

## РОЗРОБКА ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

*Прус В.В., к.т.н., доц., Кушніль А.А., магістрант*

*Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського*

*39600, Україна, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20*

*E-mail: prus@polytech.poltava.ua*

В статті представлено обґрунтування та розробку структури програмно-апаратного комплексу для створення прототипів цифрових систем управління з метою їх дослідження при проектуванні та навчанні.

**Ключевые слова:** цифрова система управління, об'єкт управління, програмуєма логічна інтегральна схема, операційний усилитель, середовище програмування LabVIEW

In article there is a submission of substantiation and development of hardware-software complex structure for digital control systems prototyping for the purpose of their analysis on designing and education.

**Key words:** digital control system, control object, Erasable Programmable Logic Device, operational amplifier, programming environment LabVIEW

**Вступ.** Рівень розвитку сучасних цифрових інтегральних мікросхем, промислових контролерів, мікро-ЕОМ дозволяє одночасно реалізувати складні алгоритми керування, обробки сигналів у масштабі реального часу, якісної та швидкої передачу даних. Цифрові системи управління (ЦСУ) мають переваги порівняно з аналоговими. Перш за все це виражається у відносній простоті та гнучкості реалізації алгоритмів цифрового управління, які не обмежуються традиційним ПД-регулюванням [1].

Однією з головних складових успішного проектування сучасних комп'ютеризованих систем управління та переобладнання аналогових є знання теорії цифрових систем управління та вміння застосовувати її методи на практиці. Адже, як свідчить досвід провідних вищих навчальних закладів, в останні роки виникли значні проблеми, пов'язані саме із здатністю студентів застосовувати отримані знання, приймати рішення на основі власного досвіду у реальних ситуаціях на практиці. Це вказує на необхідність переглянути існуючі методи та засоби навчання та привести їх у відповідність сучасним вимогам.

Перш за все це стосується лабораторних практикумів та навчально-лабораторного обладнання, адже саме ці складові навчального процесу формують практичні навички. Тому роль лабораторного практикуму з проектування цифрових систем управління у курсі дисциплін спеціальності «Системи управління і автоматики» є надзвичайно важливою.

**Аналіз попередніх досліджень.** За результатами аналізу існуючих рішень у галузі лабораторного забезпечення дисциплін з проектування ЦСУ у провідних вищих навчальних закладах лабораторні стенди можна класифікувати наступним чином:

1) цілком віртуальні лабораторні комплекси на базі персональних ЕОМ з використанням

спеціалізованих програмних пакетів, таких як Matlab, LabView;

2) програмно-апаратні стенди:

- набори, призначені в основному для налагоджування мікропроцесорних систем, з платами розширення під системи управління;

- стенди на базі ПЕОМ з використанням інтерфейсного обладнання, програмованих засобів систем управління та реальних об'єктів управління.

Фактично ці рішення не враховують специфіки викладання базових дисциплін з вивчення теорії ЦСУ. Так, вказані програмно-апаратні комплекси містять реальні об'єкти управління, що на практиці ускладнює задачі аналізу та синтезу систем. Тому при навчанні вирішення цих задач не відповідає початковому рівню знань студентів. В окремих випадках також для реалізації системи необхідні додаткові знання та навички використання інструментальних засобів розробки, які вивчаються пізніше, у інших фахових дисциплінах.

Крім того, структура таких стендів не передбачає можливості гнучкої зміни досліджуваної системи, а набір та параметри об'єктів управління частіше є фіксованими. Тому при розробці і дослідженні системи неможливо протестувати роботу її прототипу при зміні структури об'єкта управління.

Віртуальні лабораторні комплекси вільні від перелічених недоліків, але їх використання не дає повноцінного уявлення про структуру реальної ЦСУ, її апаратних вузлів та можливостей розвитку практичних навичок роботи з типовим інтерфейсним обладнанням та елементною базою ЦСУ.

Тому питання розробки лабораторного обладнання і лабораторного практикуму з проектування та дослідження математичного забезпечення ЦСУ залишається актуальним.

**Мета роботи.** Розробка програмно-апаратного комплексу для дослідження методів аналізу та синтезу цифрових комп'ютеризованих систем управління у ході лабораторного практикуму шляхом фізичного моделювання об'єктів з можливістю зміни їх параметрів та структури.

**Матеріал і результати дослідження.** Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити наступні задачі:

1. Розробити структуру і алгоритми роботи пристрою для побудови та дослідження ЦСУ.

2. Розробити пристрій фізичного моделювання об'єктів управління безперервної та дискретної дії на електронних компонентах з можливістю зміни їх

параметрів та структури.

3. Розробити програмне забезпечення, що реалізує функції роботи з обладнанням.

Враховуючи вимоги до лабораторного обладнання, розроблено структуру програмно-апаратного комплексу, що зображена на рис. 1.

Зважаючи на рівень сучасного програмного забезпечення та пристроїв вводу/виводу, що дозволяють перетворити звичайну персональну електронно-обчислювальну машину (ПЕОМ) на потужний універсальний та зручний інструмент збору та обробки даних, вирішено реалізувати частину функцій саме на базі ПЕОМ під управлінням операційної системи Windows.

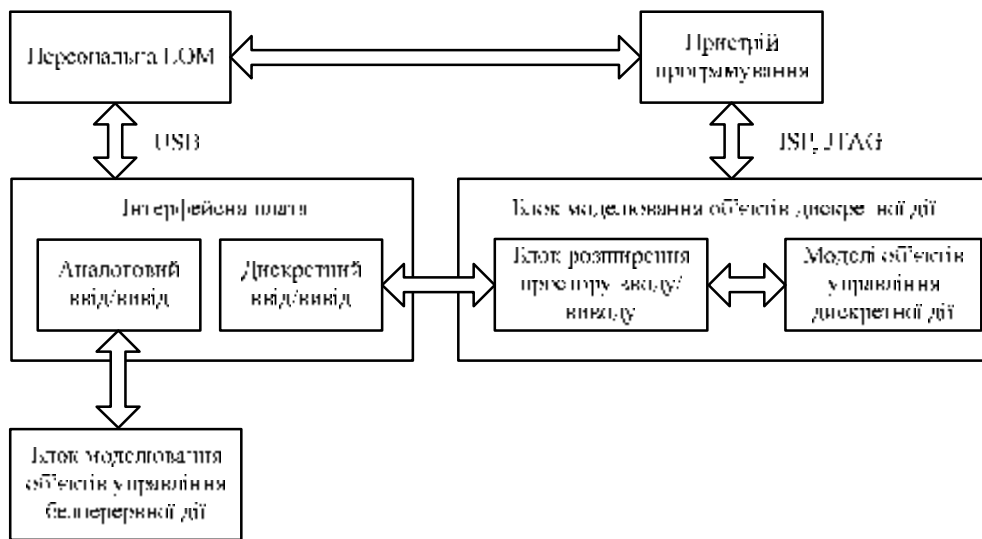


Рисунок 1 – Структура програмно-апаратного комплексу

На ЕОМ покладено задачі пристрою управління ЦСУ, реалізації алгоритмів аналізу та синтезу систем управління (СУ) за допомогою програми верхнього рівня, інтерфейсу з користувачем та іншими блоками стенду.

Об'єкт керування представляється у вигляді фізичної моделі на електронних компонентах. Таке рішення обумовлено наступним:

- можливість зміни структури і параметрів передавальної функції моделі об'єкта управління у достатньо широкому діапазоні;

- недоречність використання реального об'єкта управління через його неідеальність та неможливість тестування роботи систем при зміні параметрів об'єктів управління;

- складність використання реального об'єкта управління через виконання керуючої програми під багатозадачною операційною системою. При цьому у загальному випадку неможливо отримати необхідне постійне значення періоду квантування для забезпечення керування реальним об'єктом із його сталими часу;

- низька вартість порівняно з реальним об'єктом.

Було здійснено огляд сучасної елементної бази, який показав, що при реалізації моделі об'єкта

управління дискретної дії перспективним є використання програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) [3]. Головні їх переваги – можливість побудови на одному кристалі цифрових схем довільної конфігурації та високої складності з паралельним виконанням операцій, швидке та багаторазове перепрограмування прямо у системі. На даний момент світовими лідерами з виробництва ПЛІС є фірми Altera та Xilinx. Для реалізації проекту було вирішено використати мікросхеми фірми Altera з архітектурою FPGA.

Для вводу та налагодження проектів на ПЛІС доступні безкоштовні середовища розробки Quartus Web Edition та MAX+PLUS Baseline.

При проектуванні для даного застосування можна обмежитись простою процедурою вводу схеми у схемному редакторі з використанням стандартної бібліотеки макрофункцій середовища розробки проектів на ПЛІС, що описують роботу типових вузлів цифрової електроніки [4].

Такий підхід не вимагає знань спеціалізованих мов програмування HDL та фактично зводить процес синтезу до вводу попередньо спроектованої моделі дискретного об'єкта у вигляді принципової цифрової схеми у звичному її поданні (рис. 2)

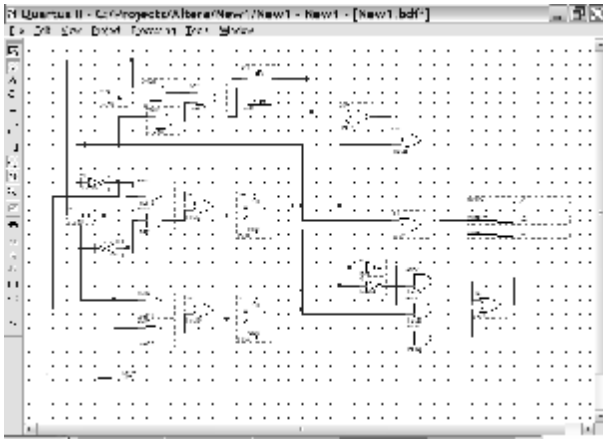


Рисунок 2 – Конфігурування моделі об'єкта управління дискретної дії на базі ПЛІС з використанням середовища Quartus Web Edition

Конфігурування мікросхеми відбувається прямо у системі після подачі живлення через паралельний порт ПЕОМ за допомогою стандартного конфігураційного кабелю ByteBlaster MV. Кількість циклів програмування теоретично необмежене.

Здійснено підбір аналогічної за своїми властивостями елементної бази аналогової електроніки для створення моделей об'єктів з безперервним характером перебігу процесів. У силу того, що програмовані аналогові інтегральні мікросхеми (ПАІС) ще не є достатньо розповсюдженими, вирішено використати схемні рішення на операційних підсилювачах.

Пристрій моделювання об'єктів безперервної дії (рис. 3) містить блоки типових схем на операційних підсилювачах [2]: багатовходові суматори та інтегратори зі сталими часу, що дорівнюють одиниці, включені за інвертуючою схемою. Для фізичної реалізації заданої передавальної функції передбачена можливість каскадного поєднання схем.

Створення моделі полягає у механічній комутації каскадів та включенні до них пасивних елементів із попередньо розрахованими номіналами.

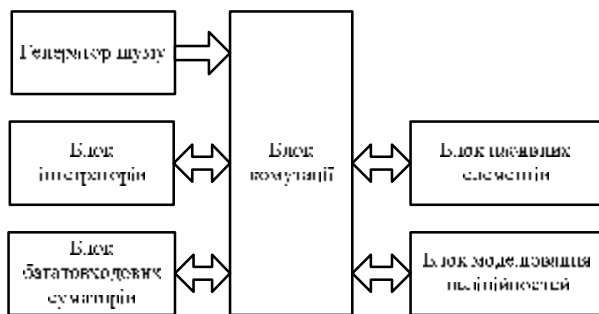


Рисунок 3 – Блок моделювання об'єктів управління безперервної дії

Для перевірки робастності систем передбачено можливість емуляції завод та введення до структури об'єктів типових нелінійностей у вигляді

функціональних перетворювачів на операційних підсилювачах.

Приклад реалізації динамічної моделі, що описується рівнянням другого порядку, на типових схемах інвертуючих інтеграторів та багатовходових суматорів з використанням блока моделювання об'єктів безперервної дії показано на рис. 4. Задачею синтезу фактично є розрахунок необхідних вагових коефіцієнтів та відповідних опорів схем двох багатовходових суматорів, на один з яких подається вхідний сигнал  $x(t)$ , інший формує вихідний сигнал об'єкта  $y(t)$ . При цьому кількість входів першого суматора залежить від максимального ступеня знаменника передавальної функції об'єкта управління, кількість входів другого – від ступеня її чисельника.

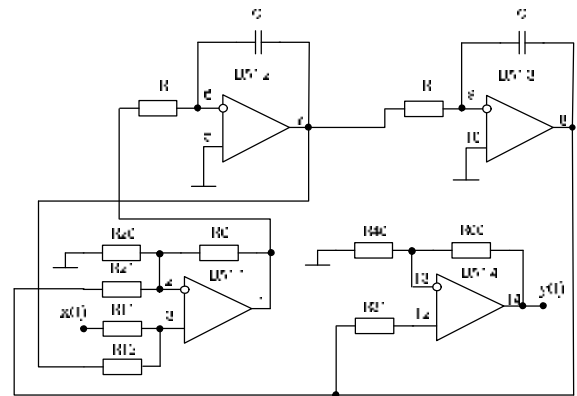


Рисунок 4 – Конфігурування моделі об'єкта управління безперервної дії на базі операційних підсилювачів

Для узгодження ПЕОМ та схем моделей об'єктів управління використано інтерфейсну USB плату Velleman K8055, що містить по два канали 8-розрядного аналогового вводу/виводу, 5 каналів дискретного вводу та 8 каналів дискретного виводу інформації. При цьому, якщо кількість аналогових каналів достатня для реалізації системи управління безперервним об'єктом, то кількість цифрових каналів для створення повноцінної СУ об'єктом дискретної дії та більш повного використання ресурсів ПЛІС бажано розширити. Для цього передбачено схемне рішення – блок розширення простору вводу/виводу, який реалізовано у вигляді функції користувача для проектів на ПЛІС. Нарощування кількості каналів відбувається за принципом розподілу за часом існуючих фізичних ліній.

Не менш важливо визначитись з програмним середовищем розробки, за допомогою якого буде реалізовано зазначені функції ПЕОМ. Тут також необхідно врахувати специфіку задач, які будуть вирішуватись з використанням комплексу. Так, при застосуванні у лабораторному практикумі спеціально створена за допомогою традиційних мов програмування прикладна програма повинна передбачати максимальну участь користувача у процесі, в іншому випадку можна приховати від нього всі алгоритми роботи, внаслідок чого

ефективність з точки зору навчання стрімко зменшиться. Доручити ж користувачу самому створювати програму також недоцільно через його ще недостатню компетентність у галузі програмування та великі витрати часу на цей процес, що не входить до задач дисципліни.

При використанні комплексу для задач проектування та налагодження ЦСУ важливими є автоматизація процесу проектування, зручність роботи з програмним забезпеченням, наявність всіх необхідних інструментів, а також можливість створення власних програм з мінімальними витратами часу.

Компромисним є рішення використати середовище графічного програмування, яке надасть усі необхідні інструменти для реалізації алгоритмів та роботи з пристроями вводу/виводу і одночасно не буде вимагати поглиблених знань традиційних алгоритмічних мов. За такого підходу можна частину допоміжних функцій описати наперед, а основну, найбільш важливу та інформативну частину доручити студенту для виконання під час заняття. Досвідченому ж користувачеві при цьому доступні гнучкі засоби для швидкої розробки власних програм.

Інструментальним середовищем розробки, що відповідає поставленим вимогам, є середовище NI

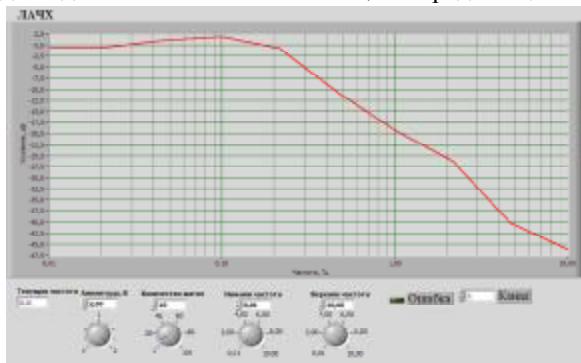


Рисунок 5 – Аналіз часових та частотних характеристик систем з використанням комплексу

**Висновки.** Запропонована структура програмно-апаратного комплексу дозволяє швидко створювати прототипи цифрових систем управління об'єктами дискретної і безперервної дії, надає широкі можливості дослідження та налагодження роботи керуючих алгоритмів при зміні параметрів об'єкта управління. Для реалізації структури достатньо мінімального набору стандартного базового обладнання.

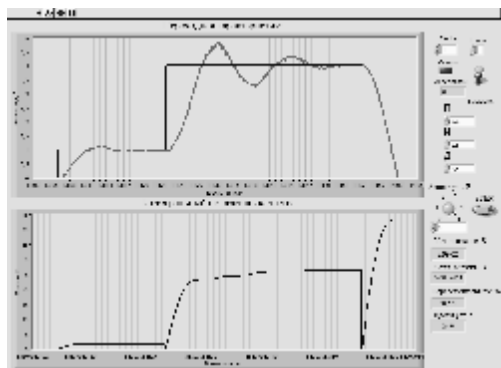
Використання комплексу може бути ефективним як для наукових досліджень, так і при навчанні.

У подальшому планується дослідити ефективність комплексу при використанні у лабораторному практикумі дисципліни «Комп'ютеризовані системи управління», із урахуванням всіх недоліків розширити спектр лабораторних робіт, а також провести експериментальні дослідження з використанням розробленого обладнання.

LabVIEW. Середовище дозволяє створювати віртуальні прилади зі зручним графічним інтерфейсом користувача, що робить процес дослідження систем більш наочним. У якості прикладу на рис. 5 приведено зовнішній вигляд віртуальних приладів для вирішення задач аналізу показників якості, часових та частотних характеристик систем.

Запропонований комплекс може бути використаний при виконанні лабораторних робіт з дисципліни «Комп'ютеризовані системи управління» за тематикою:

1. Робота з модулями вводу-виводу інформації у середовищі LabView.
2. Моделювання об'єктів управління заданої структури за допомогою операційних підсилювачів.
3. Аналітична та експериментальна ідентифікація параметрів об'єкта управління.
4. Аналіз стійкості та показників якості системи за часовими та частотними характеристиками.
5. Синтез та дослідження цифрового регулятора.
6. Синтез та дослідження комбінаційних схем.
7. Синтез синхронних та асинхронних цифрових автоматів.
8. Дослідження паралельних процесів за допомогою мереж Петрі.



#### ЛІТЕРАТУРА

1. Кваско М.З., Піргач М.С., Аверіна Т.В. Проектування і розрахунок дискретних автоматичних систем керування технологічними процесами: Навч. посібник. – К.: НМЦ ВО, 2000. – 248 с.
2. Волович Г.И. Схемотехника аналоговых и аналого-цифровых электронных устройств. – М.: Додэка-XXI, 2005. – 528 с.
3. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. – СПб: БХВ – Петербург, 2004. – 528 с.
4. Стешенко В.Б. ПЛИС фирмы Altera: проектирование устройств обработки сигналов. – М.: ДОДЭКА, 2000. – 128 с.

Стаття надійшла 15.09.2008 р.  
Рекомендовано до друку к.т.н., доц.  
Гладирем А.І.