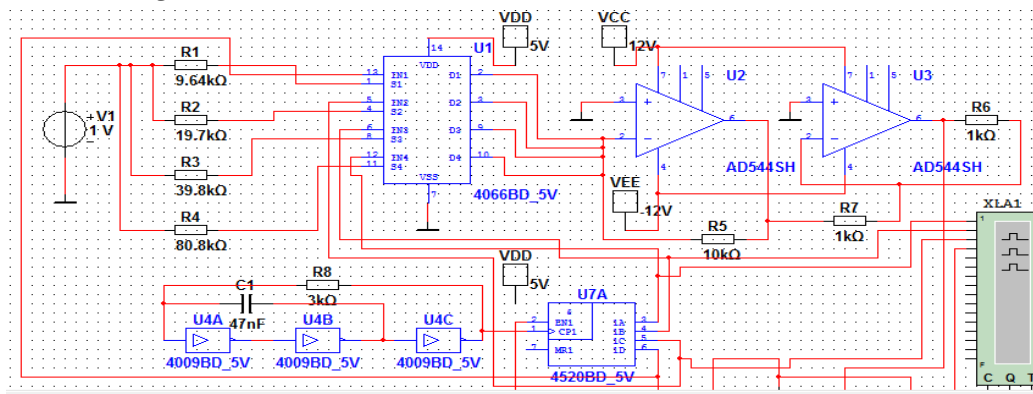


Рисунок 2. Модель схеми аналого-цифрового перетворювача в програмі Multisim: частина 1

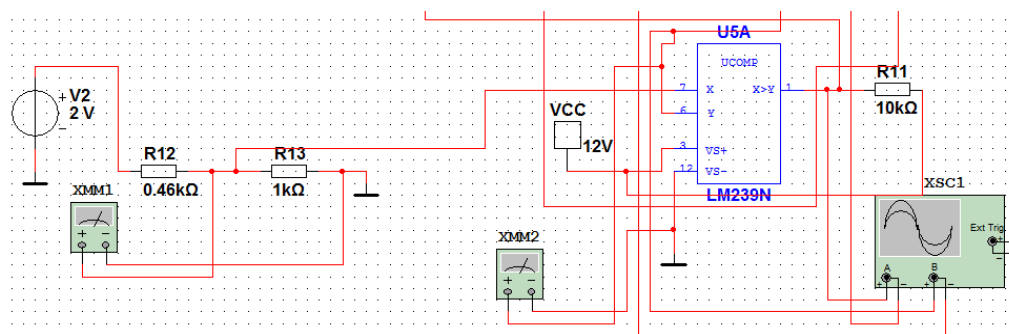


Рисунок 3. Модель схеми аналого-цифрового перетворювача в програмі Multisim: частина 2

Процес формування ступінчастої напруги та сигналу зупину лічильника на виході компаратора відображено на каналах А та В віртуального осцилографу XSC1 (Рисунок 4а), а цифровий код ступінчастої напруги після зупину її зростання – на логічному аналізаторі XLA1 (Рисунок 4б).

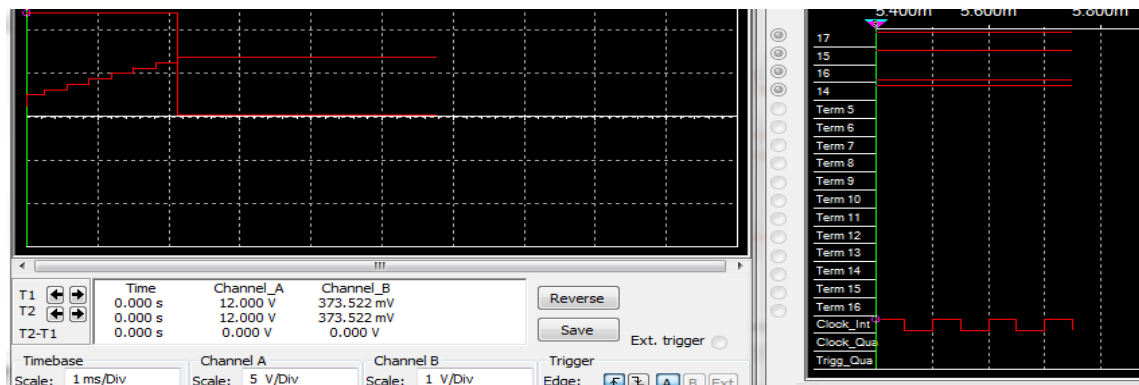


Рисунок 4. а)Процес формування ступінчастої напруги та сигналу зупину лічильника;  
б)відображення коду 1011 на логічному аналізаторі (напруга 1,375 В)

## **ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ І ВИСНОВКИ**

Результати роботи довели плідність методу розробки «згори-додолу» в середовищі Multisim за формулою: алгоритм – схема електрична структурна – окремі вузли – схема електрична принципова. Практичну цінність має сам проект, оскільки схема є оригінальною і дозволяє урізноманітнити як процес навчання, так і розробки електронних пристроїв. Можливе нарощування кількості розрядів перетворення додаванням аналогічних до задіяних в схемі елементів. Встановлено, що похибка вимірювання напруги не перевищує кроку її дискретизації, а швидкодія обмежена часовими параметрами суматора.

За результатами дослідження з'ясовано, що моделі із бібліотек Multisim часто не мають узгодження з реальними параметрами електронних компонентів. Тому необхідно при моделюванні створювати такі режими роботи схеми, щоб не виходити за межі паспортних даних елементів (Data Sheets). Отже, автори пропонують моделювання виконувати разом із аналізом необхідних Data Sheets.

## **СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

- [1] Макаренко В.В. Моделирование радиоэлектронных устройств с помощью программы NI MULTISIM // ЭКЭС – Киев: VD MAIS, 2008, № 7, С. 54-59.
- [2] Крупельницький Л.В. Аналого-цифрові пристрої, що самокорегуються, для вимірювань і оброблення низькочастотних сигналів /Л.В. Крупельницький, О.Д. Азаров. – Вінниця: УНІВЕРСУМ. – 2005. – 168 с.
- [3] Рабинер Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов /Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М.: Мир. – 1978. – 848 с.
- [4] Куо Б. Теория и проектирование цифровых систем управления. – М.: Машиностроение. – 1986. – 448 с.
- [5] Fiore J.M. Operational Amplifiers & Linear Integrated Circuits: Theory and Application. – Version 3.25, 15 December 2020. – 588 p. [Electronic resource] Available: [http://www.dissidents.com/resources/OperationalAmplifiersAndLinearICs\\_3E.pdf](http://www.dissidents.com/resources/OperationalAmplifiersAndLinearICs_3E.pdf) [23.04.2021]
- [6] Mancini R., editor in Chief. Op Amps for Everyone: Design Reference. – Published: Texas Instruments Incorporated. – 2002. – 464 p.

*Наук. керівник – к.т.н., доц., Божко К.М.*