

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторного практикуму та самостійної роботи з дисципліни

«ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ І КОНТРОЛЮ»

для студентів спеціальності

G6 «Інформаційно-вимірювальні технології»,
освітня програма: «Інформаційні системи моніторингу і контролю»
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Методичні вказівки до лабораторного практикуму та самостійної роботи з дисципліни «Проектування систем моніторингу і контролю» для студентів спеціальності G6 «Інформаційно-вимірювальні технології», освітня програма: «Інформаційні системи моніторингу і контролю» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти першого (бакалаврського) рівня вищої освіти / Укл.: Ольга ВАСИЛЕНКО. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2026. – 51 с.

Укладач: Ольга ВАСИЛЕНКО, доц., канд. техн. наук

Рецензент: Геннадій СНИЖНОЙ, проф., докт. техн. наук

Відповідальний за випуск: Андрій КОРОТУН, доц., канд. фіз.-мат. наук

Затверджено
на засіданні кафедри ІБтаН
Протокол № 4
від 04.02.26 р.

Рекомендовано до видання
НМК ФІБЕК
Протокол № 6
від 04 березня 2026 р.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Лабораторна робота №1 «Системи моніторингу і контролю як динамічні агрегативні системи»	5
1.1 Короткі теоретичні відомості.	5
1.1.1 Системи автоматичного керування.	7
1.1.2 Мехатронні системи	10
1.2 Етапи виконання роботи	14
1.3 Контрольні запитання	14
2 Лабораторна робота №2 «Підходи до моделювання СМК» ..	15
2.1 Короткі теоретичні відомості.	15
2.2 Етапи виконання роботи	24
2.3 Контрольні запитання	24
3 Лабораторна робота №3 «Моделювання і проектування каналів передачі даних в СМК»	25
3.1 Короткі теоретичні відомості.	25
3.1.1 Тракти передачі даних в системах моніторингу.	28
3.2 Етапи виконання роботи.	28
3.6 Контрольні запитання	28
4 Лабораторна робота №4 «Проектування Smart House»	29
4.1 Короткі теоретичні відомості	29
4.2 Етапи виконання роботи	34
4.3 Контрольні запитання	34
5 Лабораторна робота №5 «Основи програмування в середовищі EASY-SOFT»	35
5.1 Короткі теоретичні відомості.	35
5.2 Етапи виконання роботи.	41
5.3 Контрольні запитання	41
6 Лабораторна робота №6 «Побудова СМК на базі інтелектуального реле»	42
6.1 Короткі теоретичні відомості.	42
6.4 Етапи виконання роботи	48
6.5 Контрольні запитання	49
Перелік джерел посилань	50
Додаток А Перелік питань до підсумкового контролю.	51

ВСТУП

В лабораторному практикумі курсу «Проектування систем моніторингу і контролю» студенти мають навчитися виконувати етапи автоматизованого проектування підсистем систем моніторингу і контролю, підсистем кібер-фізичних систем.

Основні завдання вивчення дисципліни «Проектування систем моніторингу і контролю» полягають у:

Пізнавальні – освоєння принципів автоматизованого проектування систем моніторингу і контролю.

Практичні – сформувані практичні навички розробки проектів в галузі автоматизації, інформаційно-вимірювальних систем та систем моніторингу.

У результаті вивчення дисципліни «Проектування систем моніторингу і контролю» здобувач першого (бакалаврського) рівня вищої освіти повинен **мати уявлення про:**

- еволюцію систем моніторингу та автоматизації;
- принципи автоматизованого проектування;
- структуру кібер-фізичних систем;
- принципи тотальної автоматизації;
- місце систем моніторингу і контролю в структурі цифрового виробництва;

знати:

- структури систем моніторингу і контролю рівня 4.0;
- етапи автоматизованого проектування СМК;
- принципи проектування в системах CAD, CAS та CAE;
- нормативне забезпечення автоматизованого проектування;

вміти:

- проектувати розумні систем на базі технологій Індустрії 4.0.
- проектувати системи моніторингу і контролю як складові кібер-фізичних систем;
- проектувати людино-машинний інтерфейс та SCADA;
- проектувати інформаційно-вимірювальні системи на базі інтелектуальних реле та мікроконтролерів;
- програмувати задачі з автоматизації на базі інтелектуальних реле в середовищі EasySoft.

1 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

«Системи моніторингу і контролю як динамічні агрегативні системи»

Ціль роботи: ознайомитися із принципами дослідження динамічних систем моніторингу і контролю, набути уміння і навички моделювання систем в Micro Cap 12.

1.1 Короткі теоретичні відомості

Системи моніторингу і контролю (СМК) є прикладом динамічних систем (ДС), вони також є прикладом мультифізичних (мультидоменних) агрегативних систем, оскільки об'єднують системи та підсистеми різної фізичної природи (з різних доменів). Система моніторингу та система контролю утворюють інформаційну систему автоматичного керування САК (САУ), в якій виконавчі органи (актуатори) є мехатронними системами [1-3].

Прикладами складних ДС можуть бути:

– в галузі технічних систем: електромеханічна слідкуюча система відтворення кута повороту; система стабілізації температури у відсіку космічної орбітальної станції; цифрова система управління рухом літака в режимі заходу на посадку та інші;

– у галузі фізико-біологічних систем: система стабілізації кров'яного тиску людини; система контролю за поширенням інфекційних захворювань; система відтворення запасів риби в деякому районі риболовецького промислу; система підтримки теплового балансу Землі та інші;

– в галузі соціально-економічних систем: система управління галуззю промисловості; система прогнозування купівельного попиту на деяку групу товарів та інші.

Надалі в якості динамічних систем будуть розглядатися тільки технічні системи.

На рис. 1.1 наведено ієрархічну вкладеність понять ДС, САК та мехатронних систем (МС) в складі СМК.

Тут УУ – це устрій (пристрій управління), а ОУ – об'єкт управління.

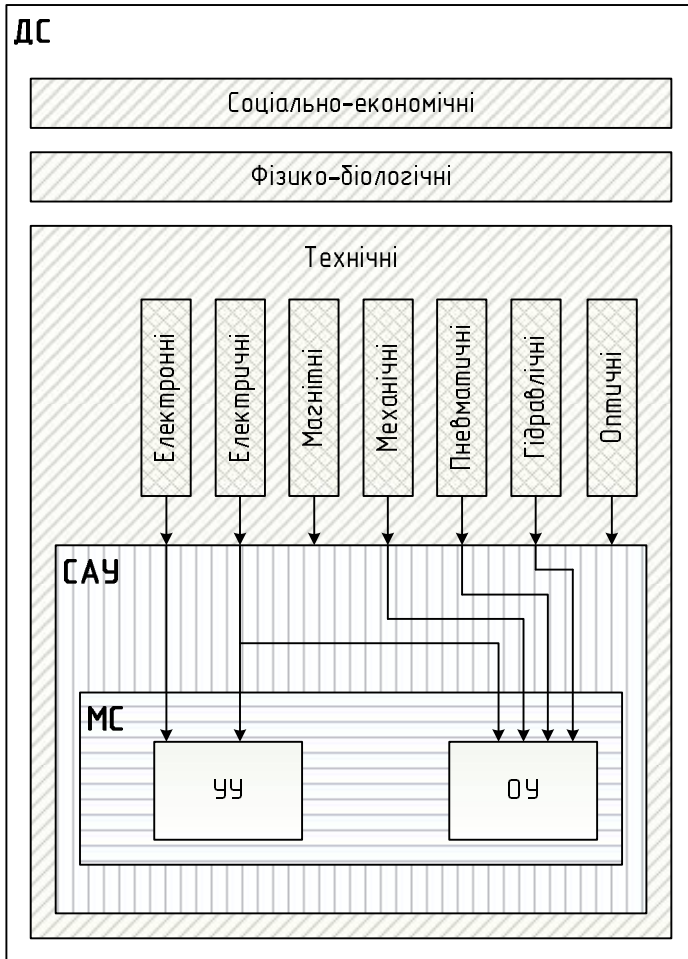


Рисунок 1.1 – Зв'язок ДС, САУ та МС

ОУ – пристрій (система), що здійснює технічний процес і має потребу в спеціально організованих впливах ззовні для здійснення його алгоритму функціонування. Об'єктами управління є, наприклад, як окремі пристрої електричної системи (турбогенератори, силові перетворювачі електричної енергії, навантаження), так і електрична система в цілому. Алгоритм управління – сукупність приписань, що визначають характер впливів ззовні на об'єкт управління та

забезпечують його алгоритм функціонування. УУ – пристрій, що здійснює відповідно до алгоритму управління вплив на об'єкт управління.

Управління, або контроль – вплив на об'єкт для досягнення певної мети. Під системою автоматичного моніторингу і контролю розуміють таку динамічну систему, у якій для досягнення заданої мети проводиться збір, передача й переробка різних потоків інформації за заданими алгоритмами.

1.1.1 Системи автоматичного керування

Вивченням САК займається теорія автоматичного управління. При вивченні процесів управління в ТАУ абстрагуються від фізичних і конструктивних особливостей САК й замість реальних САК розглядають їхні адекватні математичні моделі. Тому основним методом дослідження систем, зокрема в теорії автоматичного керування є математичне моделювання.

На рисунку 1.2 наведена узагальнена структурна схема САК, яка може бути використана для пояснення роботи будь-якої автоматизованої системи, наприклад, моніторингу і контролю.

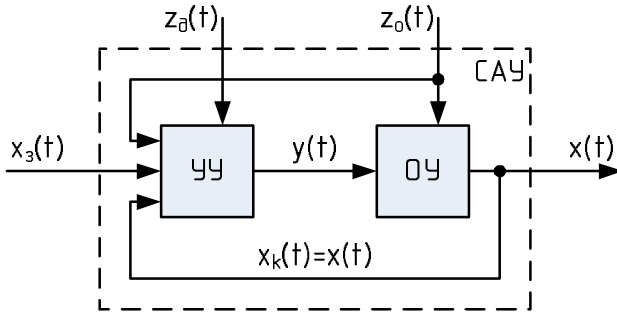


Рисунок 1.2 – Узагальнена структурна схема САК

На рисунку 1.3 наведено структурну схему САК із виділеними підсистемами, інформаційно-виміральною (моніторингу) в тому числі.

ЕЛЕКТРОННІ СИСТЕМИ

СУМІЖНІ

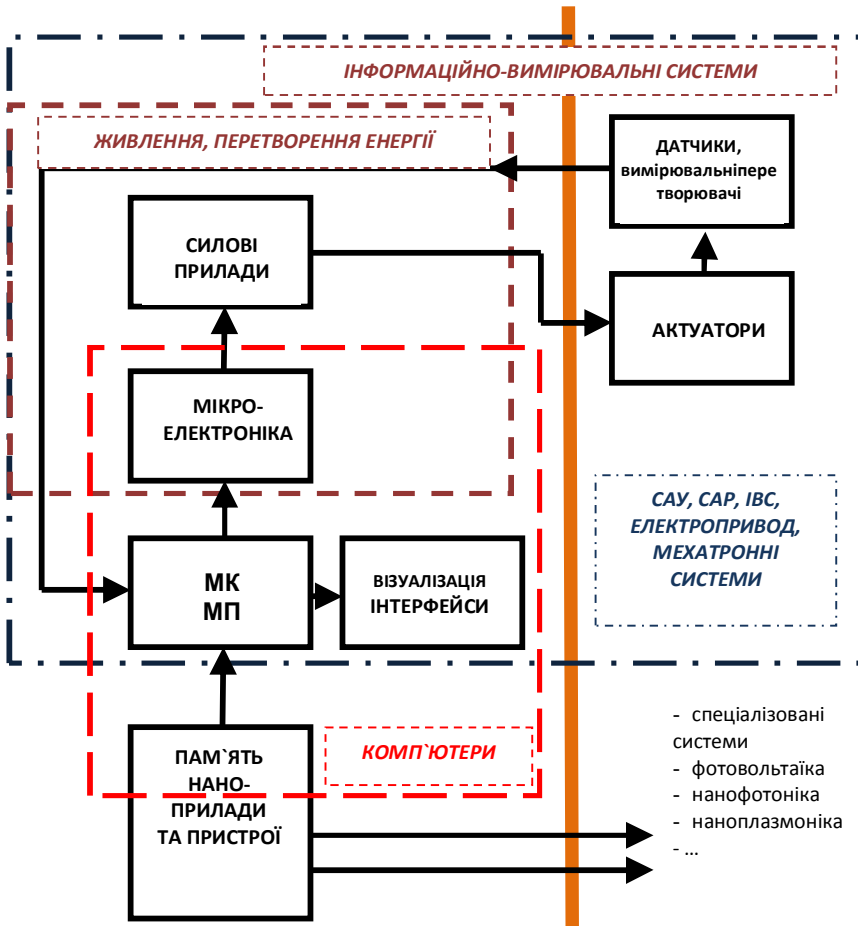


Рисунок 1.3 – Структурна схема САК із підсистемами

Все різноманіття систем управління можна розділити на класи за різними ознаками. За характером математичних співвідношень розрізняють: лінійні системи автоматичного управління, для яких справедливий принцип суперпозиції, і нелінійні системи

автоматичного управління, для яких принцип суперпозиції в загальному випадку не справедливий.

За характером зміни величин як лінійні, так і нелінійні САК можуть підрозділятися на: безперервні (аналогові) і дискретні (імпульсні, релейні, цифрові); стаціонарні (параметри елементів якої не залежать від часу роботи системи) і нестаціонарні.

Стаціонарні та нестаціонарні САК можуть бути з зосередженими та розподіленими параметрами.

За характером використовуваної інформації про умови роботи розрізняють:

– САК з жорстким законом управління та структурою – не адаптивні системи;

– САК з змінюваними структурою і \ або законом управління – адаптивні системи, до яких відносяться: системи автоматичної настройки, самонавчальні системи, системи що самоорганізуються, системи зі змінною структурою, системи з самонастроюванням програми, системи з самонастроюванням параметрів, системи з самонастроюванням структури.

За алгоритмами функціонування системи діляться на стабілізуючі, програмні, слідкуючі.

За кількістю вихідних координат об'єкта управління розрізняють одновимірні і багатовимірні САК. Останні діляться на системи пов'язаного і незв'язаного управління. У системах пов'язаного управління окремі керуючі пристрої з'єднані між собою зовнішніми зв'язками. Окрема САК, що входить до складу багатовимірної системи називається автономною, якщо керована нею вихідна змінна не залежить від значення інших керованих величин.

За властивостями в сталому режимі розрізняють статичні і астатичними системи.

За принципом управління розрізняють системи з управлінням по розімкненому циклу (прості і за збуренням) і системи з управлінням по замкнутому циклу з застосуванням зворотного зв'язку. У простих розімкнутих САК програма управління жорстко задана в УУ і вплив збурень на параметри процесів не враховується.

Розімкнене регулювання застосовується за наявності двох умов: достатньої інформації про властивості об'єкта і їх сталості в процесі роботи; незначному рівні перешкод або їх повній відсутності. У той час як замкнуті системи дозволяють вирішувати всі завдання

управління: стабілізації, стеження і програмного управління. Нестійкі об'єкти можуть бути керовані тільки системами із замкнутими структурами. Також замкнуті САК можуть бути одноконтурні чи багатоконтурні.

СМК можна віднести до мехатронних систем (МС), до складу яких входить пристрій управління (цифровий) і електромеханічний об'єкт контролю (управління).

1.2 Мехатронні системи

Слово «Мехатроніка» складається з двох частин – механіка і електроніка. При своєму народженні це слово означало тільки використання комп'ютера для управління механічною системою.

Якщо в якості актуаторів в САК використані електричні двигуни, така система буде мехатронною. МС є динамічною системою, і на першому етапі інтерес буде представляти, зокрема, її об'єкт управління. Крім того МС є специфічною САК (вноситься конкретика до складу пристрою управління й об'єкта управління, тобто на САК накладають обмеження, а значить можна зробити висновок, що МС є, як би, окремим випадком САК), особливості якої будуть розглянуті далі.

Існує велика кількість формальних визначень мехатроніки і МС, що мало відрізняються одне від одного. Ось одне з них: мехатроніка – це нова область науки і техніки, присвячена створенню і експлуатації машин і систем з комп'ютерним управлінням рухом, яка базується на знаннях в галузі механіки, електроніки і мікропроцесорної техніки, інформатики і комп'ютерного керування рухом машин і агрегатів. З аналізу даного визначення випливає, що:

- МС призначені, для реалізації заданого руху й основу будь-якої МС становить деякий виконавчий механізм;
- необхідною частиною МС є привод – електромеханічний, гідравлічний або якийсь інший;
- важливим компонентом МС є керуючий пристрій, завдання якого – забезпечення складних координованих рухів механічної частини.

Це дозволяє визначити особливості ММ мехатронних пристроїв, розуміючи під ними об'єкти, для дослідження та проектування яких використовуються математичні моделі, що відображають взаємний

вплив процесів різної фізичної природи в об'єкті – механічних, електричних, інформаційних тощо.

МС, що включають в свій склад електромеханічні перетворювачі з електронною комутацією (актуатори), різного виду датчики (сенсори), силові напівпровідникові перетворювачі, мікроконтролери та персональні комп'ютери, широко застосовуються і інтенсивно розвиваються.

В даний час мехатронні пристрої широко використовуються в медицині (штучні органи), в комп'ютерній техніці (привода дисків, принтери, сканери), в автомобілях (гальмівні системи, системи управління двигуном), в роботах і маніпуляторах, у верстатах з числовим програмним управлінням (ЧПУ), в аудіо- і відео-техніці, у спеціальних пристроях космічної та військової техніки.

Застосування мехатронного підходу при створенні машин з комп'ютерним управлінням визначає їх основні переваги в порівнянні з традиційними засобами автоматизації:

- відносно низьку вартість завдяки високому ступеню інтеграції, уніфікації й стандартизації всіх елементів і інтерфейсів;
- високу якість реалізації складних і точних рухів внаслідок застосування методів інтелектуального управління;
- високу надійність, довговічність і перешкодозахищеність;
- конструктивну компактність модулів (аж до мініатюризації);
- поліпшені масогабаритні й динамічні характеристики машин внаслідок спрощення кінематичних ланцюгів;
- можливість комплексування функціональних модулів у складні МС й комплекси під конкретні завдання замовника.

Функціональна схема МС в загальному вигляді наведена на рисунку 1.4.

Вона включає три підсистеми: інформаційну, енергоелектронну і електромеханічну. Електромеханічна підсистема містить об'єкт управління (ОУ) і електромеханічний перетворювач (ЕМП). Енергоелектронна підсистема включає силовий напівпровідниковий перетворювач (СНП) та вторинне джерело живлення (ВДЖ). Інформаційна підсистема містить систему управління і діагностики (СУД) і блок сенсорних пристроїв (СП). При дослідженні МС необхідно розглядати динамічні, статичні, енергетичні, спектральні і ряд інших характеристик.

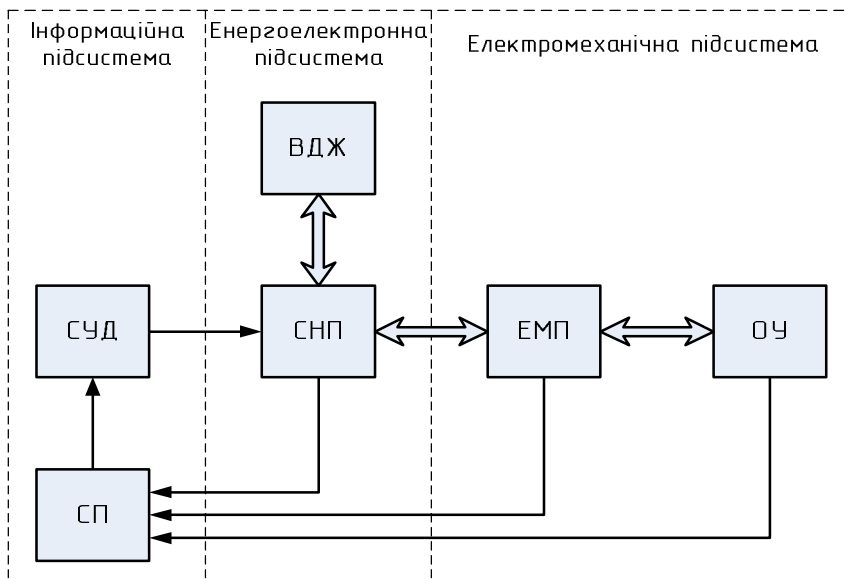


Рисунок 1.4 – Функціональна схема мехатронної системи

Слід підкреслити основні особливості МС:

- об'єкти управління МС безпосередньо не пов'язані з виробництвом. Як правило, вони замінюють людину в умовах, де її можливості обмежені або там, де її здоров'ю та життю загрожує небезпека;

- об'єкти управління ОУ мехатронних систем, як правило, мають змінні параметри. Часто не вдається створити математичну модель об'єкта управління на основі фізичних закономірностей його роботи. У цьому випадку для математичного опису ОУ доводиться вдаватися до методів ідентифікації;

- електромеханічні перетворювачі ЕМП часто є конструктивною ланкою об'єкта управління. У цьому випадку конструкція ЕМП є нетрадиційною;

- управління потоком енергії від ВДЖ до ЕМП здійснюється силовим напівпровідниковим перетворювачем СНП. Об'єднання ВДЖ, СНП та ЕМП створює мехатронну енергетичну підсистему, в якій виявляються нові властивості, відсутні в окремо взятих блоках;

- мехатронна енергетична підсистема, як правило, є нелінійною,

імпульсною підсистемою з дискретно змінними параметрами. Тому її аналіз, а також синтез системи управління вимагає застосування методів, що базуються на сучасних комп'ютерних технологіях.

Розрахунки й проектування МС включають:

- побудову спільної моделі цифрової, імпульсної й безперервної частини;
- дослідження динамічних характеристик безперервної й імпульсної частини;
- синтез регулятора;
- дослідження динамічних характеристик усієї системи;
- дослідження статичних характеристик усієї системи.

У мехатроніці об'єктами управління доцільно вважати самі електромеханічні системи різного ступеня складності, зокрема нею може бути електричний привод.

Привод мехатронної системи, включає, перш за все, двигун і пристрій управління ним. Крім того, до складу приводу можуть входити різні механізми для передачі і перетворення руху (редуктори, перетворювачі обертального руху в поступальний і навпаки), гальмо і муфта. До приводів, що застосовуються в МС, пред'являють досить жорсткі вимоги. У зв'язку з необхідністю вбудовування приводів до робочих органів МС – в маніпулятори та системи пересування – габарити і маса приводів повинні бути мінімальними. Приводи в МС працюють в основному в несталих режимах і зі змінним навантаженням. При цьому перехідні процеси в них повинні бути практично неколивальними. Важливими параметрами приводів МС є також надійність, вартість, зручність експлуатації. Вимоги, що пред'являються до їх способу управління, швидкодії і точності, безпосередньо визначаються відповідними вимогами до МС в цілому.

У МС знайшли застосування практично всі відомі типи приводів: електричні, гідравлічні та пневматичні; із поступальним і обертальним рухом; регульовані (по положенню і швидкості) і нерегульовані; замкнуті (зі зворотним зв'язком) і розімкнені; безперервної і дискретної дії (в тому числі крокові). Застосування пневматичних приводів в МС пояснюється їх дешевизною, простотою і відповідно надійністю. Але ці приводи погано керовані і тому використовуються в основному як нерегульовані з цикловим управлінням. Пневматичні приводи застосовують тільки в роботах невеликої вантажопідйомності – до 10-30 кг. Гідравлічні приводи

найбільш складні і дорогі з іншими. Однак при потужності 500-1000 Вт і вище вони володіють найкращими масогабаритними характеристиками, добре керуються і тому є основним типом приводу для важких і надважких МС.

Електричний привод, незважаючи на його добру керованість, простоту підведення енергії, більший коефіцієнт корисної дії (ККД) і зручність експлуатації має гірші масогабаритні характеристики, ніж пневматичний і гідравлічний приводи. Прогресивне збільшення в останні роки частки електромеханічних МС в загальному парку мехатронних пристроїв у світі викликано швидким прогресом у створенні нових типів електричних двигунів, спочатку призначених для роботів, що дозволяють створювати більш компактні комплектні приводи всіх необхідних типів. На сьогодні основна область застосування електричних приводів в мехатроніці – це пристрої середньої вантажопідйомності (десятки кілограм), легкі МС з високоякісним управлінням і мобільні роботи.

1.3 Етапи виконання лабораторної роботи

1. Встановіть за посиланням в Moodle програму Micro Cap12.
2. Дослідіть динамічні системи, використовуючи файли System1.cir та System2.cir в режимі аналізу Transient. Схеми та результати аналізу з поясненнями наведіть в звіт.
3. Знайдіть і опишіть в звіті різницю в підходах до моделювання цих систем.

3. З папки MC12/Data/Motors оберіть моделі крокових двигунів, схему і результати моделювання в Transient аналізі наведіть в звіт, з поясненням щодо принципів роботи двигуна та його системи керування.

1.4 Контрольні питання

1. СМК як динамічні агрегативні системи.
2. СМК як системи автоматичного керування.
3. СМК як мехатронні системи.
4. Структурні схеми САК.
5. Структурні схеми мехатронних систем.
6. Приклад мехатронної системи на базі крокових двигунів.

2 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2 «ПІДХОДИ ДО МОДЕЛЮВАННЯ СМК»

Мета роботи: освоїти принципи моделювання СМК, зокрема в 20-sim.

2.1 Короткі теоретичні відомості

Будь-яку СМК з кінцевою точністю і певним спрощенням можна описати математично. Таким чином, значно збільшується ефективність і формалізується процедура дослідження САК.

Типові завдання проєктування (аналіз і синтез) для свого вирішення вимагають математичного опису системи. Створення такого опису, тобто побудова математичної моделі (ММ) системи, зазвичай проводять за допомогою декомпозиції реальної системи. Систему поділяють на елементи і складають рівняння, що описують їх поведінку (рух) – зміну їх стану в часі. Рівняння складають на основі законів збереження енергії або речовини. При цьому модель ідеалізують (лінеаризація, стаціонаризація) [3]. Результуючими рівняннями часто є звичайні диференціальні рівняння (ODE) з постійними коефіцієнтами або диференціальні алгебраїчні рівняння (DAE). Крім диференціальних рівнянь в якості ММ застосовують передавальні функції (ПФ), які дозволяють представляти ММ системи у вигляді алгоритмічних структурних схем.

В процесі функціонування систем здійснюється перетворення енергії одного виду в енергію іншого виду. Це обумовлено різною фізичною природою елементів, що входять до складу мультифізичних СМК. Так одна і та ж система може включати в себе, наприклад, механічні, електричні та гідравлічні елементи. Але процеси перетворення та перерозподілу енергії в СМК, на відміну від багатьох інших фізичних систем, строго орієнтовані (направлені, каузальні), тобто вплив передається тільки в певному напрямку.

Спрямованість передачі впливів забезпечується завдяки наявності у одного або декількох конструктивних елементів системи так званої детектуючої властивості. Наприклад, електричний чотириполюсник володіє односпрямованістю передачі впливів, якщо він не навантажує попередній чотириполюсник, тобто якщо вихідний

опір попереднього елемента істотно менше вхідного опору розглянутого чотириполюсника. Зазвичай властивістю односпрямованості володіють ті елементи систем, які передають інформаційні впливи. До таких елементів відносяться в першу підсистеми моніторингу та вимірювання. Конструктивні частини системи, через які передаються енергетичні впливи, цією властивістю, як правило, не володіють – це неорієнтовані, а-каузальні елементи. Тільки внаслідок наявності елементів спрямованої дії в СМК створюється замкнений контур передачі впливів, за допомогою якого і здійснюється цілеспрямований процес контролю.

Моделювання складних динамічних систем (ДС), наприклад, мехатронних, було і є одним з найбільш потужних інструментів системних досліджень. Моделюванням слід користуватися з достатньою мірою обережності та уважності: необхідно не просто отримати результати досліджень, проведених за допомогою тих чи інших моделей, важливо ретельно вивчити досліджувану систему, скласти її опис, підібрати методи відтворення вхідних впливів, побудувати адекватну модель, спланувати і провести експерименти, обробити і вірно інтерпретувати результати.

Моделювання є одним з найважливіших етапів проектування будь-якого технічного об'єкта, що дозволяє замінити або значно скоротити етапи налагодження і натурних випробувань. Роль моделювання особливо висока, коли натурні випробування дуже дорогі або небезпечні, як, наприклад, при роботі з космічними апаратами, хімічними і ядерними реакторами та іншими об'єктами.

Термін «моделювання» має дві складові: modeling & simulation:

– «modeling» – відноситься, насамперед, до процесу побудови моделей об'єктів і систем;

– «simulation» – означає проведення комп'ютерного експерименту з моделлю (зазвичай чисельного), з візуалізацією результатів цього експерименту.

Математично технічні системи можуть описуватися різними способами, в залежності від класу системи:

– безперервні системи, описувані звичайними диференціальними рівняннями;

– дискретні системи, описувані кінцево-різницевиими рівняннями;

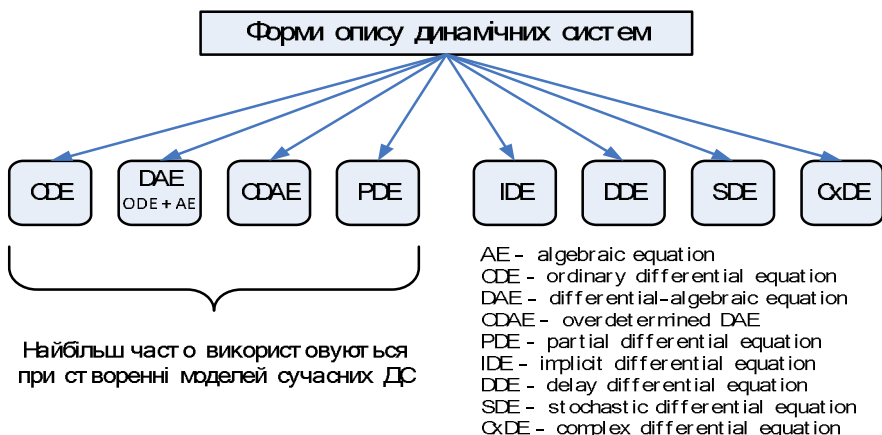
– системи з розподіленими параметрами, які описуються

диференціальними рівняннями в приватних похідних;

– системи з післядією, описувані функціонально-диференціальними рівняннями. Такі системи виникають тоді, коли протікання процесу визначається не тільки станом системи в даний момент, але також і передісторією процесу;

– стохастичні системи, описувані ймовірнісними поняттями і методами.

Будь-яку динамічну систему, САК в тому числі, можна описати однією з форм рівнянь (або їх комбінацією), як на рисунку 2.1.



Рисунк 2.1 – Форми опису ДС

Якщо поведінку безперервної системи можна описати відразу лише алгебраїчними рівняннями (AE) без попередніх спрощень, то вона не є динамічною (не відображає динаміку). Це властиво лише деяким абстрактним системам.

Формою **графічного** представлення інформації про модельовану систему можуть бути:

- операторно-структурні схеми, прийняті в ТАУ;
- функціональні та принципові схеми різних фізичних пристроїв;
- кінематичні схеми механізмів;
- сигнальні граfi (SFG);
- граfi зв'язків або зв'язані граfi (BG);
- блок-схеми алгоритмів та інші графічні моделі.

Процес побудови моделі (**modeling**) виявився етапом, що найбільш важко автоматизується. «Ручна» підготовка моделі складного технічного об'єкта пов'язана з великим обсягом перетворень, в яких легко допустити помилку. У сучасних системах автоматизованого моделювання, виходячи з міркувань зручності сприйняття людиною, використовуються, як правило, графічні засоби завдання вихідної інформації про модель. Перехід до зображення структури системи на екрані монітора дозволив виключити етап ручного кодування схеми, однак вимагав розробки нового принципу організації самого процесу чисельних розрахунків.

Класифікацію систем автоматизованого проектування (САПР) здійснюють за низкою ознак, наприклад, за цільовим призначенням, масштабами (комплексності вирішуваних завдань), характером базової підсистеми – ядра САПР. За сферою використання найбільш представницькими та широко використовуваними є наступні групи САПР:

- для застосування в галузях загального машинобудування. Їх часто називають машинобудівними САПР або MCAD-системами (Mechanical CAD).

- для радіоелектроніки – ECAD (Electronic CAD) або EDA (Electronic Design Automation) системи.

- в області архітектури і будівництва тощо.

За цільовим призначенням розрізняють САПР для різних аспектів проектування:

- САПР функціонального проектування, інакше CAE-системи (Computer Aided Engineering).

- конструкторські САПР, часто звані CAD-системами (Computer Aided Design);

- технологічні САПР, інакше звані автоматизованими системами технологічної підготовки виробництва або CAM-системами (Computer Aided Manufacturing).

Використання систем автоматизації моделювання, наприклад Computer Aided Engineering (CAE), дозволило істотно підвищити продуктивність праці, знизити число помилок, фахівць в предметній (прикладній) області може самостійно створювати досить складні моделі. CAE системи дозволяють досліджувати системи на макрорівні, тобто аналізувати та оптимізувати систему із ціллю прийняття рішення щодо топології (структурний підхід) та

функціональних можливостей в цілому (системний підхід). В САД проєктуються підсистеми різної фізичної природи як на макрорівні (функціональний рівень для змішаних систем), так і на мікрорівні (схемотехнічний рівень).

В системах віртуального виробництва ланка САЕ → САД → САМ утворює наскрізний цикл під керуванням програми – менеджера даними про виріб (PDM - Product Data Manager). В САМ від ЕСАД можуть бути передані програми для станків, роботів та синтезовані технологічні карти.

Сучасні пакети візуального компонентного моделювання використовують один з двох методів представлення інформації про досліджувану систему – структурне (блочне) моделювання і фізичне мультидоменне моделювання, або обидва. При цьому за кожним з двох методів можуть стояти певні особливості математичного ядра/ядер (солвера) для **simulation**.

Структурним моделюванням (**каузальним**) називається техніка моделювання, заснована на використанні моделей у вигляді блоків, для яких визначені входи і виходи. Відповідно, блоки розглядаються як перетворювачі вхідних сигналів у вихідні. Структурне моделювання використовується, наприклад, в пакеті Simulink (рисунок 2.2), VisSim, SimApp, 20sim, SamSim.

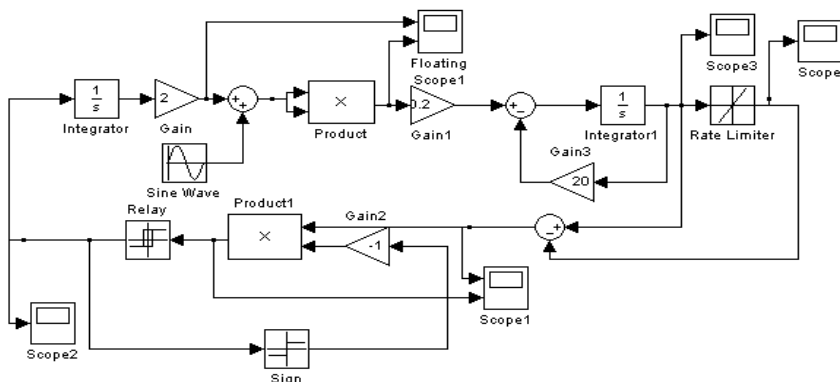


Рисунок 2.2 – Схема для дослідження екстремальної системи в пакеті Simulink

При моделюванні лінійних систем зв'язки між вхідними та вихідними сигналами встановлюються за допомогою завдання

передавальних функцій. Для нелінійних систем ці зв'язки задаються нелінійними алгебраїчними або диференціальними рівняннями. Оскільки структурні блоки мають виражені входи і виходи, побудовані згідно з цією технікою моделі іноді називають спрямованими (орієнтованими) сигнальними графами.

Фізичним мультидоменним (**акаузальним**) моделюванням називається техніка моделювання, заснована на використанні бібліотеки моделей елементів фізичних пристроїв, з яких можна скласти схеми фізичні принципи. Оскільки в енергетичних ланцюгах потік енергії може змінювати напрямок, то для елементів фізичних схем входи і виходи не визначені. Окремим випадком даної техніки моделювання є використання графів зв'язків (bond graph, BG). Ідеологія фізичного мультидоменного моделювання полягає в тому, що модель будь-якого технічного пристрою будується як перетворюючий енергію ланцюг (рис. 2.3).

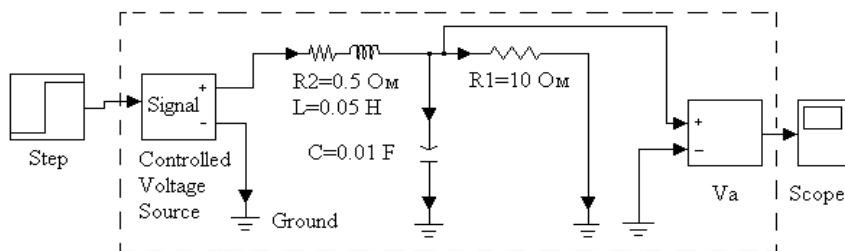


Рисунок 2.3 – Схема для моделювання електронної системи в пакеті SimPowerSystems

Головна відмінність структурного і фізичного мультидоменного моделювання не тільки у формі завдання вихідної інформації, але і в використовуваних методах чисельного інтегрування диференціальних рівнянь. Зазвичай зі структурним моделюванням пов'язують явний солвер, який являє собою бібліотеку класичних підпрограм чисельного інтегрування, що реалізують явні методи інтегрування. З фізичним мультидоменним моделюванням зазвичай пов'язують ітераційний солвер. Ітераційний солвер реалізує неявний метод моделювання, при якому на кожному кроці спочатку формується повна нелінійна система алгебраїчних рівнянь, яка далі вирішується ітераційним методом. Важливою особливістю неявних методів (крім

усього іншого) є те, що не потрібно штучно розривати систему, щоб організувати потік обчислень.

Пакет **20-sim** призначений для моделювання динаміки технічних систем – механічних, електричних, гідравлічних, а також складних систем, що містять елементи всіх перелічених, як СМК. Пакет підтримує візуальне компонентне моделювання – модель вводиться звичайним для пакетів такого типу методом – компоненти вибираються з бібліотеки, переносяться на робочий стіл і з'єднуються зв'язками. 20-sim дозволяє працювати як з орієнтованими блоками, так і з не орієнтованими, що дуже зручно при моделюванні систем управління фізичними об'єктами і установками. Бібліотеки базових компонентів: типових одновимірних направлених ланок (Signal) – джерел, вимірників, перетворювачів, блоків математичних операцій і т.д.; елементів графів зв'язків (Bond Graph), як найпростіших універсальних енергетичних компонентів; механічних, електричних, гідравлічних, теплових елементів (Iconic Diagram). В якості прикладу на рисунку 2.4 представлена модель системи, де енергетична частина представлена графом зв'язків, а керуюча – блок-схемою, що включає спрямовані ланки.

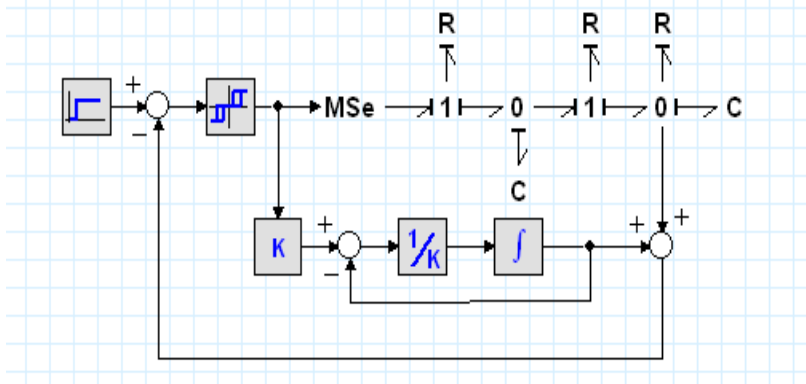


Рисунок 2.4 – Приклад моделі системи в 20-sim

Пакет 20-sim має ряд розширень, одним з яких є Mechatronics Toolbox, що включає в основному моделі різних електромеханічних пристроїв. Важливо відзначити, що більшість моделей, представлених в даному розширенні, відносяться до конкретних мехатронних пристроїв, що підтримуються і супроводжуються виробниками

технічних засобів. Вони точні, докладні та закривають всі аспекти функціонування пристроїв.

В якості внутрішньої мови опису моделей використовується мова, подібна мові Modelica або мові середовища Maple, але є більш зрозумілою і простою у вивченні. 20-sim має розвинуті засоби анімації, в тому числі 3D, потужний солвер, що дозволяє отримувати числовий розв'язок як ODE, так і диференціально-алгебраїчних рівнянь (DAE), використовуючи однокрокові і багатокрокові методи різних порядків: Euler, Backward Euler, Adams-Bashford 2, Runge-Kutta 2 та 4 порядків, Runge-Kutta-Dormand-Prince 8, Runge-Kutta-Fehlberg, Vode Adams, Backward Differentiation Formula (BDF), Modified Backward Differentiation Formula (MBDF). Також програма має 8 алгоритмів оптимізації (2 прямих, 6 градієнтних): Perpendicular Search, Line Climber, Steepest Descent, Continuous Descent, Newton-Raphson, Davidson-Fletcher-Powell, Broydon-Fletcher-Goldfarb-Shanno, Polack-Ribiere.

20-sim має широкі можливості щодо моделювання (modeling) та дослідження електронних систем, також має інтуїтивно зрозумілий і не перевантажений інтерфейс. Привабливою програму також роблять можливість фізичного мультидоменного моделювання та різноманітність форм представлення моделей систем: рівняння у рядковій математичній нотації, орієнтовані блок-схеми, акаузальні традиційні (Iconic) схеми (принципові) та ненаправлені зв'язані графи (графи зв'язків BG).

Програма має три види версій або редакцій (з ліцензіями Academic та Corporate): Viewer, Standard, Professional. Причому версія Viewer безкоштовна, завантажується з сайту виробника без авторизації (легкодоступна) та не має обмежень (на відміну від Standard), тобто володіє повною функціональністю (як Professional). Мінімальні ціни 20-sim Standard та 20-sim Professional – \$700 та \$1400 відповідно (для академічної ліцензії).

Програма має деякі переваги та особливості:

- 32/64-бітний розрахунковий машинний код, що дозволяє в кілька раз підвищити швидкість розрахунків при симуляції;

- принцип відкритості, забезпечуваний механізмами підключення зовнішніх програм (Matlab/Simulink) і можливістю вільно переглядати, редагувати існуючі й створювати нові бібліотеки моделей;

- принцип вкладеності або ієрархічності структур (глибина вкладеності не обмежена), що особливо актуально для складних ДС;

- значний обсяг бібліотеки моделей, що в багатьох випадках дозволяє сформувати математичну модель динаміки складної технічної системи без необхідності створення нових ММ;

- дуже проста в освоєнні Modelica-подібна мова опису моделей SIDOPS+, яка використовує математичну нотацію для запису рівнянь;

- присутній потужний інструментарій частотної області, що включає FFT-аналізатор, лінеарізатор і редактор лінійних систем;

- універсальний редактор лінійних систем, який дозволяє редагувати систему (модель) як простір станів, передатну функцію, нулі-полюса й перетворювати їх між собою, а також містить опції показу діаграм Боде, годографа Найквіста, графіка Нікольса, діаграм нулів-полюсів, реакції системи на функцію Хевісайда;

- можливість транслювати будь-яку модель у Сі-код для використання в Matlab/Simulink або автономний Сі-код для використання в С и С++ програмах;

- наявність вичерпної контекстної довідкової системи у формі типової довідки WINDOWS для кожної моделі стандартної бібліотеки й елемента інтерфейсу.

20-sim дозволяє використовувати кілька форм представлення ДС при побудові моделей (в тому числі у змішаній формі):

- форма на основі диференціальних рівнянь (текстова модель);

- блок-схеми (BD);

- традиційні (функціональні) схеми декількох доменів (ID);

- графи зв'язків (BG);

- автомати станів (SM) (за підтримки розвиненої мови програмування SIDOPS+);

- передавальні функції (transfer function, TF).

В 20-sim дозволяється моделювання як безперервних систем, так і дискретних, а також змішаних (або гібридних), які представляють комбінацію двох перших. За замовчуванням, моделі в 20-sim є безперервні; аналіз проводиться за допомогою безперервних (continuous-time) методів інтегрування. Входи та виходи (з'єднання) дискретних елементів моделі позначаються у головному редакторі зеленим кольором, а самі дискретні елементи ідентифікуються появою спеціальних функцій у їх описі («sample», «hold», «next», «previous», «sampletime»).

Для з'єднання безперервних та дискретних елементів застосовуються функції «sample» та «hold» (перша має дискретний вхід та безперервний вихід, а друга - навпаки).

Будь-яка головна модель в 20-sim може бути описана за допомогою композиції підмоделей (submodel) більш низького рівня, які у свою чергу знову можуть складатися з підмоделей. Найнижчий рівень ієрархії завжди представляє собою елементарні підмоделі на основі рівнянь на мові SIDOPS+. 20-sim не має обмежень на рівень вкладеності моделей і дозволяє інкапсулювати будь-яку частину системи та розгортати її назад за допомогою функцій графічного редактора («implode/explode»).

На жаль, демо-версія програми не дозволяє зберігати відпрацьований файл для подальшої роботи.

2.2 Порядок виконання роботи

1. Встановіть за посиланням в Moodle програму 20 sim.
2. Дослідіть інтерфейс та склад бібліотеки 20 sim.
3. З папки 20sim/Models/Examples/Control оберіть файл PID Testbench, схему і результати моделювання з поясненнями наведіть в звіт, з поясненням щодо принципів роботи системи керування.
4. З папки 20sim/Models/Examples/Control оберіть файл Filtering and Aliasing, схему і результати моделювання наведіть в звіт, з поясненням щодо принципів роботи системи керування.

2.3 Контрольні запитання

1. Поняття та приклади моделей динамічних систем.
2. Форми представлення моделей СМК (прикладі).
3. Принципи вибору програми для дослідження СМК.
4. Способи моделінгу СМК.
5. Рівняння, якими описуються динамічні системи (СМК в тому числі).
6. Характеристики моделі.
7. Поняття САПР. Критерії вибору програми моделювання.
8. Показники якості САЕ.
9. Мультидоменне моделювання.
10. Каузальне та акаузальне моделювання.

3 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

«МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОЄКТУВАННЯ КАНАЛІВ ПЕРЕДАЧІ ДАНИХ В СМК»

Мета роботи: дослідити етап аналізу каналів передачі даних при проєктуванні СМК.

3.1 Короткі теоретичні відомості

Проєктування й функціонування автоматичного процесу, призначеного для забезпечення технічних характеристик, таких, наприклад, як прибутковість, якість, безпека й вплив на навколишнє середовище, вимагають тісної взаємодії фахівців різних дисциплін. Інтенсивне ускладнення й збільшення масштабів промислового виробництва, розвиток економіко-математичних методів керування, впровадження інформаційних технологій в усі сфери виробничої діяльності людини, що володіють більшою швидкістю, гнучкістю логіки, значним обсягом пам'яті, послужили основою для розробки СМК, які якісно змінили формулу управління, значно підвищили його ефективність.

Достоїнства інтелектуальної техніки проявляються в найбільш яскравій формі при зборі й обробці великої кількості інформації, реалізації складних законів управління. Отже, проєктування систем керування відіграє важливу роль у сучасних технологічних системах. Вигоди від удосконалювання її систем моніторингу та керування в промисловості можуть бути величезні. Вони включають поліпшення якості виробу, зменшення споживання енергії, мінімізацію максимальних витрат, підвищення рівнів безпеки й скорочення забруднення навколишнього середовища. Труднощі тут полягають в тому, що ряд найбільш передових ідей має складний математичний апарат.

3.1.1 Тракти передачі даних в системах моніторингу

Трохи теорії щодо моделі довгої лінії (*Transmission line*). Велике правило для лінії передачі полягає в тому, що лінія повинна бути принаймні $1/4$ довжини хвилі, перш ніж вона вважається «довгою».

Довжина хвилі обчислюється за формулою $\lambda = v/f$, де « λ » – довжина хвилі, « v » – швидкість поширення, а « f » – частота сигналу. Можна сказати, що довжина хвилі – це відстань, на яку поширюється хвиля за час одного періоду коливань. довжина хвилі визначається як джерелом (через період T), так і властивостями середовища (через швидкість v). При переході хвилі з одного середовища в інше довжина хвилі змінюється, на відміну від частоти, яка залишається сталою.

Хвильовий опір каналу Z_0 є коренем квадратним зі співвідношення паразитної індуктивності до ємності каналу. Оптимальна передача енергії в лінії передачі реалізується в режимі «біжучої хвилі», коли лінія передачі навантажена на опір, рівний хвильовому (узгоджене навантаження).

Зворотні втрати (**Return loss**) в дротовому або бездротовому передавачі – це відношення переданої потужності до відбитої потужності, коли живлення подається до навантаження. Це критичний параметр, який описує ефективність передачі і може використовуватися як індикатор того, що надмірна потужність відбивається від навантаження назад до джерела. У бездротовому передавачі з низькими зворотними втратами антени високий рівень відбитої потужності може пошкодити підсилювач потужності, який керує антеною.

Mismatch loss (втрати, пов'язані із неузгодженістю навантаження) в теорії лінії передачі – це кількість потужності, виражена в децибелах, яка не буде доступна на виході через розбіжності імпедансу та відбиття сигналу. Зворотні втрати – це міра того, скільки сигналу втрачається, коли він відбивається назад до джерела, тоді як втрати на узгодження (**matching loss**) – це втрати, що виникають, коли існує велика невідповідність між лінією та навантаженням.

Лінія передачі, яка закінчується належним чином, тобто має той самий імпеданс, що й характеристичний опір лінії передачі, не матиме відбитків і, отже, не матиме втрат на неузгодженість. Втрата невідповідності відображає кількість енергії, витраченої системою. Це також можна розглядати як кількість отриманої потужності, якщо система була ідеально підібрана.

Узгодження імпедансу є важливою частиною розробки радіочастотної системи; однак на практиці ймовірно буде певний ступінь втрати невідповідності. У реальних системах відносно

невеликі втрати викликані втратами невідповідності і часто становлять близько 1 дБ. Невідповідність не призводить до будь-яких втрат («wasted» сигнал), окрім лінії передачі. Це пояснюється тим, що сигнал, відбитий від навантаження, передається назад до джерела, де він повторно відбивається через реактивний опір, представлений джерелом, назад до навантаження, доки вся потужність сигналу не буде випущена або поглинена навантаженням.

В більшості програм моделювання використовуються такі способи завдання моделі (далі використано мову PSpice-сумісної ECAD програми Micro-Cap).

Schematic format:

VALUE attribute for **ideal line**

Z0=<value> [TD=<value>] | [F=<value> [NL=<value>]]

Example for ideal line

Z0=50 TD=3.5ns

VALUE attribute for **lossy line**

<physical length> LEN=<len value> R=<rvalue> L=<lvalue>

G=<gvalue> C=<cvalue> Transmission line

Examples for lossy line

LEN=1 R=.5 L=.8U C=56PF R=.5 L=.8U C=56PF

Model parameters for ideal line

Z0 Characteristic impedance Ohms

TD Transmission delay S

F Frequency for NL Hz

NL Relative wavelength 0.25

Model parameters for lossy line

R Resistance per unit length Ohms / unit

L Inductance per unit length Henries / unit

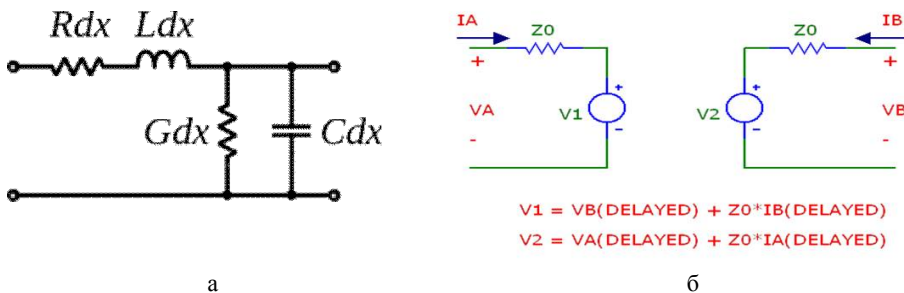
G Conductance per unit length Mhos / unit

C Capacitance per unit length Farads / unit

LEN Physical length same as RLGC

Принципова відмінність між двома моделями полягає в реалізації затримки. В ідеальній моделі затримка реалізована як пов'язаний список пар даних (час, значення) і точок зупину. Параметри LEN, R, L, G, та C мають бути виражені через однакові метрики. Наприклад, якщо C представлено через farads/cm, тоді R має бути також в ohms/cm, тобто LEN має бути в сантиметрах.

Схеми заміщення лінії передачі представлені на рисунку 3.1.



а – стандартне подання; б – подання для програми Micro Cap [3]

Рисунок 3.1 –Схема заміщення моделі лінії передачі

3.2 Етапи виконання роботи

1 Відкрити файл *MC12/Data/Data Communications/Transmission Line Matching.cir*.

2 Отримати графіки для *Mismatch* and *Return Loss* (змінні *Ar* та *Apr*), вхідної та вихідної потужності (*Pin* та *Pout*). Для цього запустити *Transient Analysis* і відкрити вкладки *Losses* та *Power* в постпроцесорі.

3 Проаналізувати результати у висновках.

4 Для прикладів схем ліній передачі без втрат ознайомтеся із схемами TL1, TL2 і TL3. Всі файли мають розширення *.cir.

5 Для ліній із втратами відкривайте файли *LTRA3* та *SkinEffect1*. Останній використовує залежність опору від частоти для емуляції скін-ефекту. Всі файли мають розширення *.cir.

3.3 Контрольні запитання

- 1 Огляд САЕ / CAS / CAD систем.
- 2 Структура САЕ системи (приклад).
- 3 В яких системах використовують акаузальний підхід?
- 4 Від чого залежить ефективність системи моделювання.
- 5 Чим відрізняються програми моделювання від програм проектування.

6 Моделі каналів зв'язку.

7 Системи моніторингу: структура.

8 Системи моніторингу на базі SCADA систем.

4 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4 «ПРОЄКТУВАННЯ SMART HOUSE»

Мета роботи: одержати практичні навички роботи з проєктування Розумних систем, зокрема ІВС для Smart House.

4.1 Короткі теоретичні відомості

Розумний будинок – «Smart House» – це високотехнологічна система моніторингу і контролю, яка може об'єднати всі комунікації дому і керувати ними одним натисканням кнопки. Освітлення, опалення, сигналізація, відеонагляд – це далеко не всі системи, якими можна керувати з допомогою «розумного будинку». Наприклад, система керування світлом дає змогу запрограмувати світлові сцени у вашому будинку, чи створити видимість присутності господаря вдома під час його відпочинку в іншій країні.

Система керування опаленням легко підтримуватиме задану температуру в цілому приміщенні або в окремих кімнатах, понижуючи її чи піднімаючи у відповідності до заданих параметрів. Ще одна важлива опція системи «розумний будинок» – це можливість забезпечення перебування дітей у будинку. Якщо дитина залишається одна вдома, батьки можуть заблокувати вхідні двері, відімкнути групи розеток, електроприладів, і цим самим забезпечити життя малюка.

Smart House фактично є багатоконтурною СМК з керуванням різними процесами в різних системах: освітлення, охорони (захисту від несанкціонованого доступу), пожежної безпеки тощо. Інформаційно-вимірювальні системи є основою для функціонування Розумних систем, як систем керування так і систем моніторингу, зокрема на базі SCADA [5, 6].

На рис. 4.1 наведений один з варіантів композиції САК Smart House. Центральний контролер отримує інформацію про роботу всіх приладів і систем в будинку за допомогою спеціальних датчиків. Наприклад, датчики системи освітлення передають інформацію про рівень природного освітлення в конкретний момент часу. Контролер визначає, чи є цей рівень достатнім. Якщо ні, то автоматично включається певна кількість освітлювальних приладів. При цьому, система визначає, чи є люди в конкретних приміщеннях, і включає

додаткове освітлення тільки в разі їх присутності.

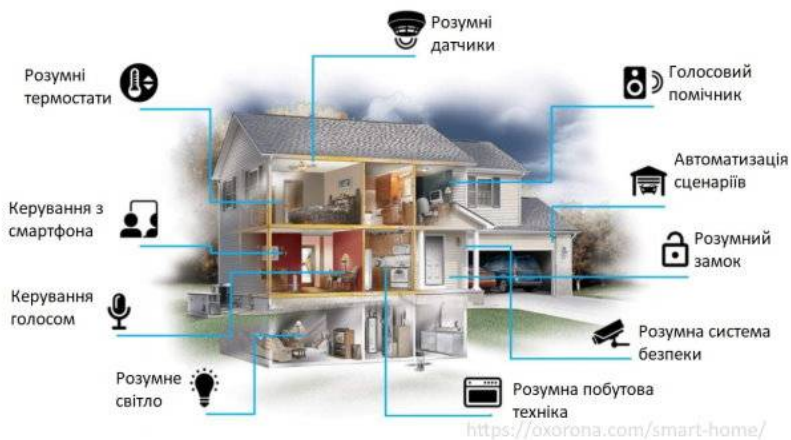


Рисунок 4.1 – Схема можливих контурів керування системи Smart House [7]

Приблизно таким же чином працює і система опалення та вентиляції. Варто зауважити, що будь-який параметр будь-якої з систем завжди можна змінити в ручному режимі. При цьому, часто це можливо навіть у віддаленому режимі, за допомогою SMS або інших інструментів віддаленої передачі інформації.

Зрозуміло, що найбільш оптимальним способом установки такого устаткування в будинок, є планування його ще на етапі проектування конкретного будинку. В цьому випадку, можна найбільш раціонально використовувати всі конструктивні особливості будови і забезпечити максимально прийнятну вартість системи. Завдяки високому ступеню автоматизації, система здатна оптимізувати витрати ресурсів і забезпечити економію коштів, при оплаті електроенергії, газу, води і так далі. Крім того, ця система може перебрати на себе функції системи охорони (обмеження доступу) та захисту від небезпечних явищ (пожежі, затоплення тощо).

До контуру системи безпеки Smart House входять такі системи, як система обмеження доступу в будинок небажаних осіб, контроль витоку газу, сигналізація, відеоспостереження та інші системи, що дозволяють контролювати рівень безпеки в будинку. Крім того, розумний будинок може забезпечити віддалене інформування про будь-якому інциденті в приміщенні, під час відсутності людей і навіть

зімітувати їх присутність. Система включає в себе 2 типи обладнання: різноманітні датчики проникнення та елементи, які на це реагують. Завдання датчиків – повідомити про недозволене проникнення в будинок. Автоматика розумного будинку відреагує на це, в залежності від встановленого обладнання та запрограмованих функцій.

Основні датчики, які застосовують для системи охорони в розумному будинку:

- Система контролю доступу до будинку за технологією RFID.

- Датчики руху активуються під час постановки будинку на сигналізацію. В інший час можуть бути задіяні для керування освітленням, або інших функцій. Монтуються у всіх приміщеннях, де є двері та вікна.

- Датчики розбиття скла активуються на звук розбитого скла. Встановлюються у всіх приміщеннях, де є вікна, або засклені двері.

- Геркони (магнітні контакти) монтуються на вікна та двері. Якщо будинок на сигналізації, то при відкритті дверей, чи вікон геркон повідомить про це розумний дім.

Синтез контуру обмеження доступу за технологією RFID

RFID – *Radio Frequency IDentification* або радіочастотна ідентифікація. Це спосіб автоматичної ідентифікації об'єктів, в якому за допомогою радіосигналів зчитуються або записуються дані, що зберігаються в так званих транспондерах, або RFID-мітках. Будь-яка RFID-система складається з пристрою, що зчитує (рідера) і RFID-мітки. Більшість RFID-міток складається з двох частин. Перша – інтегральна схема (IC) для зберігання і обробки інформації, модулювання і демодулювання радіочастотного (RF) сигналу і деяких інших функцій. Друга – антена для прийому і передачі сигналу. Ідентифікація об'єктів проводиться за унікальним цифровому коду, який зчитується з пам'яті RFID-мітки.

За дальності зчитування RFID-системи можна поділити на системи:

- ближньої ідентифікації (зчитування проводиться на відстані до 20 см);

- ідентифікації середньої дальності (від 20 см до 5 м);

- дальньої ідентифікації (від 5 м до 300 м).

RFID мітки поділяються на три типи залежно від частотного діапазону:

- мітки діапазону LF (125-134 кГц);
- мітки діапазону HF (13,56 МГц);
- мітки діапазону UHF (860-960 МГц).

У повсякденному житті ми постійно використовуємо RFID-системи – домофони, допуск на територію, що охороняється, контроль за відвідуваністю робочих місць, управління пристроями. Розібравшись, як влаштовані RFID-системи, ви зможете зробити власний проєкт, наприклад, систему контролю доступу в школі.

В даній лабораторній роботі ми навчимося підключати RFID-рідер RC522 до Arduino Uno і зчитувати дані з RFID-міток. Модуль RC522 має дальність виявлення до 6 см і призначений для читання і запису RFID міток з частотою 13.56 МГц. Схема підключення RFID наведена на рисунку 4.2.

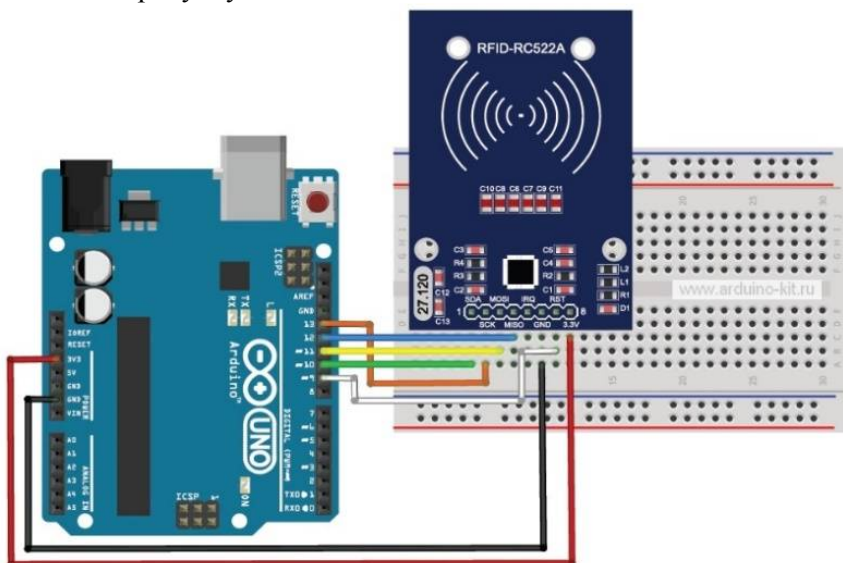


Рисунок 4.2 – Схема підключення RFID

Моделювання в Arduino IDE

```
// Для Arduino IDE 1.0.1
#include <SPI.h>
#include <RFID.h>
#define SS_PIN 10
```

```

#define RST_PIN 9

RFID rfid(SS_PIN, RST_PIN);

int serNum0;
int serNum1;
int serNum2;
int serNum3;
int serNum4;

void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  SPI.begin();
  rfid.init();
}

void loop()
{
  // Якщо знайдено карту
  if (rfid.isCard()) {
    // Зчитуємо адресу
    if (rfid.readCardSerial()) {
      // Виводимо його в порт в десятичному представленні
      Serial.println("Card number:");
      Serial.print(rfid.serNum[0],DEC);
      Serial.print(", ");
      Serial.print(rfid.serNum[1],DEC);
      Serial.print(", ");
      Serial.print(rfid.serNum[2],DEC);
      Serial.print(", ");
      Serial.print(rfid.serNum[3],DEC);
      Serial.print(", ");
      Serial.print(rfid.serNum[4],DEC);
      Serial.println(" ");
    }
  }
  rfid.halt();
}

```

4.2 Етапи виконання лабораторної роботи.

1. Ознайомитися з поняттям «Розумний будинок – Smart House»
2. Ознайомитися з будовою модуля RFID.
3. Послідовно з'єднати RFID модуль з Arduino згідно рис. 4.2.
4. Під'єднати платформу Arduino до комп'ютеру.
5. Розмістити скетч програму з методичних вказівок до середовища розробки Arduino IDE.
6. Скомпілювати скетч.
7. Відкрити монітор порту.
8. Піднести RFID мітку до модуля та з монітору порту записати унікальний ID.
9. Описати структуру системи Розумного будинку в термінах мультифізичної агрегативної СМК.

4.3 Контрольні питання

1. «Розумний будинок» як СМК.
2. З яких підсистем складається «Розумний будинок», загальні принципи їхньої побудови та функціонування.
3. Які датчики можуть використовуватися у інформаційній системі «Розумний будинок»?
4. Функції системи безпеки/охорони, підсистеми обмеження доступу.
5. Що таке RFID-модуль?
6. Яке функцію RFID-модуль виконує в системі «Розумній будинок»?
7. Як організувати систему моніторингу для СМК «Розумний будинок»?
8. Наведіть приклади інших Smart систем.
9. Яким чином можна організувати віддалений моніторинг в Smart системах.
10. Перетворення Smart систем на кібер-фізичні системи.

5 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5 «ОСНОВИ ПРОГРАМУВАННЯ В СЕРЕДОВИЩІ EASY-SOFT»

Мета: ознайомитись та отримати основні навички роботи з програмним середовищем EASY-SOFT.

5.1 Короткі теоретичні відомості

Підсистеми контролю в СМК можуть бути побудовані на базі мікроконтролерів, спеціалізованих мікросхем, мікрокомп'ютерів та інтелектуальних реле. За допомогою реле керування Eaton Moeller серії easyE4 [8] (рис.5.1) можна швидко й ефективно розв'язувати завдання з керування для застосування в промисловості, спеціалізованих виробництвах або будівництві. Easy E4 може мати до 11 модулів розширення для збільшення кількості вводів/виводів, а також має широкий діапазон напруг живлення як постійним, так і змінним струмом.



Рисунок 5.1 – Програмовані реле easyE4

Нові пристрої easyE4 не тільки прості у використанні, а й забезпечують просте програмування. Програмне забезпечення easySoft інтуїтивно-зрозуміле й передбачає використання чотирьох різних мов програмування. Доповнення іншими функціями, як-от інтегрований веб-сервер та інтерфейс Ethernet, перетворює easyE4 на потужне реле керування, яке також можна інтегрувати в системи архітектури промислового інтернету речей (IIoT).

EASY-SOFT – це комп'ютерна програма, яка дозволяє розробляти схеми з'єднань програмованого реле *EASY*, зберігати, імітувати, документувати і легко переносити до підключеного, придатного до експлуатації пристрою *EASY*. До того ж можна спостерігати за індикацією стану працюючої схеми з'єднань у режимі *on-line*, а також за індикацією параметрів відповідного функціонального реле.

Для ознайомлення, обробки та друку програм надаються на вибір такі види відображень:

- характерне для пристроїв відображення;
- спрощене, яке відповідає відображенню на дисплеї пристрою;
- за стандартами Міжнародної електротехнічної комісії (IEC) із символами контактів і котушок згідно з міжнародними нормами;
- за стандартами Національного інституту стандартизації США (ANSI) згідно з американськими стандартами.

Під час уведення програми для перегляду схеми з'єднань є меню вибору, які полегшують логічні операції. Отже, отримують схему з'єднань способом простого вибору контактів і котушок, функціональних реле або функціональних блоків у вікні **Панелі інструментів**, завдяки яким є можливість перетягнути до вікна схеми з'єднань за допомогою функції «*drag and drop*».

EASY-SOFT підтримує функції всіх моделей пристроїв і перевірку схеми з'єднань/пристрою. Перед використанням реле управління *EASY-SOFT* виконує, за необхідністю, порівняння *easy*-схем з'єднань з набором функцій обраного пристрою. Отже, надається необхідна допомога у створенні схеми з'єднань і запобігаються помилки під час перенесення схеми з'єднань до пристрою.

Можливе використання програмного забезпечення також і для введення в експлуатацію. Для цього використовують оффлайн-імітаційний режим з великою кількістю корисних засобів та онлайн-індикацію стану в поєднанні з підключеним і готовим до експлуатації

пристроєм. Використання режиму імітації дозволяє проводити налагодження системи без пристрою та його остаточного монтажу. Є можливість покроково або цілком перевірити схему з'єднань, у чому допоможуть імітовані входи, виходи, контрольні точки, характеристики примусових установок та індикації. Далі перевірена схема з'єднань переноситься на пристрій, що з'єднується з ПК за допомогою ПК-кабелю.

Запустивши індикацію станів після під'єднання пристрою до ПК, на екрані відображається поточний стан контактів і котушок схеми з'єднань з індикацією її стану. Натисканням маніпулятором на функціональне реле цієї схеми з'єднань можливо переглянути у зручній формі номінальні значення та параметри функціонального реле.

Для створення за допомогою *EASY-SOFT* схеми з'єднань для пристрою *EASY400/600* необхідно попередньо створити проект. Проект являє собою комбінацію з пристрою (наприклад *EASY621-DC-TC*) і належної до нього схеми з'єднань. Запуск нового проекту здійснюється через меню **Файл/Новий**.

Інтерфейс *EASY-SOFT* розділено на три частини. На рис. 5.2 наведено інтерфейс режиму **Проект**, який складається з панелі інструментів (1), панелі властивостей (2), робочого столу (3).

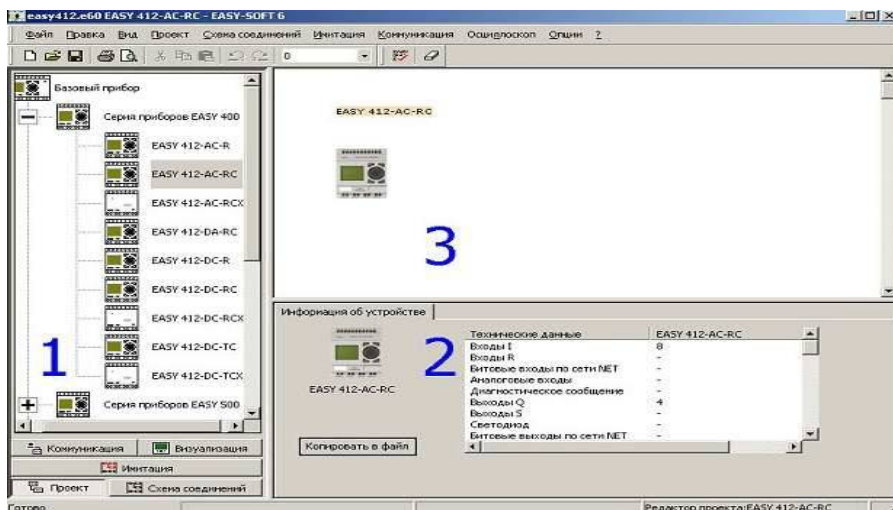


Рисунок 5.2 – Інтерфейс режиму *Проект*

Перш ніж робити розводку схеми з'єднань, необхідно вибрати пристрій з панелі інструментів (1) і перенести на робочий стіл. Вибираємо *EASY 412-AC- RC*. На панелі (2) є опція Інформація по пристрою з переліком усіх властивостей пристрою. Наприклад: кількість входів і виходів пристрою, кількість маркерів, елементи часу і рахунку, що допоможуть у виборі потрібного пристрою для проекту. Видалити непотрібний пристрій можливо за допомогою пункту контекстного меню *Видалити пристрій*.

Далі з режиму *Проект* переходимо до режиму *Схема з'єднання*. Інтерфейс цього режиму складається також із трьох частин (рис. 5.3): панелі інструментів (1), панелі властивостей (2), робочого столу (3), який у цьому випадку називають вікном схеми з'єднань.

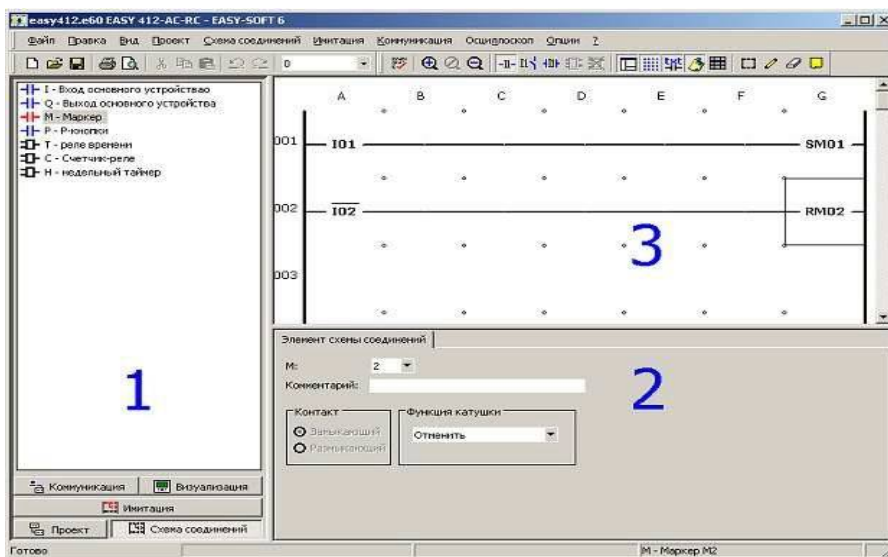


Рисунок 5.3 – Інтерфейс режиму *Схема з'єднання*

Для формування структури схеми з'єднань (рис. 5.4) будуть потрібними операнди (наприклад входи I, виходи Q, маркери M та ін.). Доступні операнди відображено на панелі (1) і можуть набувати логічних зв'язків у вікні схем з'єднань (3). Властивості операндів відображено у вікні (2).

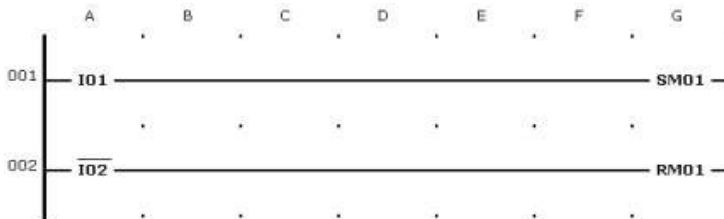
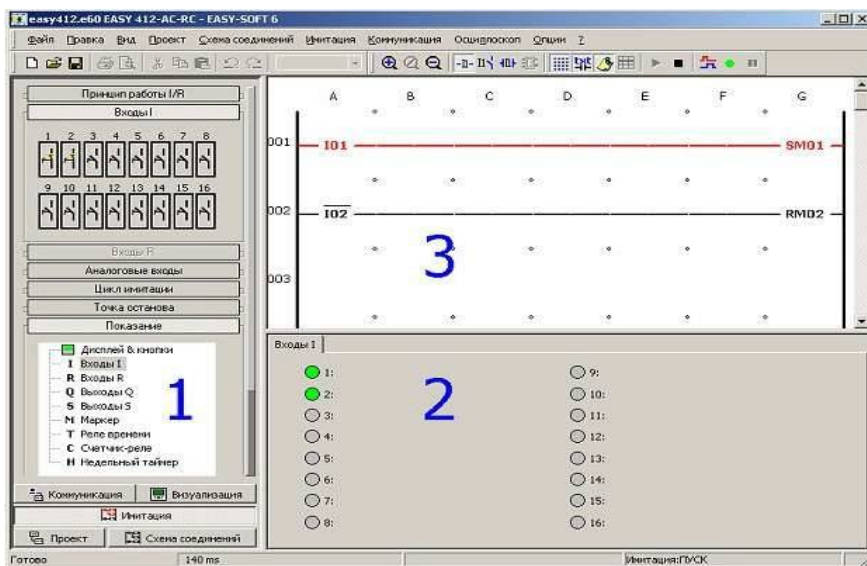


Рисунок 5.4 – Приклад схеми з'єднання

Для тестування схеми з'єднань зі сформованою розводкою треба перейти до режиму *Імітація*. Структура розділеного на три частини інтерфейсу *EASY-SOFT* зберігається і в режимі *Імітація* (рис. 5.5).

Рисунок 5.5 – Інтерфейс режиму *Імітація*

Тут панель інструментів (1) має в собі імітатори для входів, а також різні діалогові вікна для налаштування панелі імітації. Панель (2) приймає на себе функцію індикатора, на якому можна спостерігати стан схеми. Область схеми з'єднань (3) слугує тільки для показу в часі імітації рядків схеми з'єднання, які знаходяться під напругою. Під час переходу до режиму *Зв'язок* *EASY-SOFT* установлює з'єднання з приладом.

Складається вікно **Комутація** також з трьох частин (рис. 5.6).

Для перенесення програми з комп'ютера до *EASY-SOFT* виконують таке. У робочому полі (1) у підпункті **З'єднання** вибирають **Онлайн**, потім у підпункті **Програма** обирають **PC=>пристрій**, після чого програма переноситься до пристрою.

Запуск програми на виконання можна здійснювати як з комп'ютера кнопками **Пуск** і **Стоп**, так і самим пристроєм.

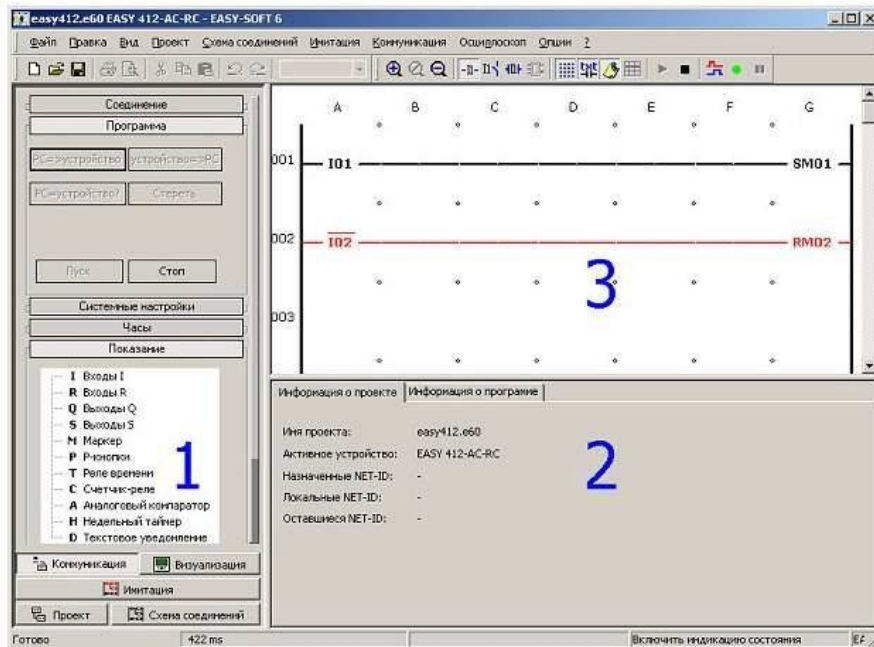


Рисунок 5.6 – Интерфейс режима *Комутація*

Програмне забезпечення ПЛК та програмованих реле розробляється відповідно до стандарту на мовні конструкції (мови програмування ПЛК), визначені у частині 3 стандарту МЕК/IEC 61131, яким запропоновано п'ять мов програмування контролерів:

- 1) мова релейних діаграм LD;
- 2) мова функціональних блоків FBD;
- 3) мова послідовних функціональних схем SFC;
- 4) мова структурованого тексту ST;
- 5) мови інструкцій IL.

5.2 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитись з теоретичним матеріалом зі створення й редагування схеми з'єднань у середовищі *EASY-SOFT*.
2. За призначеним викладачем варіантом обрати завдання (табл. 5.1).
3. Розробити схему з'єднань на стенді із Інтелектуальним реле відповідно до завдання.

Таблиця 5.1 – Завдання для виконання

№	Умови завдання
1	Побудувати схему, у якій з натисненням І1 один раз вмикається лампочка 1, з натисненням І2 двічі вмикається лампочка 2, з натисненням І3 тричі вмикається лампочка 3. З натисненням І4 усі лампочки вимикаються
2	Побудувати схему, у якій з натисненням І1 лампочка 1 миготить із частотою 1 Гц, з натисненням І2 вмикається лампочка 2 і миготить із частотою 2 Гц, з натисненням І3 вмикається лампочка 3 і миготить із частотою 3 Гц. З натисненням І4 усі лампочки вимикаються
3	Побудувати схему, у якій з натисненням І1 лампочка 1 миготить із частотою 0,5 Гц, з натисненням І2 вмикається лампочка 2 і миготить із частотою 1 Гц, з натисненням І3 вмикається лампочка 3 і миготить із частотою 1,5 Гц. З натисненням І4 всі лампочки вимикаються

4. Навести теоретичні відомості щодо роботи із програмним середовищем.
5. Навести розроблену схему з'єднань.
6. Зробити висновки до роботи.

5.3 Контрольні запитання

1. Чим відрізняються програмовані реле від мікропроцесорів, мікроконтролерів та промислових контролерів / програмованих логічних контролерів, PLC)?
2. Для чого призначена комп'ютерна програма *EASY-SOFT*?
3. На які основні частини розділено інтерфейс програми?
4. У який спосіб запустити програму на виконання?
5. Чи можливо програму складати не лише на ПК?
6. Мови програмування ПЛК та програмованих реле.
7. Які мови використовуються при програмуванні реле *EASY*?

6 ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6 «ПОБУДОВА СМК НА БАЗІ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО РЕЛЕ»

Мета: ознайомитись та отримати основні навички роботи з інтелектуальним реле **EASY-E4-DC-12RC1**.

6.1 Короткі теоретичні відомості

Серія easyFamily використовується для побудови ІВС та є узгодженою універсальною системою від реле керування easyRelay і багатофункціонального дисплея MFD-Titan до реле керування безпеки easySafety і компактного ПЛК easyControl (рис. 6.1).

В основі пристроїв лежить загальний принцип, і, в залежності від модифікації, вони розраховані на вирішення завдань керування різної складності. Пристрої easyFamily функціональні і прості в експлуатації. Завдяки своїй багатофункціональності, вони є оптимальним рішенням для використання в багатьох областях застосування (промисловість, автоматизація будівель, торгівля та ін.).



Рисунок 6.1 – Пристрої серії easyFamily

Оснoву лабораторного стенда складає електронне реле керування easyE4 **EASY-E4-DC-12RC1** (розширюваний, Ethernet), яке живиться від джерела 24 В пост. струму (DC). Реле (рис. 6.2) має вісім цифрових входів з них чотири можна використати як аналогові. Виходи є транзисторними. Габарити 71,5 x 90 x 58. Має монохромний дисплей 6x16, годинник реального часу, клавіатуру тощо. Програмне забезпечення: EASYSOFT-SWLIC/easySoft 7.



Рисунок 6.2 – Зовнішній вид **EASY-E4-DC-12RC1**

Стенд на основі реле EASY-E4-DC-12RC1 (внутрішня частина) зображено на рис. 6.3.



Рисунок 6.3 – Фотографія лабораторного стенду (без корпусу)

Схему з'єднань **EASY-E4-DC-12RC1** зображено на рис. 6.4.

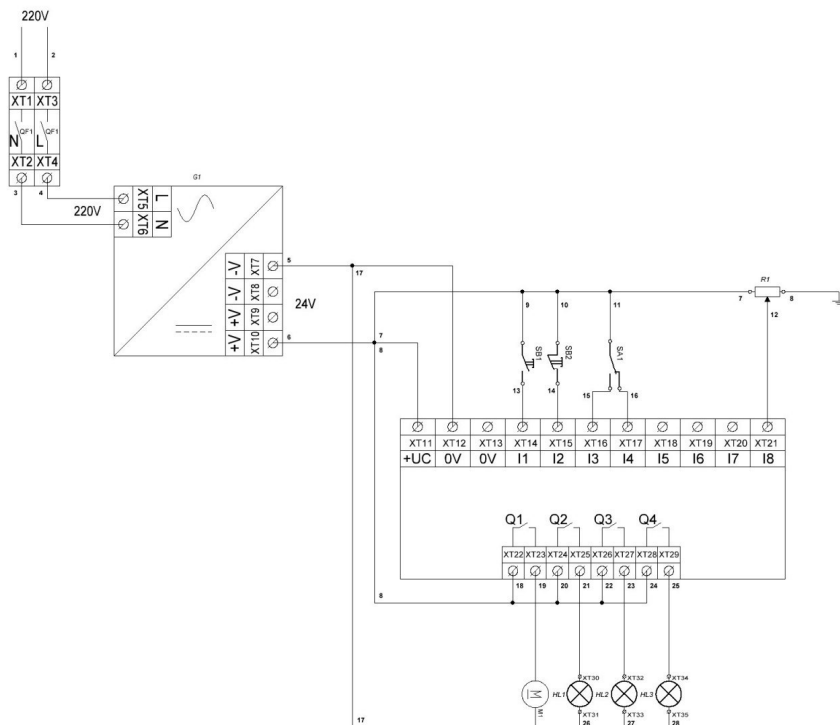


Рисунок 6.4 – Схема з'єднань лабораторного стану

Основні складові стану та їх характеристики:

Система індикації: прилади світлової сигналізації (*HL 1-3*) (верхній рядок на рис.6.5).

Органи управління: зображені на рис.6.5: 2 кнопки, нормально відкрита та нормально замкнута (*SB1* і *SB2* відповідно, другий рядок на рис. 6.5), двохпозиційний перемикач *SA1* (третій рядок рис. 6.3) та аттенюатор (внизу стану), який пов'язаний із потенціометром *R1* рис. 6.3, використовується для зміни вихідної напруги/струму, що можна використати для СМК нагрівання, керування двигунами постійного струму тощо.

Вторинне джерело живлення (ВДЖ): блок живлення для проматоматики MEAN WELL HDR-100-24N, його параметри представлені в табл. 6.1, функціональна схема – на рисунку 6.6.



Рисунок 6.5 – Фотографія лабораторного стенду (зовнішня сторона корпусу)

Таблиця 6.1 – Основні характеристики MEAN WELL HDR-100-24N

Параметр	Значення
Тип блоку живлення	імпульсний
Вхідна напруга (AC)	85...264 В
Вихідна потужність (ном)	100.8 В
Вихідна напруга	24 В (DC)
Вихідний струм 1 каналу	0...4.2 А
ККД	90%
Тип стабілізації	по напрузі
Типи захисту	КЗ, перенавантаження, перенапруга
Робоча температура	-30...+70°C
Конструктивне виконання	на DIN рейку
Клас захисту	IP20

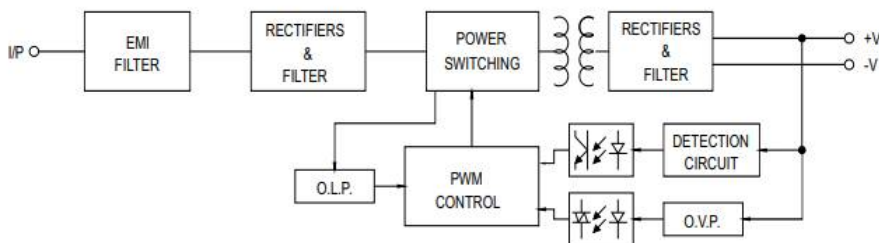


Рисунок 6.6 – Функціональна схема ВДЖ MEAN WELL HDR-100-24N

Система захисту: автоматичний вимикач ЕТІ ЕТІМАТ 10 С4.

Таблиця 6.2 – Характеристики вимикача ЕТІ ЕТІМАТ 10 С4

Параметр	Значення
Номінальні напруга та струм	230 В/ 4 А
Граничний струм відключення	10 кА
Клас струмообмеження	3
Кількість полюсів	2
Часо-струмова характеристика	C
Механічний / електричний ресурси	20 / 10 тис. циклів
Робоча температура	-25...+50°C

Побудуємо СМК, де об'єктом керування є електропічка. Муфельна лабораторна електропіч МП-2УМ призначена для термічної обробки металів, прожарювання зразків, випалу, відпалу, неагресивних матеріалів та інших робіт в стаціонарних лабораторіях при температурі до 1000 °С.

Схема системи керування електропіччю зображена на рис.6.7.

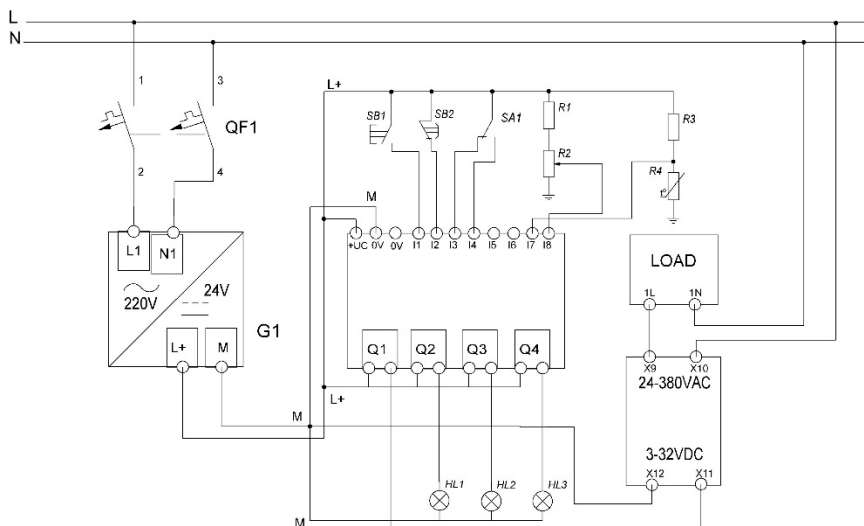


Рисунок 6.7 – Схема з'єднань лабораторного стенду з МП-2УМ

На схемі (рис.6.7) можна побачити два діляника напруги, де: R2 – змінний резистор, що може використовуватися для налаштування нагріву; R4 – термістор, що має від'ємний температурний коефіцієнт і використовується для вимірювання температури; R1 і R3 – балансуєчі резистори.

Електропіч зображена на схемі, як «LOAD» (з англ. «Навантаження»), під'єднана до виходу реле «Q1» за допомогою твердотільного реле SSR-40DA. Твердотільне реле має в своєму складі оптопару з симісторним виходом та детектор нуля (рис.6.8), що дає змогу безпечно та ефективно керувати нагрівом печі.

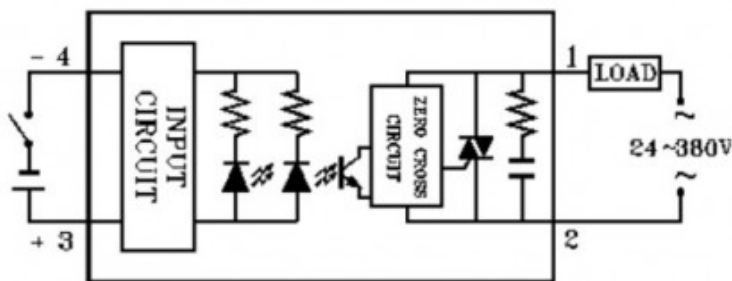


Рисунок 6.8 – Схема твердотільного реле SSR-40DA

Програмна частина керування електропіччю

В базових пристроях easyE4 передбачені 32 аналогових компаратора, A01-A32. Аналогові компаратори можуть використовуватися для порівняння аналогових входних значень з контрольним значенням. Доступні такі варіанти порівняння:

- вхід функціонального блоку I1 більше, дорівнює або менше входу функціонального блоку I2;
- застосування коефіцієнтів F1 і F2 в якості входів дозволяє посилювати і налаштовувати значення входів функціональних блоків ($I1 = F1 * \text{значення}$; $I2 = F2 * \text{значення}$);
- вхід функціонального блоку OS може використовуватися в якості зсуву ($I1_{OS} = OS + \text{фактичне значення на I1}$);
- вхід функціонального блоку HY використовується при позитивному і негативному комутаційному гістерезисі входу I2 ($I2_{HY} =$

фактичне значення на $I2 + HY$; $I2_{HY} = \text{фактичне значення на } I2 - I2HY$).

Для керування нагрівом МП-2УМ треба порівнювати аналогові значення сигналів на вході $I8$ і $I7$, а потім здійснювати перемикання при досягненні заданих порогових значень.

Приклад використання аналогового компаратора зображено на рис.6.9.

Крім вхідних порівняльних значень обов'язковим є вхід «EN», що активує функціональний блок компаратора. На виході «Q1» перемикається, якщо виконується умова обраного режиму порівняння, а «CY» є додатковим виходом, що «шунтує» вихід «Q1» у випадку виходу за діапазон значень функціонального блоку.

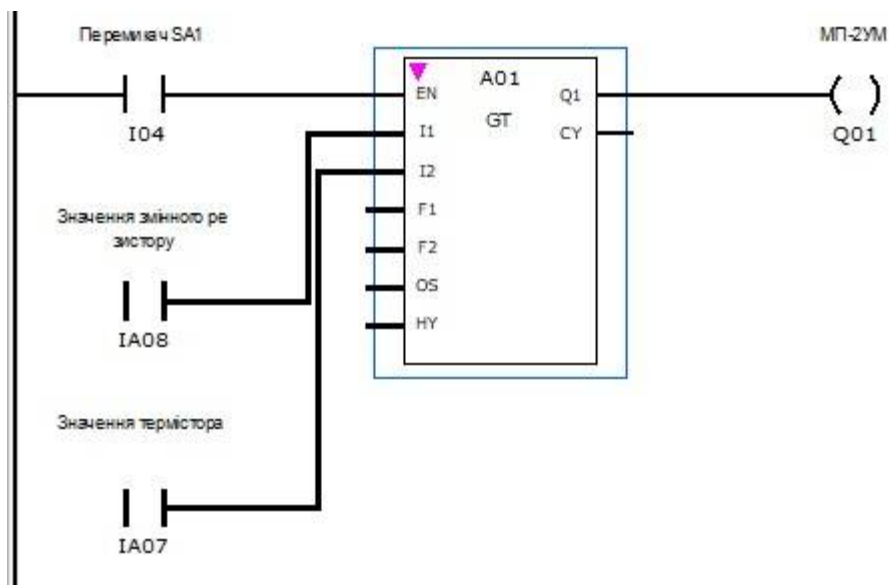


Рисунок 6.9 – Використання аналогового компаратора для нагріву МП-2УМ

6.2 Порядок виконання роботи

1. Ознайомитися із стендом, його елементами керування та індикації.

2. Розробити функціональну схему стенду аналогічно до

функціональної схеми (рис. 6.5), визначити інформаційні зв'язки.

3. Увімкніть стенд (спочатку в мережу, потім автоматом), записати (сфотографувати) те, що відображається на екрані реле.

4. Скласти в редакторі EasySoft програму керування індикаторами. В завданні від викладача задається набір кнопок керування та кількість натискання на них.

5. Завантажити програму, запустити на реалізацію/тестування.

6. Сформувати на екрані повідомлення, повторити експеримент.

7. Визначте, що повинна робити керована система (об'єкт управління), цілі управління та інші додаткові функції, послідовність виконуваних операцій виконавчих механізмів з прив'язкою до часу і до стану датчиків і пристроїв управління.

8. Складіть програму на одній з мов програмування ПЛК, яка реалізує задану послідовність операцій, їх взаємозв'язок і відпрацьовує можливі аварійні ситуації.

9. Перевірте програму на синтаксичні помилки і виправте їх.

10. Запишіть програму і всі необхідні робочі параметри в контролер.

11. Після того як система управління буде повністю зібрана, перевірте програму в реальному процесі управління і, якщо необхідно, проведіть більш точне налаштування.

6.3 Контрольні запитання

1. Чим відрізняються програмовані реле від мікропроцесорів, мікроконтролерів та промислових контролерів / програмованих логічних контролерів, PLC)?

2. Для чого призначена комп'ютерна програма EASY-SOFT?

3. Алгоритм запуску програми на виконання?

4. Екстраполуйте можливості стенду для керування процесом нагрівання (дайте концепцію роботи).

5. Екстраполуйте можливості стенду для керування двигуном постійного струму (дайте концепцію роботи).

6. Екстраполуйте можливості реле для керування вимірювальним комплексом (розробити концепцію, зобразити структурну схему).

7. Екстраполуйте можливості реле для керування технологічним процесом із виводом поточної інформації на SCADA.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: Підручник / В.П. Бабак, С.В. Бабак, В.С. Єременко та ін.; за ред. чл.-кор. НАН України В.П. Бабака. 2-ге вид., перероб. і доп. К.: Ун-т новітніх технологій; НАУ, 2017. 496 с.

2. Паламар М., Стрембіцький М., Паламар А. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. 150 с.

3. Василенко, О.В. Навчальний посібник з дисципліни «Комп'ютерне моделювання». Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка, 2020. 175 с

4. Методичні вказівки до виконання самостійних робіт та до підготовки модульного контролю з дисципліни «Пристрої інформаційно-вимірювальної техніки» для студентів спеціальності 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» денної та заочної форм навчання Частина 2 / Укл.: О.В. Василенко, Н.А. Смирнова – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2020. 81 с.

5. SCADA: Supervisory Control and Data Acquisition. URL: <https://inductiveautomation.com/resources/article/what-is-scada>

6. Vasylenko, O. Design of information and measurement systems within the Industry 4.0 paradigm / Olga Vasylenko, Sergii Ivchenko, Hennadii Snizhnoi // Radioelectronic and computer systems – 2023, №1. – P.45–54. DOI: 10.32620/reks.2023.1.04 URL: <http://nti.khai.edu/ojs/index.php/reks/article/view/reks.2023.1.04>

7. Що включає в себе система розумний будинок. URL: <https://male.kozak.cx.ua/shho-vklyuchaie-v-sebe-sistema-rozumnyi-budynok.html>

8. Програмовані реле easyE4. URL: <http://www.moeller.com.ua>

ДОДАТОК А

ПЕРЕЛІК ПИТАНЬ ДО ПІДСУМКОВОГО КОНТРОЛЮ

1. Класифікація систем моніторингу і контролю.
2. Способи автоматизації моніторингу і контролю.
3. Системи моніторингу і контролю як агрегативні мультифізичні системи.
4. Системи промислових робіт.
5. Системи автоматичного керування.
6. Історія розвитку та сучасний стан систем моніторингу.
7. SCADA та HMI в системах моніторингу.
8. Датчики та тракти передачі даних в інформаційно-вимірювальних системах (ІВС).
9. Інтелектуальні датчики в ІВС.
10. Розумні сенсори для кібер-фізичних систем.
11. Системи тактильного та зорового чуття робота.
12. Класифікація приводів та особливості їх застосування в мехатронних системах.
13. Мехатронні та робототехнічні модулі руху.
14. Історичний розвиток мікроконтролерів та сфери їх застосування в робототехніці.
15. Програмовані логічні контролери та Smart-реле в робототехніці.
16. Керування у мехатронних та робототехнічних системах.
17. Структура та сутність ієрархії керування в роботах.
18. Інформаційна складова робототехнічних систем.
19. Системи моніторингу і контролю для адитивного виробництва.
20. Системи моніторингу і контролю для цифрового виробництва.
21. Машинний зір та машинне навчання в кібер-фізичних системах.
22. Способи моделювання систем моніторингу і контролю.
23. Етапи проектування систем моніторингу і контролю.
24. Програми для проектування систем моніторингу і контролю.
25. Розвиток систем моніторингу і контролю в концепції Індустрії 4.0.