

Форма № 24

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій
(повне найменування інституту, факультету)

Мікро – та нанoeлектроніки
(повне найменування кафедри)

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему «Аналіз експлуатаційних якостей інтелектуальних реле при керуванні
електродвигунами»

Виконала: студентка VI курсу, групи РТз-319м
Спеціальності 153 – «Мікро- та наносистемна
техніка»

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація) «Мікро- та
нанoeлектронні прилади і пристрої»

Кузьміна М. О.

(прізвище та ініціали)

Керівник Василенко О.В

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

2020р.

АНОТАЦІЯ

ПЗ: 93 с., 38 рис., 13 табл., 0 додатків, 24 джерел.

Мета: розробка концепції автоматизованого електроприводу на базі інтелектуальних реле.

Об'єкт: програмоване інтелектуальне реле EatonEasy E4UC-12RC1.

Предмет: експлуатаційні якості інтелектуальних реле при керуванні електродвигунами.

Методи дослідження: математичне моделювання, імітаційне моделювання (емуляція)

Рекомендації щодо впровадження: результати аналізу можуть бути використані при виборі апаратного забезпечення систем автоматичного керування та мехатронних систем, розробці проектних рішень з автоматизації.

Результати: розроблено моделі систем керування двигунами як мехатронні системи та досліджено їх на базі мультидоменного підходу до симуляції в ECAD програмі MicroCap.

Практична цінність: розроблена концепція мехатронної системи на базі програмованого реле. Досліджено можливості системи, розроблено алгоритм та програму керування електродвигунами АСтa DC. Виявлено перспективи їх подальшого використання у складі автоматизованих мехатронних захисних систем, та інтегрування до сервісів пультової охорони.

САК, АВТОМАТИЗАЦІЯ, СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ, МЕХАТРОНІКА, МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ, ЕЛЕКТРОПРИВОД, EASYSOFT, EATON, EASY E4UC-12RC1, EASY DEVICE PROGRAMMING, EASYSOFT

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	9
1.1 Автоматизований електропривод.....	9
1.2 Загальні принципи синтезу систем автоматичного керування	11
1.2.1 Структура систем керування.....	12
1.2.2 Класифікація систем автоматичного керування	14
1.3 Мехатронні системи.....	17
1.3.1 Загальна структура мехатронної системи.....	18
1.3.2 Етапи проектування і розробки МС	19
1.4 Електропривод.....	20
1.5 Обґрунтування вибору пристрою керування	23
1.5.1 Мікроконтролери	24
1.5.2 Модулі Arduino.....	24
1.5.3 Програмовані логічні контролери	24
1.5.4 Інтелектуальні реле	30
2 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ ВІД РЕЛЕ	35
2.1 Методологія проектування мехатронної системи	35
2.1.1 Вузли пуску і гальмування електродвигунів, що працюють за принципом часу	36
2.2 Огляд дослідницького стенду	37
2.3 Частотний перетворювач.....	42
2.4 Характеристика асинхронного електродвигуна з фазним ротором.....	44
2.4.1 Принцип роботи асинхронних електродвигунів.....	46
2.4.2 Пуск двигуна з фазним ротором.....	47

2.5 Програмне забезпечення EasySoft.....	51
2.6 Мови програмування	52
3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ	53
3.1 Дослідження двигунів в програмі ЕСАР	53
3.2 Розробка алгоритму керування двигунами від реле.....	55
3.2.1 Програмна перекомутація трифазного асинхронного двигуна.....	55
3.2.2 Управління пуском і гальмуванням двигунів постійного і змінного струму в функції часу	58
3.3 Тестування мехатронної системи	62
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ	63
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	72
5.1 Аналіз потенційних небезпек.....	72
5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки.....	74
5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці.....	77
5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях.....	84
5.4.1 Заходи з пожежної безпеки	84
5.4.2 Заходи з цивільного захисту	87
ВИСНОВКИ.....	91
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	93

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АД	–	асинхронний двигун	
АЕП	–	автоматизований електропривод	
АІМ	–	амплітудно-імпульсна модуляція	
АІС	–	автономний інвертор струму	
АСКЕП	–	автоматична система керування електроприводом	
АУП	–	автоматичний управляючий пристрій	
АЦП	–	аналогово-цифрове перетворення (перетворювач)	
ВДЖ	–	вторинне джерело живлення	
ВО	–	виконавчий орган	
ДЦП	–	дискретно-цифрове перетворення (перетворювач)	
ЕЕ	–	електрична енергія	
ЕМП	–	електромеханічний перетворювач	
ЕОМ	–	електронно-обчислювальна машина	
ЕП	–	електропривод	
ЗЗ	–	зворотній зв'язок	
КО	–	командний орган	
МК	–	мікроконтролер	
МС	–	мехатронна система	
ОУ	–	об'єкт управління	
ПЛК	–	програмований логічний контролер (промисловий)	
ПП	–	проміжний підсилювач	
САК	–	система автоматичного керування	
СК	–	система керування	
СНП	–	силовий напівпровідниковий перетворювач	
СУД	–	система управління і діагностики	
ТМ	–	технологічний механізм	
ШІМ	–	широтно-імпульсна	модуляція

ВСТУП

Автоматизація пристроїв – важливий спосіб підвищення продуктивності, поліпшення якості продукції та зниження енергоспоживання виробничих потужностей. Це означає, що підвищиться не тільки ефективність виробництва, а й люди будуть звільнені від складного завдання з моніторингу стану технічного процесу та вжиття заходів контролю за виконавчими органами робочих машин. Інструменти автоматизації також полегшують й побутову сферу, додаючи безліч приємних зручностей в ваш будинок або квартиру. Використання мікропроцесорів і мікроконтролерів в системах управління розвинуло їх можливості до такої міри, що здається, нібито їм притаманні якості людського інтелекту.

Розробники і виробники сучасних засобів автоматизації намагаються уніфікувати пристрої керування, що вже дає змогу вирішувати широкий спектр задач за допомогою одного і того ж приладу. Універсальними такі пристрої робить закладена розробниками можливість перепрограмування, тобто ми маємо змогу вносити в пам'ять цих пристроїв керуючі програми, що написані спеціально для виконання певної задачі. В ряді таких пристроїв особливе місце займають електронні програмовані реле, або, як їх ще називають, інтелектуальні реле. Це компактні та надійні пристрої, з великим потенціалом, зокрема в керуванні електроприводом. Така зв'язка проявляє синергетичний ефект, що притаманній усім мехатронним системам.

Мехатронні системи являють собою симбіоз механіки, електроніки та інформатики. В області перетину цих наук народжуються нові концепції та технології, що призначені допомагати людям їх повсякденній життєдіяльності, зокрема в аспекті особистої безпеки.

В роботі розглядається питання автоматизації електроприводу за допомогою інтелектуального реле, та його подальші перспективи в такій сфері, як приватна охоронна діяльність.

1 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

1.1 Автоматизований електропривод

Автоматизовані електроприводи – це спеціальні системи, які в своєму складі мають електродвигуни, передачі і регулююче устаткування, що забезпечують функціональність руху і управління головними системами в робочих агрегатах.

Сучасний автоматизований електропривод (АЕП) – складна система автоматичного керування (САК), яка може входити до складу більш складної САК.

Властивості будь-якої системи описуються її зв'язками з навколишнім середовищем, її структурою, тобто елементами системи і їх взаємозв'язками, а також роботою системи.

Ручне курування здійснюється за допомогою найпростіших комутаційних апаратів шляхом безпосереднього впливу на них оператора (людини).

Автоматичне керування відбувається без безпосередньої участі людини, яка може давати лише перший командний імпульс на виконання певного режиму приводу і контролювати його. Але і перший командний імпульс може подаватися для окремої машини також автоматичними пристроями.

Сукупність технічних засобів, що забезпечують автоматичне керування, утворюють автоматичний управляючий пристрій (АУП). ОУ, П, АУП в своїй взаємодії можна розглядати як електромеханічну автоматичну систему керування електроприводом, або АСКЕП.

На рисунку 1.1 показана типова структура системи керування електроприводом і її зв'язки з навколишнім середовищем.

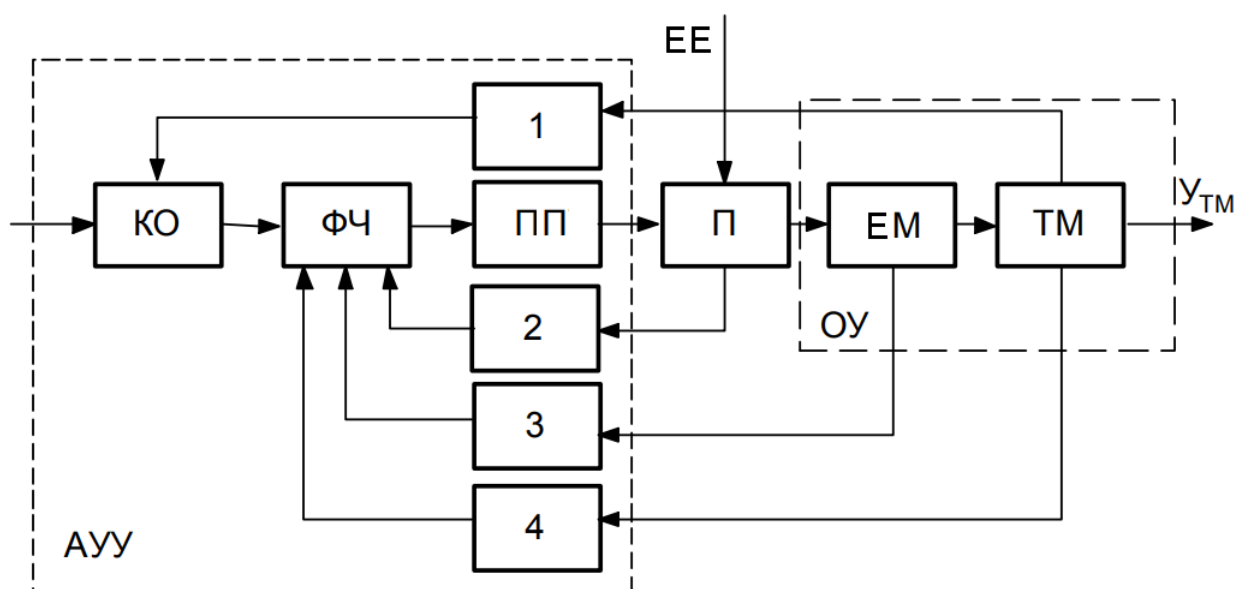


Рисунок 1.1 – Блок-схема електромеханічної системи керування

КО - командний орган; ФЧ - функціональна частина (може включати електронний блок, в якому йде обробка і перетворення зворотних зв'язків); ПП - проміжний підсилювач; П - перетворювач (частотний); ЕЕ - електрична енергія; ОУ - об'єкт управління; ЕМП - електрична машина (електромеханічний перетворювач); ТМ - технологічний механізм; 1 - головний зворотній зв'язок (ЗЗ, жорсткий); 2-4 - допоміжні ЗЗ, (гнучкі)

АУП складається з КО, що подає сигнали управління на завдання або зміну режиму роботи, ФЧ – перетворює командні сигнали, формуючи необхідний закон управління і виконує основну функцію АУП, ПП – підсилює сигнал управління до необхідного значення для керування перетворювачем П. Перетворена ЕЕ в силовому перетворювачі П надходить на електродвигун ЕМ і далі у вигляді механічної енергії надходить по кінематичним зв'язкам на технологічний механізм ТМ. Елементи структури охоплені зворотними зв'язками 1-4 для підтримки або зміни режиму роботи ТМ.

Режими роботи ЕП визначаються величинами, котрі характеризують рух робочого органу технологічної машини (або вала машини), тобто швидкістю, прискоренням, кутом повороту, моментом, потужністю і т. д. Координата руху повинна змінюватись за певним законом в часі або в функції іншої величини,

тобто регулюватися. В реальних АСКЕП завжди існують величини (обурюючий вплив або збурення), що відхиляють регульовану величину від необхідного закону її зміни. Основним збуренням в АСКЕП зазвичай є статичний момент МС. До інших збурень відносяться коливання напруги мережі живлення; нестабільність характеристик елементів системи (транзисторів в підсилювальному режимі); різноманітні перешкоди (по ланцюгам ЗЗ, по силовому ланцюзі).

1.2 Загальні принципи синтезу систем автоматичного керування

Автоматичне керування ЕП – це виконання системою керування без безпосередньої участі оператора заданого режиму роботи в статичних і динамічних умовах відповідно до вимог виробничого процесу.

Будь-який процес управління (автоматичного) складається з наступних основних етапів (елементів):

- отримання інформації про завдання управління;
- отримання інформації про результат управління;
- аналіз отриманої інформації;
- виконання рішення (вплив на об'єкт управління).

Для реалізації процесу управління система керування (СК) повинна мати:

- джерела інформації про завдання управління;
- джерела інформації про результати управління (різні датчики, вимірювальні пристрої, детектори і т.д.);
- пристрої для аналізу одержуваної інформації та вироблення рішення;
- виконавчі пристрої, які впливають на об'єкт управління, що містять регулятор, двигуни, підсилювально-перетворювальні пристрої і т.д.

Якщо СК містить всі перераховані вище частини, то вона є замкнутою.

Схематично така система управління представлена на рисунку 1.2.

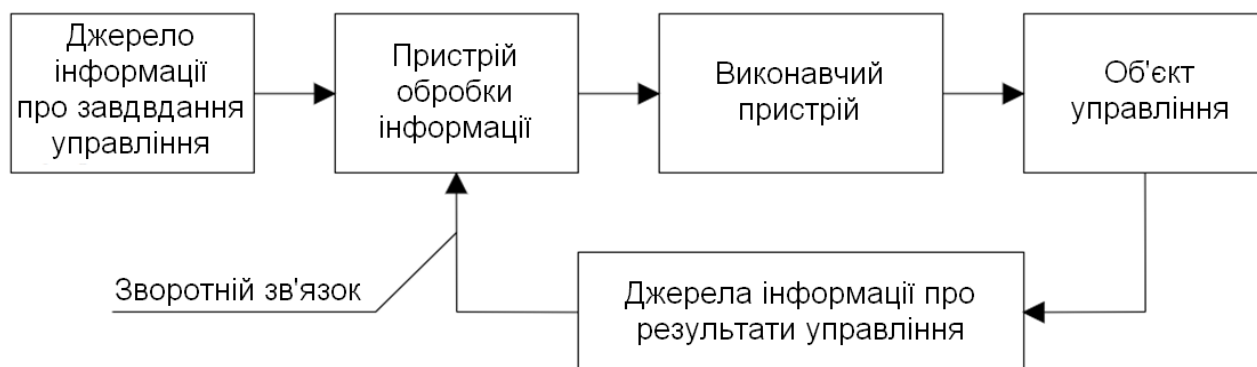


Рисунок 1.2– Структура системи керування (СК)

Якщо СК має структурну схему, вид якої відповідає рисунку 1.2, і функціонує (працює) без участі людини (оператора), то вона називається системою автоматичного керування (САК).

Якщо управління забезпечує заданий закон зміни об'єкта в часі незалежно від результатів управління, то таке управління здійснюється по розімкненому циклу, а саме управління називається програмним управлінням.

1.2.1 Структура систем керування

В теорії управління технічними системами часто буває зручно розділити систему на набір ланок, з'єднаних в мережеві структури. У найпростішому випадку система містить одну ланку, на вхід якої подається вхідний вплив (вхід), а на виході формується відгук системи (вихід).

В теорії управління технічними системами використовують 2 основних способи подання ланок систем управління:

- в змінних «вхід-вихід»;
- в змінних стану.

Подання в змінних «вхід-вихід» зазвичай використовується для опису відносно простих систем, що мають один «вхід» (один керуючий вплив) і один «вихід» (одна регульована величина, див. рисунок 1.3).

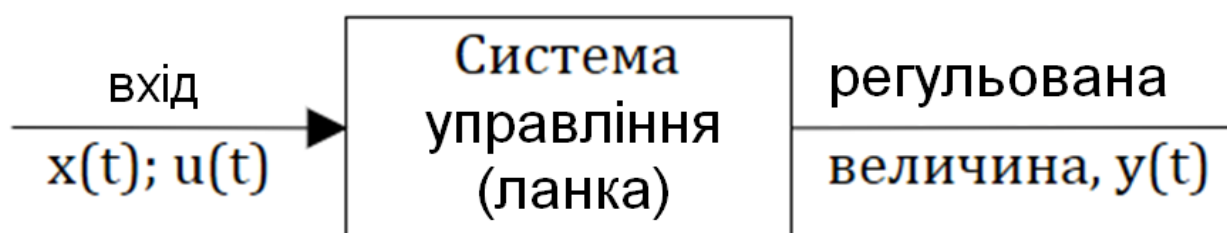


Рисунок 1.3 – Схематичне представлення простої системи керування

Останнім часом широкого поширення набуває уявлення в змінних стану, особливо для технічно складних систем, в тому числі і для багатовимірних САК.

На рисунку 1.4 приведено схематичне уявлення багатовимірної системи автоматичного управління, де $u_1(t) \dots u_m(t)$ – керуючі впливи (вектор управління), $y_1(t) \dots y_p(t)$ – регульовані параметри САУ (вектор виходу).



Рисунок 1.4 – Схематичне представлення багатовимірної системи управління

Розглянемо більш детально структуру САК, представлену в змінних «вхід-вихід» з одним входом (вхідний або задавальний, або керуючий вплив) і одним виходом (вихідний вплив або керована/регульована змінна).

Припустимо, що структурна схема такої САК складається з деякого числа елементів (ланок). Групуючи ланки за функціональним принципом, структурну схему САК можна привести до типового виду, який показано на рисунку 1.5.

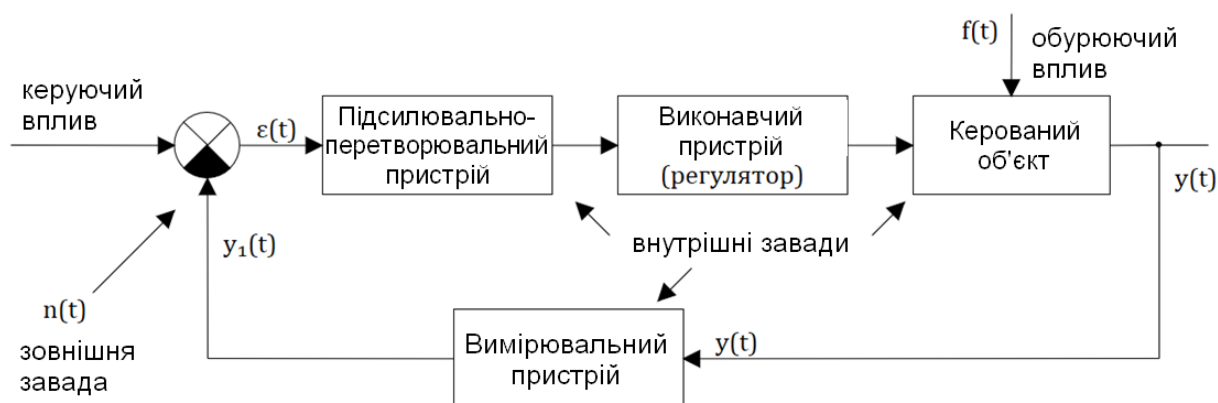


Рисунок 1.5 – Структурна схема системи автоматичного керування

Символом (змінною) $\varepsilon(t)$ позначається неузгодженість (помилка) на виході порівнюючого пристрою, яка може «працювати» в режимі як простих порівняльних арифметичних операцій (найчастіше віднімання, рідше складання), так і більш складних порівняльних операцій (процедур).

1.2.2 Класифікація систем автоматичного керування

- за ієрархічною ознакою:

- 1) однорівневі;
- 2) дворівневі;
- 3) багаторівневі;

- за характером управління:

1) детерміновані САК, в яких до вхідного сигналу однозначно може бути поставлений у відповідність вихідний сигнал (і навпаки);

2) стохастичні САК (статистичні, ймовірнісні), в яких на даний вхідний сигнал САК «відповідає» випадковим (стохастичним) вихідним сигналом;

- за характером сигналів:

- 1) безперервні системи (безперервної дії);
- 2) релейні системи (релейної дії);
- 3) системи дискретної дії (імпульсні і цифрові).

Системою безперервної дії називається така САК, в кожній з ланок якої безперервна зміна вхідного сигналу в часі відповідає безперервній зміні вихідного сигналу, при цьому закон зміни вихідного сигналу може бути довільним. Щоб САК була безперервною, необхідно, щоб статичні характеристики всіх ланок були безперервними.

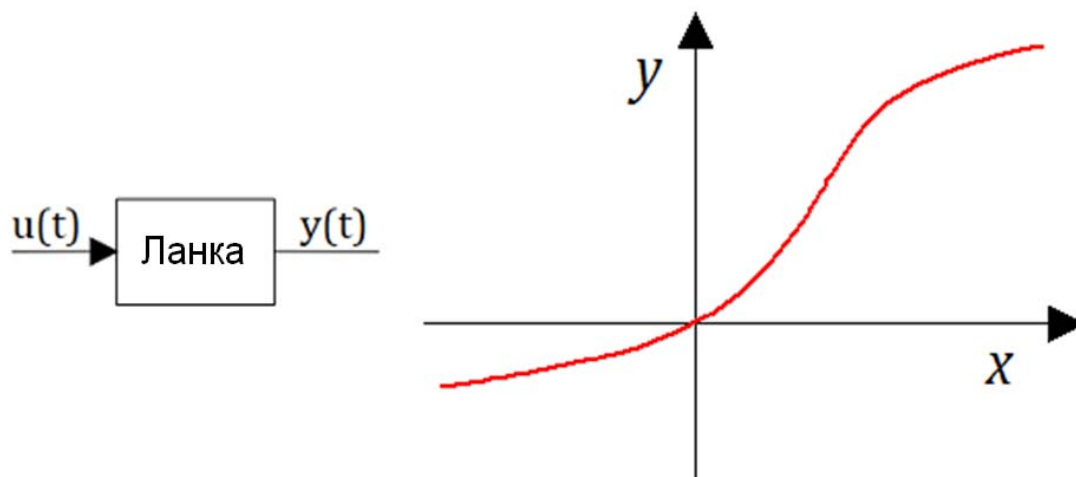


Рисунок 1.6– Приклад безперервної системи

Системою релейної дії називається САК, в якій хоча б в одній ланці при безперервній зміні вхідної величини вихідна величина в деякі моменти процесу управління змінюється «стрибком» в залежності від величини вхідного сигналу. Статична характеристика такої ланки має точки розриву або зламу з розривом.

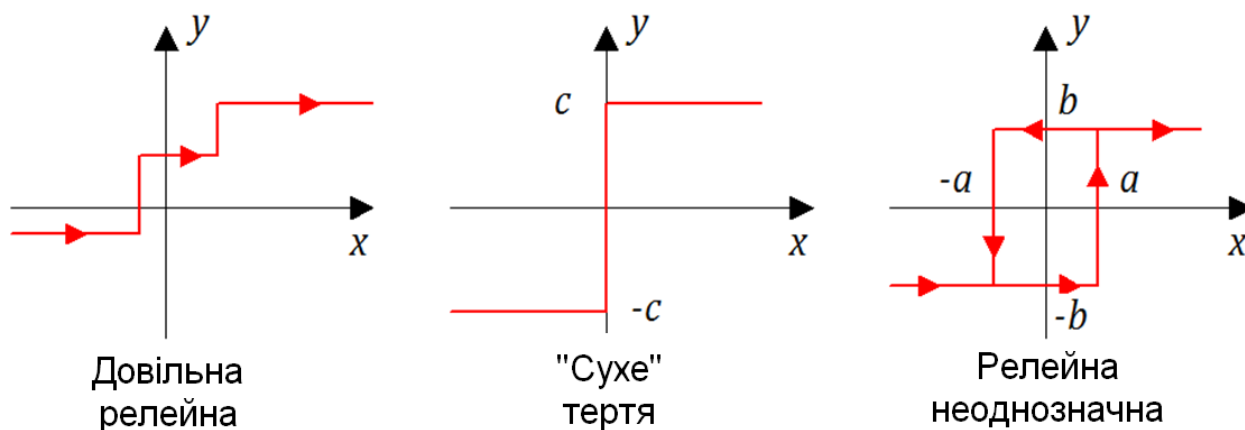


Рисунок 1.7– Приклади релейних статичних характеристик

Системою дискретної дії називається система, в якій хоча б в одній ланці при безперервній зміні вхідної величини вихідна величина має вигляд окремих імпульсів, що з'являються через деякий проміжок часу.

Ланка, що перетворює безперервний сигнал в дискретний, називається імпульсною. Подібний вид переданих сигналів має місце в САК з ЕОМ або контролером.

Найбільш часто реалізуються такі методи (алгоритми) перетворення безперервного вхідного сигналу в імпульсний вихідний сигнал:

- амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ);
- широтно-імпульсна модуляція (ШІМ).

Крім наведених основних видів класифікації систем управління, існують і інші класифікації. Наприклад: за методом управління, і ґрунтуються на взаємодії з зовнішнім середовищем і можливості адаптації САК до зміни параметрів навколишнього середовища. За цим принципом системи діляться на два великі класи:

1) звичайні (з самоналаштуванням) СК без адаптації; ці системи відносяться до розряду простих, що не змінюють свою структуру в процесі управління. Вони найбільш розроблені і широко застосовуються. Звичайні СК поділяються на три підкласи: розімкнуті, замкнуті і комбіновані системи управління;

2) самоналагоджувальні (адаптивні) СК. У цих системах при зміні зовнішніх умов або характеристик об'єкта регулювання відбувається автоматичне (заздалегідь не задане) зміна параметрів керуючого пристрою за рахунок зміни коефіцієнтів СК, структури СК або навіть введення нових елементів.

Автоматизовані системи керування, націлені на управління механічними пристосуваннями, що мають у своєму складі силовий привод або електромеханічний перетворювач, за конструкційно-функціональними ознаками відповідають критеріям, за якими визначаються мехатронні системи.

1.3 Мехатронні системи

Слово «Мехатроніка» складається з двох частин – механіка і електроніка.

Мехатроніка – галузь науки, що базується на перетині декількох галузей: механіки, електроніки і мікропроцесорної техніки, інформатики і комп'ютерного керування рухом машин і агрегатів; присвячена аналізу виконавчих станів мехатронних об'єктів і функціональної взаємодії механічних, енергетичних та інформаційних процесів між ними і з зовнішнім середовищем, а також синтезу мехатронних об'єктів. З аналізу даного визначення випливає, що:

- мехатронні системи (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, задача якого – забезпечення складних координованих рухів механічної частини.

Мехатронний об'єкт синтезується на синергетичному поєднанні елементів точної механіки з електротехнічними, електронними та комп'ютерними компонентами, що обумовлюють проектування і створення абсолютно нових виробів, систем, машин з автоматичним керуванням їх функціоналом (в т.ч. рухами).

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

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

«Застосування мехатронного підходу при створенні машин з програмним 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 [4]».

Автоматизований електропривод є яскравим прикладом мехатронної системи.

1.3.1 Загальна структура мехатронної системи

Функціональна схема МС в загальному вигляді наведена на рисунку 1.8.

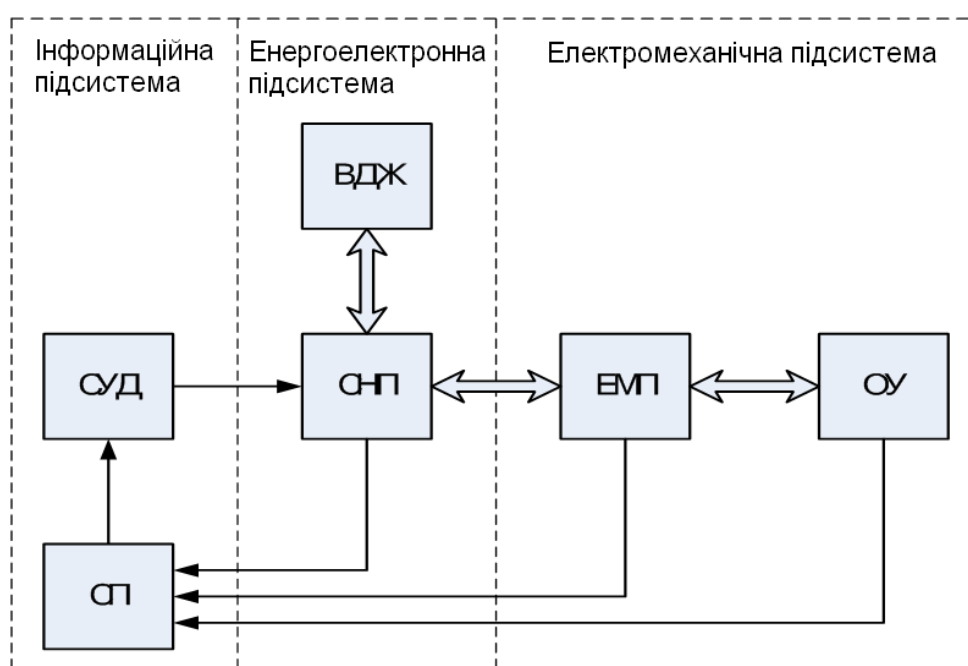


Рисунок 1.8 – Функціональна схема мехатронної системи

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).

Особливості МС

- об'єкти управління МС широко застосовуються в умовах, де можливості людини обмежені або там, де її здоров'ю та життю загрожує небезпека;
- ОУ мехатронних систем, як правило, мають змінні параметри;
- 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.

1.3.2 Етапи проектування і розробки МС

- на першому етапі відбувається постановка технологічних завдань і визначається мета проектування;
- на другому етапі розробляється технологічний процес;
- на третьому етапі проводиться моделювання цифрової, імпульсної й безперервної частини;
- на четвертому етапі формулюються вимоги до характеристик складових частин системи: вимірювально-інформаційної (ВІС), силових приводів (СП), управління (СУ) і програмному забезпеченню (ПЗ);

- на п'ятому етапі проводиться розробка систем та ПЗ наведених в попередньому пункті. Також передбачається розробка додаткових вузлів системи згідно зі специфікою конкретного проекту;

- на шостому етапі виконується конструктивне оформлення виробу;

- на сьомому етапі проводять дослідження динамічних і статичних характеристик усієї системи.

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

1.4 Електропривод

Електропривод – це електромеханічний пристрій, призначений для приведення в дію робочих органів машин і управління технологічними процесами, що складається з передавального пристрою, електрорушійного пристрою та пристрою управління.

В передавальному механізмі містяться механічні передачі та сполучні муфти, необхідні для передачі механічної енергії, що виробляється двигуном, технічному засобу (об'єкту управління).

Перетворювач управляє потоком електричної енергії з електромережі для регулювання режимів роботи двигуна та механізму. Це енергетична (силова) частина управління електроприводом.

Керуючий пристрій являє собою інформаційну слабкострумову частину системи управління, призначену для збору і обробки інформації про задаючі впливи, стан системи і вироблення на її основі сигналів управління перетворювальним електродвигунним пристроєм.

Функціонально електропривод поділяють на такі складові: систему управління, силову і механічну частину (рисунк 1.9).

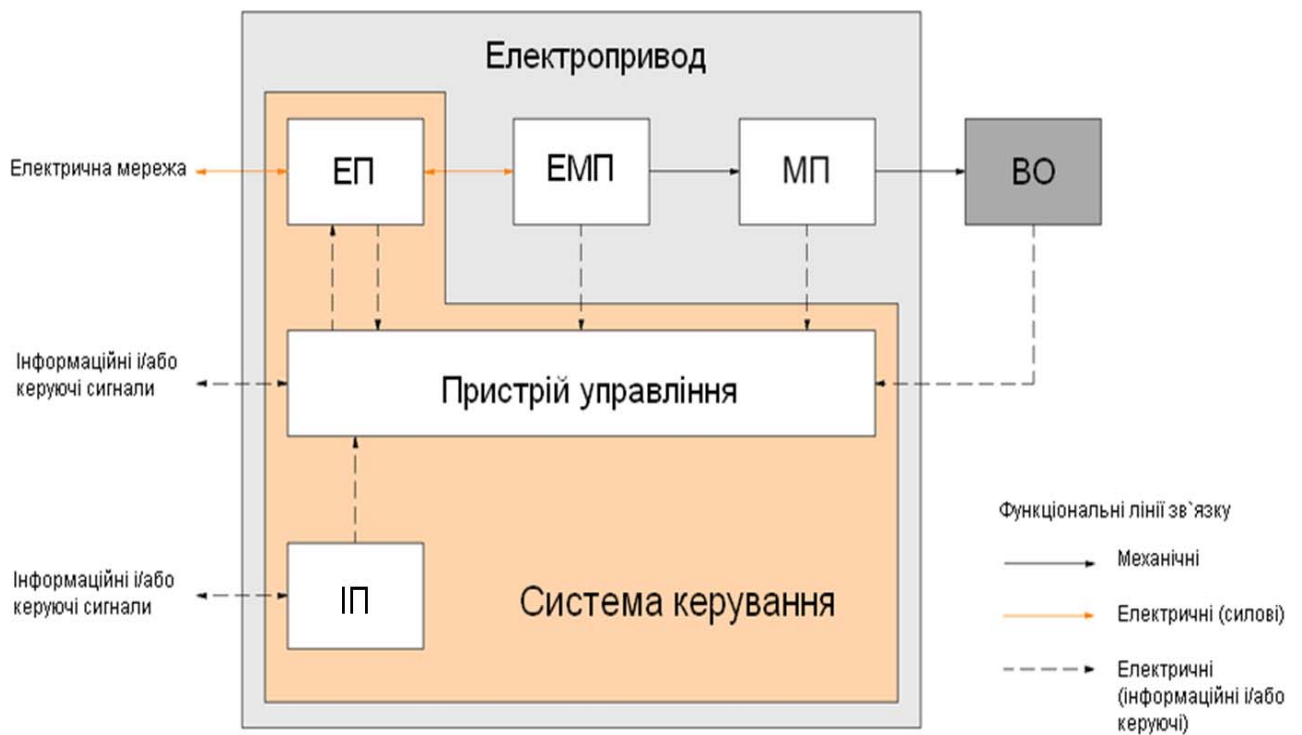


Рисунок 1.9 – Функціональна схема електроприводу:

ЕП - електричний перетворювач; ІП - інформаційний пристрій;

ЕМП - електромеханічний перетворювач (електродвигун);

МП - механічний перетворювач; ВО - виконавчий орган

Класифікація електроприводів

- в залежності від роду використовуваного струму:

- 1) з постійним / змінним струмом;
- 2) відповідно до характеру здійснюваного руху;
- 3) лінійний, дискретний, з обертовим рухом;

- по виду передавального механізму:

- 1) електрогідравлічний;
- 2) магнітогідродинамічний;
- 3) редукторний;

- за функціональним призначенням:

- 1) головний;
- 2) допоміжний;
- 3) для передач;

- в залежності від виду управління і призначення:

1) автоматизований, керований за допомогою програм, адаптивний, позиційний, що стежить;

2) по числу робочих органів:

3) груповий, індивідуальний, взаємопов'язаний, з декількома двигунами, електричний вал.

Виділяють наступні основні переваги електроприводів в порівнянні з іншими видами приводних систем:

- простий конструктивний устрій електродвигунів;
- можливість виробляти двигуни в великому діапазоні потужності, що дозволяє підібрати двигун для будь-якого обладнання;
- просте і зручне регулювання швидкості обертання валу двигуна;
- доступне автоматичне керування роботою електроприводів, що володіє широкими можливостями;
- швидкодія, постійна готовність до запуску;
- можливість використання реверсного обертання;
- можливість дистанційного керування;
- доступність електричної енергії, розвинена мережева інфраструктура; надійність, економічність, високий ККД;
- екологічна чистота.

Класифікація електродвигунів

На рисунку 1.10 в схематичному вигляді представлена класифікація електродвигунів.

Варто відзначити, що в категорії асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором є такі цікаві екземпляри, як моментні асинхронні двигуни. Номінальні параметри цих двигунів розраховуються таким чином,

щоб навіть при частоті обертання 0 споживаний струм був якомога більше, але не доводив до руйнування від перегріву.



Рисунок 1.10 – Класифікація електродвигунів

Це доцільно, наприклад, для приводів відкривання дверей, переведення стрілок або пресових інструментів, від яких вимагається досягнення і надійне утримання положення за допомогою електродвигуна.

Ще один часто використовуваний режим роботи — так званий режим гальмування протиструмом. Зовнішнє навантаження здатне провертати ротор проти напрямку обертання поля. Обертальне поле «загальмовує» частоту обертання і відбирає у системи генераторну енергію, яка повертається в електромережу — майже ротаційне гальмування без механічної роботи тертя гальма.

1.5 Обґрунтування вибору пристрою керування

В якості пристроїв управління в мехатронних системах застосовують контролери. Контролерами називаються пристрої з функціями управління. Саме в них реалізуються алгоритми управління.

Характерною рисою керуючого апаратно-програмного забезпечення є строгі вимоги щодо швидкості їх реагування на зміни даних в системі зворотного зв'язку, що надходять від датчиків, і генерації керуючих

впливів на виконавчі механізми. Це означає, що вони мусять працювати в режимі реального часу. В системах керування контролери обмінюються інформацією зпрограматорами, периферійними пристроями вводу/виводу (I/O), інструментами інтерфейсу «людина-машина», та зі своїми «родичами» – іншими пристроями управління. Різновиди пристроїв управління наведені нижче.

1.5.1 Мікроконтролери

Характеризуються високою складністю програмування, потребують розробки певної електричної схеми з застосуванням додаткових електронних компонентів і виробництва плати для створення необхідних умов роботи, придатних для контролера, що сильно збільшує трудовитрати і передбачає наявність виробничих потужностей, складного коштовного устаткування і штату високооплачуваних кваліфікованих фахівців. Вартість самого контролера відносно невисока, але витрати на виробництво пристроїв з їх застосуванням значні.

1.5.2 Модулі Arduino

Arduino – універсальні програмовані модулі, як правило, на базі мікроконтролерів AVR, фірми Atmel. Процедура програмування дещо спрощена, в порівнянні з окремо взятим МК, але все одно вимагає широких пізнань в програмуванні; часто необхідна розробка і виготовлення (або придбання) додаткових модулів.

1.5.3 Програмовані логічні контролери

Є більш складними пристроями, по суті, їх можна віднести до мікрокомп'ютерів з спрощеним алгоритмом і архітектурою, основна функція яких полягає у виконанні операцій перемикання в промислових системах управління.

На відміну від мікроконтролера, який використовується для контролю за окремими приладами, цей прилад покриває всю інфраструктуру виробництва і може відправляти команди на будь-яке обладнання, підключене до неї.

Будь-який програмований логічний контролер націлений на виконання певних завдань. Апарат збирає відомості з блоків введення інформації і обробляє її, щоб на виході сформувати потрібну реакцію. Отже, його основне призначення – забезпечити коректну автономну роботу закритої системи. Для введення в експлуатацію потребується джерело живлення. Передбачено підключення до ЕОМ для програмування і налагодження роботи девайса.

ПЛК, в основному, використовуються на промислових підприємствах, тому до їх надійності та захищеності від впливу різноманітних електромагнітних, атмосферних, вібраційних, та інших факторів ставляться жорсткі вимоги.

«Живучість» приладу досягається за рахунок використання якісної елементної бази, продуманих схемних рішень, спеціальних захисних схемотехнічних включень, гальванічних розподільників, резервування та дублювання критичних ланцюгів і т.д, також не останню роль відіграє технологічний рівень виробництва ПЛК.

Особливістю ПЛК є їх розширені можливості в порівнянні з іншими пристосуваннями подібного призначення, а саме:

- стійкість до несприятливих впливів навколишнього середовища, в тому числі – до кліматичних умов;
- можливість тривалої роботи без участі оператора;
- збільшена надійність;
- недороге і просте обслуговування.

За конструктивними ознаками ПЛК поділяють на три типи.

- 1) Моноблочні – передбачають наявність всіх конструктивних елементів, включаючи джерело живлення.

2) Модульні – складаються з окремих модулів. Їх типи, кількість і склад можуть змінюватися в залежності від характеристик об'єкта автоматизації і алгоритму керування ним, і являються проектно–компонованими виробами. Це не тільки зменшує витрати на впровадження систем автоматизації, а й підвищує ремонтоздатність ПЛК. Але широкі функціональні можливості вимагають більшого простору і експлуатуються в основному в складних системах.

3) Розподілені – модулі виконані в окремих корпусах і можуть бути розташовані на відстані один від одного (до 1,2 км).

Продуктивність ПЛК визначається виходячи з таких параметрів:

- тривалість циклу (період, який необхідний для отримання відомостей на вході, їх обробки і виведення сигналу на виході);
- час виконання команд;
- пропускну здатність шини, розташованої між вхідними та вихідними механізмами, і самої виробничої мережі;
- час реакції.

Надійність апарату визначається напрацюванням на відмову, яка є відношенням сумарного часу працездатного стану до очікуваного числа відмов контролера за цей час.

Безумовно, мало не основною перевагою системи на програмованих контролерах є простота їх програмування. Розробник або оператор може задавати апарату параметри, необхідні для конкретного режиму функціонування всього обладнання за допомогою спеціалізованих мов програмування, стандартизованих в міжнародному стандарті МЕК 61131. (FBD, ST і т.д.)¹. Згідно з програмою контролер забезпечує обробку вхідної інформації з ОУ та генерацію керуючих впливів.

Для вибору та конфігурування ПЛК необхідно:

¹О.М. ПУПЕНА Д.В. МАЦЕБУЛА. Промислові інформаційні мережі та інтеграційні технології: курс лекцій для студ. напрямку 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» денної та заочної форм навчання. – К.: НУХТ, 2015. – 89 с.

- визначити які будуть використовуватися типи датчиків, перетворювачів, виконавчих механізмів, та в якій кількості;
- розробити функціональну структуру системи, управляючий алгоритм, визначити необхідні регулюючі контури;
- визначити технічне наповнення системи керування: обрані мікропроцесорні пристрої автоматизації та методи їх інтегрування.

На рисунку 1.11 зображено загальну структуру ПЛК.

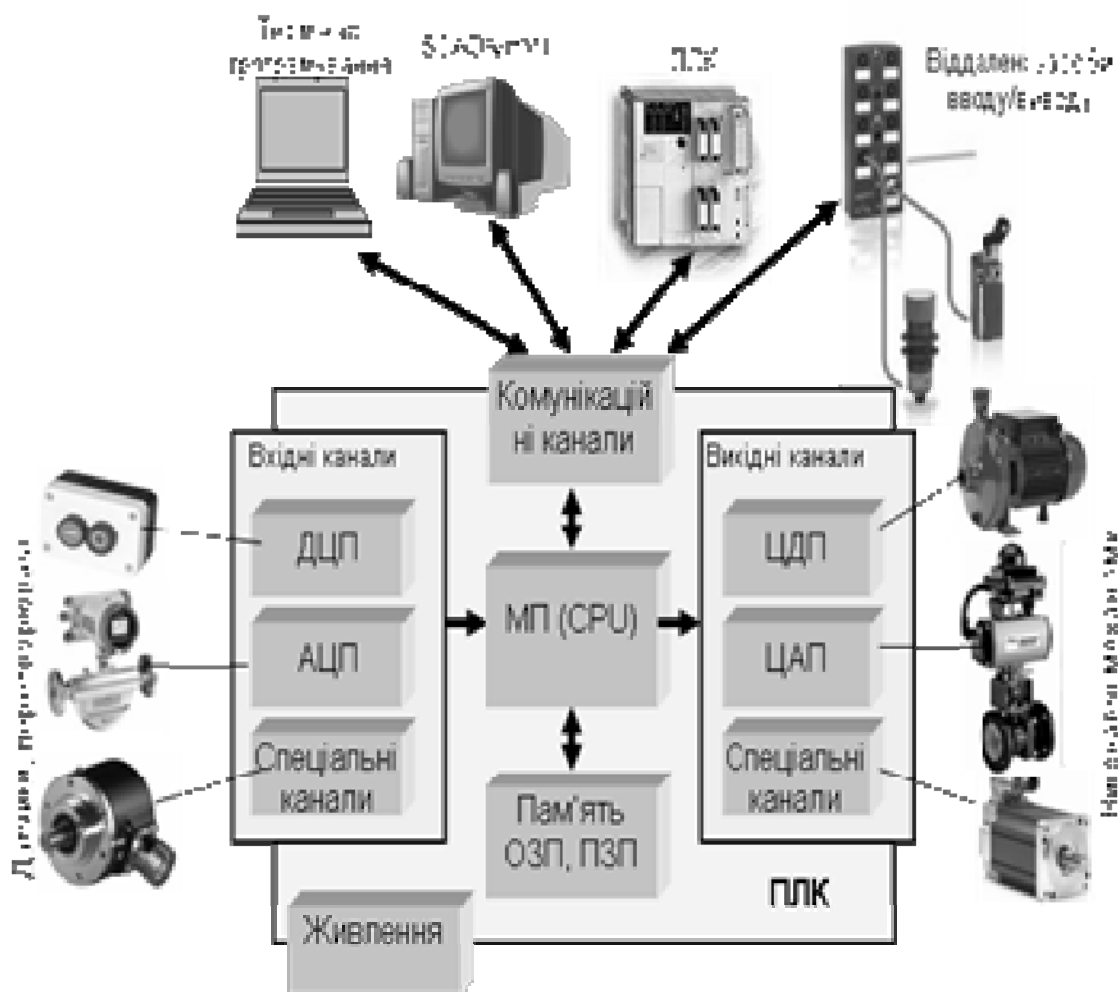


Рисунок 1.11 – Структура ПЛК та його зв'язки в умовах промислового виробництва

Центральна частина ПЛК – це мікропроцесорний пристрій (МП, CPU), що здійснює операції збору і обробки даних від зовнішніх пристроїв, і генерує керуючі впливи, визначені розробленою користувацькою програмою.

Пам'ять контролера. В ПЛК зустрічаються 3 види пам'яті:

- ОЗП (оперативна, енергозалежна);
- ПЗП (постійна, енергонезалежна);
- ППЗП (перепрограмована, енергонезалежна з можливістю перезапису).

Пам'ять буває вбудована в процесорний модуль, і/або у вигляді окремих мікросхем, розпаяних на платі, чи таких, що встановлюються у спеціальні роз'єми, або в форматі карт пам'яті Micro-SD. Останній варіант дозволяє доповнити пам'ять контролера до необхідного об'єму, звісно в рамках специфікації приладу, так як можуть бути деякі обмеження.

Функціонально-технічні параметри модулів мікропроцесору ті пам'яті визначають швидкодію ПЛК, що являється його головною характеристикою.

Промисловий контролер можна вважати спеціалізованою ЄВМ, але в нього є специфічне покликання – управління об'єктом автоматизації в реальному часі, від чого залежить його програмна та технічна конфігурація.

Канали ПЛК:

- Вхідні канали – це модулі, що забезпечують контролер інформацією з об'єкту управління, до них підключаються датчики (напрямую або через перетворювач), кнопки, контактори. Вхідні канали бувають:

- 1) дискретно-цифрового перетворення (ДЦП), для приладів з дискретним виходом та органів управління;
- 2) аналогового-цифрового перетворення (АЦП), для приладів з уніфікованим аналоговим електричним виходом;
- 3) спеціалізовані, призначені для специфічних не уніфікованих вхідних сигналів;

- Вихідні канали – це модулі, що перетворюють цифровий керуючий сигнал, що формується програмою, в потрібний рівень сигналу для виконавчого механізму. Вихідні канали бувають:

- 1) цифро-дискретного перетворення (ЦДП), для дискретних засобів комутації і виконавчих механізмів, електротехнічних виконавчих механізмів з незмінною обертовою швидкістю;

2) цифро–аналогового перетворення (ЦАП), для аналогових виконавчих механізмів, керованих уніфікованими електричними сигналами;

3) спеціалізовані, для специфічних вихідних сигналів.

- Змішані блоки – в одному модулі зустрічаються канали різних типів (модульна або блочна конфігурація).

Головні функції каналів:

1) оцифровування сигналів від датчиків (вхідні);

2) генерація фізичних сигналів керування виконавчими механізмами, відповідно до цифрових сигналів управління (вихідні);

3) зв'язок з іншими пристроями управління (комунікаційні).

ПЛК знайшли своє застосування і в побутовій автоматизації. Вони можуть вбудовуватися в побутову техніку або монтуватися в щитках і шафах з іншим електрообладнанням. Вони також вбудовуються в ПД-регуляторах і певних видах лічильників.

У промисловості застосовуються більш потужні моделі. Так, контролери використовуються в машинобудуванні, наприклад, для реагування на зміни повороту керма в автомобілі. Подібні апарати є частиною комплексів з ЧПУ, а також автоматизованих аварійних систем.

Ланцюжок контролерів може без зусиль впоратися з контролем за цілим цехом металообробки або майстерні з пошиття одягу.

В побуті ПЛК без участі людини в потрібний час включить світло або наповнить бак водою до потрібного рівня. Такий пристрій обов'язково зустрітися в управлінні «розумного» будинку, де регулюється все, аж до якості повітря.

В сімействі ПЛК можна виділити окремий клас пристроїв, що іменуються інтелектуальними програмованими реле.

1.5.4 Інтелектуальні реле

Програмоване (інтелектуальне) реле – це один із видів програмованих логічних контролерів (ПЛК).

Програмовані реле знайшли основне застосування в якості автоматизаційних засобів локальних контурів, деяких агрегатів машин і механізмів, для побутового застосування.

Програмоване реле являє собою, як правило, моноблочну конструкцію, що має клеми підключення живлення, входів, виходів, рідкокристалічний екран і органи управління.

На основі інтелектуальних реле інтуїтивно і зрозуміло будуються різні системи автоматичного управління, як приклад, системи управління насосним обладнанням, свердлильними верстатами, системи автоматичного вводу резерву (АВР). Простота програмування і компактні розміри дозволяють розробляти на основі програмованих реле фрагменти системи «розумний дім».

По напрузі і типу живлення програмовані реле діляться на:

- пристрої з живленням 12, 24 В (DC);
- пристрої з живленням 24, 110-220 В (AC).

Живлення і тип напруги програмованих реле визначають значення логічної одиниці на цифрових входах пристрою. Тобто, для того, щоб подати логічну одиницю на вхід пристрою, необхідно прикласти напругу, відповідну за своїм значенням і типом напруги живлення пристрою. Таким чином, по вхідній напрузі існують:

- пристрої з входами 12, 24 В (DC);
- пристрої з входами 24, 110-220 В (AC).

Для обробки аналогових сигналів, таких як, сигнали температурних датчиків, датчиків швидкості вітру, зовнішніх потенціометрів, програмовані реле мають на борту два і більше аналогових входи 0..10 В (DC).

Потрібно зауважити, що аналогові входи передбачені тільки на пристроях з живленням 12 В (DC), 24 В (AC, DC).

Для комутації вихідних сигналів в програмованих реле передбачені 4 і більше виходів. Виходи пристроїв бувають двох типів:

- транзисторні виходи, що забезпечують можливість комутації невеликих навантажень до 0,5 А;

- релейні виходи, що забезпечують комутацію навантажень до 8 А (АС1).

Пристрої з транзисторними виходами переважно використовуються там, де необхідна комутація малими струмами, або стоїть задача передачі сигналів вихідних функцій реле в інші частини системи автоматики.

До пристроїв з релейними виходами можливе пряме підключення джерел освітлення, малопотужних двигунів та інших споживачів з активним навантаженням що не перевищує 8 А.

Реле – електромеханічний пристрій, призначений для комутації електричних ланцюгів при заданих змінах електричних або неелектричних вхідних величинах. Класичне реле має котушку управління x , і групу контактів, що реалізують вихідну функцію $y = f(x)$.

При подачі напруги на вхід котушки контакти змінюють свій первісний стан на інверсний.

Група контактів може містити два основних типи контактів: нормально відкриті контакти і нормально закриті контакти.

Нормально відкритий контакт – контакт, що знаходиться в розімкнутому стані при відсутності напруги на котушці управління.

Нормально закритий контакт – контакт, що знаходиться в замкнутому стані при відсутності напруги на котушці управління.

Таким чином можна записати два основних типи функцій, що реалізуються за допомогою реле:

$y(x) = x$ – для нормально-відкритих контактів;

$y(x) = \bar{x}$ – для нормально-закритих контактів.

Решта типів функцій, що реалізуються за допомогою реле, ґрунтуються на наданні контактній групі додаткових властивостей. Функції і типи контактів реле показані на рисунку 1.12.

Стандартними засобами опису і побудови програм для даних пристроїв є мови релейної логіки (LD) або функціональних блоків (FBD), розроблені спеціально для інженерів, зайнятих в області автоматизації промисловості і виробництва.

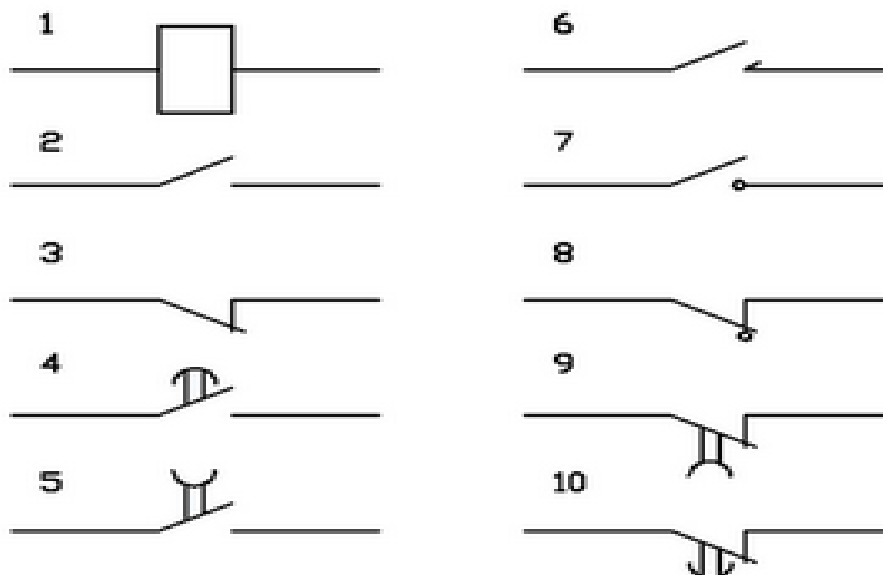


Рисунок 1.12 – Контакти реле:

- 1 - котушка реле (керуючий ланцюг), 2 - нормально відкритий контакт,
- 3 - нормально закритий контакт, 4 - нормально відкритий контакт з сповільнювачем при спрацьовуванні, 5 - нормально відкритий контакт з сповільнювачем при поверненні, 6 - нормально відкритий контакт імпульсний,
- 7 - нормально відкритий контакт без самоповернення,
- 8 - нормально закритий контакт без самоповернення,
- 9 - нормально закритий контакт з сповільнювачем при спрацьовуванні,
- 10 - нормально закритий контакт з сповільнювачем при поверненні.

Серія easyFamily використовується для побудови IBC та є узгодженою універсальною системою від реле керування easyRelay і багатофункціонального дисплея MFD-Titan до реле керування безпеки easySafety і компактного ПЛК easyControl (рисунку 1.13).

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 1.13 – Пристрої серії easyFamily

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

Висновки

В процесі вивчення систем автоматичного керування, зокрема електромеханічної автоматичної системи керування електроприводом було встановлено, що САК з силовим приводом структурно та функціонально подібна до типових мехатронних систем. Далі автоматизований електропривод буде розглядатися в рамках концепції мехатронної системи.

Докладно розглянуті різноманітні пристрої управління, котрі можуть застосовуватися в системах автоматичного керування та мехатронних системах. Аналіз даних по кожному типу пристроїв показав, що найбільш оптимальним варіантом за співвідношенням ціна/якість/трудомісткість при розробці систем автоматизації та в процесі експлуатації виявляються інтелектуальні реле. По надійності, принципу роботи та «цільовій аудиторії» вони подібні до промислових логічних контролерів, функціонал в них трохи скромніший, але в рамках даного дослідження, його вистачить з лишком.

2 РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ ВІД РЕЛЕ

2.1 Методологія проектування мехатронної системи

Проектування мехатронної системи (МС) починається, як правило, з складання елементної схеми управління відповідно до технічного завдання. Схема управління складається з типових апробованих вузлів. Перший варіант елементної електричної схеми піддається розгляду відповідно до вимог технічного завдання до складання схеми. На підставі цього проводиться вибір типу і параметрів всіх елементів, що входять в схему і приймаються рішення щодо зміни окремих вузлів. Елементна схема отримує остаточний вигляд.

На рисунку 2.1 представлена мехатронна система з електроприводом.

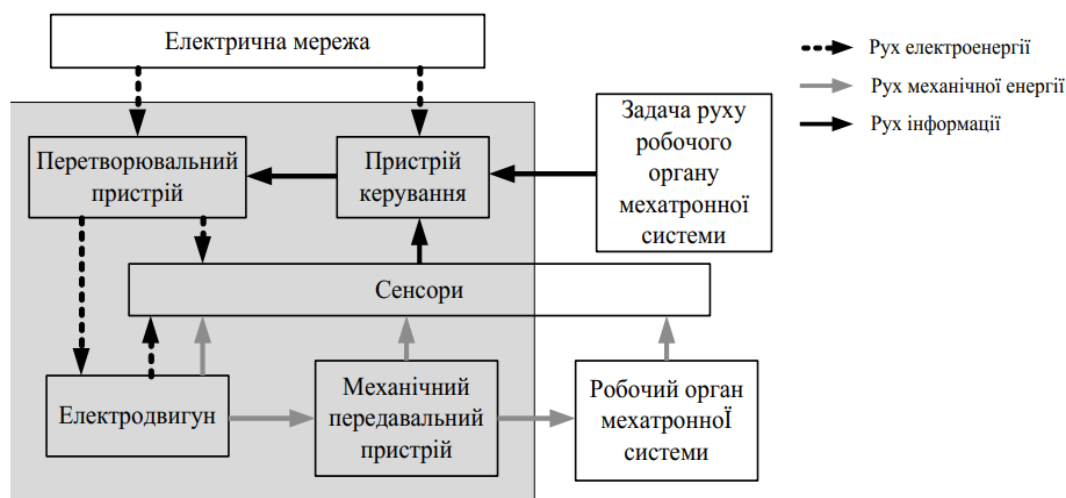


Рисунок 2.1 – Мехатронна система з електроприводом

Після проектування елементної схеми МС по необхідності складаються монтажні схеми і виконується конструктивна розробка по розміщенню електрообладнання в шафах, на панелях, технологічних машинах відповідно до завдання.

При розгляді типових вузлів електричних схем МС, які здійснюють пуск, гальмування і реверсування електродвигуна необхідно розглядати принципи, за

якими вони працюють. Найбільш часто виділяють принципи часу, швидкості (ЕРС), струму, шляху та ін.

2.1.1 Вузли пуску і гальмування електродвигунів, що працюють за принципом часу

Управління у функції часу передбачає, що в схемі управління є апарати, які контролюють час (тобто реле часу), що настроюються на відлік наперед заданих витягів часу t_i . Кожне реле включає відповідний контактор прискорення, який закорочує головним контактом потрібну ступінь пускового опору.

Сучасні реле (електронні, моторні та ін.) можуть забезпечити витримки часу від сотих часток секунди до декількох годин.

Витримка часу для кожного реле визначається на підставі розрахунку перехідного процесу двигуна. Для електроприводів, що мають лінійні механічні характеристики і при $M_c = const$, час розгону на i -тій сходинці визначається за виразом:

$$t_{Pi} = T_{Mi} \cdot \ln \left[\frac{M_{Поч_i} - M_c}{M_{Кін_i} - M_c} \right], \quad (2.1)$$

де T_{Mi} – електромеханічна постійна часу на i -тій сходинці.

$$T_{Mi} = J \left[\frac{\omega_{Кін_i} - \omega_{Поч}}{M_{Поч_i} - M_{Кін}} \right], \quad (2.2)$$

$\omega_{Поч}$, $\omega_{Кін_i}$ – початкові і кінцеві значення швидкості ЕП на i -тій сходинці; J – момент інерції ЕП; $M_{Поч_i}$ і $M_{Кін}$ – початковий і кінцевий значення моменту ЕП на i -го ступеня.

При визначенні витримки часу необхідно враховувати власний час спрацьовування апаратів, які в деяких випадках можуть бути порівнянні з витримкою часу реле.

2.2 Огляд дослідницького стенду

Основні складові стенду та їх характеристики

Система індикації: прилади світлової сигналізації (HL 1-3).

Органи управління: 2 кнопки, нормально відкрита та нормально замкнута (SB1 і SB2 відповідно).



Рисунок 2.2 – Фото електронної складової стенду



Рисунок 2.3 – Фото органів управління та індикації стенду

Автоматичний вимикач

Таблиця 2.1 – Основні характеристики автоматичного вимикача ЕТІ ЕТІМАТ 10 С4

Параметр	Значення
Номінальна напруга	230 В
Номінальний струм	4 А
Граничний струм відключення	10 кА
Клас струмообмеження	3
Кількість полюсів	2
Часо-струмова характеристика	C
Механічний ресурс	20 тис. циклів
Електричний ресурс	10 тис. циклів
Робоча температура	-25...+50°C

Вторинне джерело живлення (ВДЖ) MEAN WELL HDR-100-24N

Таблиця 2.2 – Основні характеристики блоку живлення для промавтоматики 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
КПД	90%
Тип стабілізації	по напрузі
Типи захисту	КЗ, перенавантаження, перенапруга
Робоча температура	-30...+70°C
Конструктивне виконання	на DIN рейку
Клас захисту	IP20

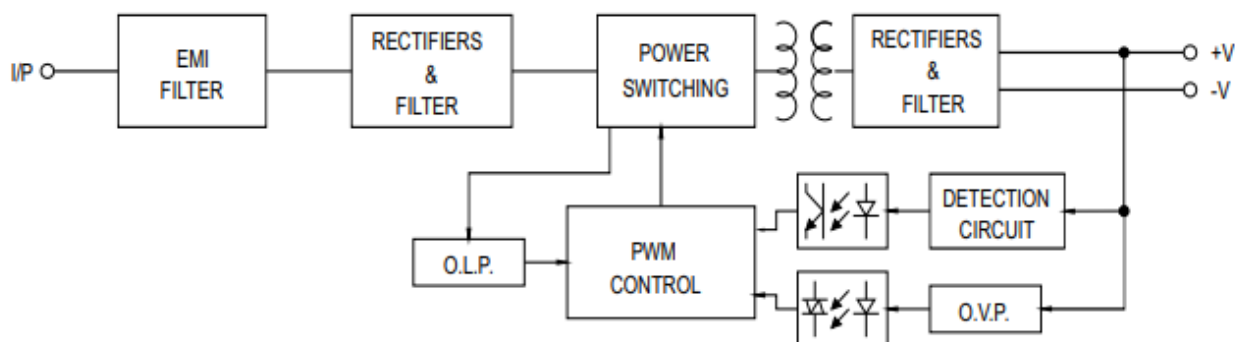


Рисунок 2.4 – Блок-схема ВДЖ MEAN WELL HDR-100-24N

Інтелектуальне реле EATONEASYE4 UC-12RC1 (рисунок 2.5)



Рисунок 2.5 – Базовий блок EASY-E4-UC-12RC1

Як видно з рисунку 2.г, в верхній частині пристрою розташовані:

- клеми для підключення живлення;
- клеми цифрових входів пристрою (I1...I8, рівень логічної одиниці – 24 В), 4 з них можуть бути використані як аналогові (I5...I8, 0..10 В).

В нижній частині пристрою розташовані клеми релейних виходів пристрою, що забезпечують комутацію навантажень до 8 А.

На фронтальній панелі розташовані:

- рідкокристалічний екран – для відображення інформаційних повідомлень, редагування програми, зміни параметрів;
- клавіатура – для навігації по меню та налаштуванню пристрою;
- роз'єм для підключення кабелю програмування з інтерфейсом Ethernet;
- роз'єм easyE4-CONNECT1 для установки додаткових цифрових пристроїв вводу/виводу серії easyE4.

Живиться прилад від джерела 12В/24 В постійного струму або 24 В змінного струму.

Для програмування приладу використовується середа розробки Easy-Soft.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики інтелектуального реле EASY-E4-UC-12RC1

Параметр	Значення
Допустимий діапазон напруги живлення [Ue]	10.2 - 28.8 V DC (–15/+20 %) 20.4 - 26.4 V AC (–15/+10 %) В
Вхідний струм	до 200 мА при 12 В DC до 125 мА при 24 В AC
Втрата потужності при 24 В DC	3 W
Цифрові входи	8 шт (I1–I8)
Вхідна керуюча напруга DC, В	Стан 0: ≤ 5 (I1 - I8) Стан 1: ≥ 15 (I1–I8)
Вхідний струм при стані 1, мА	3,3 (I1–I4) 1,8 (I5–I8)
Частотний лічильник	4 (I1, I2, I3, I4)
	≤ 5 кГц
Форма імпульсів	Прямокутник
Співвідношення імпульс-пауза	1:1
Аналогові входи	4 (I5-I8)
Діапазон значень вхідної напруги	0 – 10 В
Вхідний струм	< 1 мА
Роздільна здатність	12 біт (значення 0–4095)
Вхідний імпеданс	13.3 kΩ
Релейні виходи	4
Звичайний термічний струм	8 А
Кількість циклів перемикання	300000

ХТ – Розбірне з'єднання
НЛ – Прилад світлової індикації
М – Двигун
SA – Перемикач
SB – Кнопковий вимикач
QF – Вимикач автоматичний
G – Джерело живлення

Комплектуючі стенду зібрані в спеціальній металевій шафі.

При збірці передбачена та реалізована можливість переконфігурування стенду для його адаптації під виконання специфічних завдань.

2.3 Частотний перетворювач

Важливою складовою систем з електроприводом є автономний інвертор струму. Автономний інвертор струму (AIC) отримує живлення від джерела струму, для чого в ланцюг постійного струму включена досить велика індуктивність L , і тому форма вихідного струму визначається тільки порядком перемикання ключів, а форма напруги залежить від характеру навантаження (див. рисунок 2.7).

Форма кривої струму передбачає можливість миттєвої зміни струму в ланцюзі навантаження, що неможливо, якщо навантаження інвертора носить індуктивний характер. Однак, якщо навантаження зашунтувати конденсатором досить великої ємності, то миттєва зміна струму виявляється можливою. Таким чином, загальне навантаження інвертора струму має ємнісний характер. При цьому конденсатор повинен компенсувати не тільки реактивну потужність навантаження, а й інвертора.

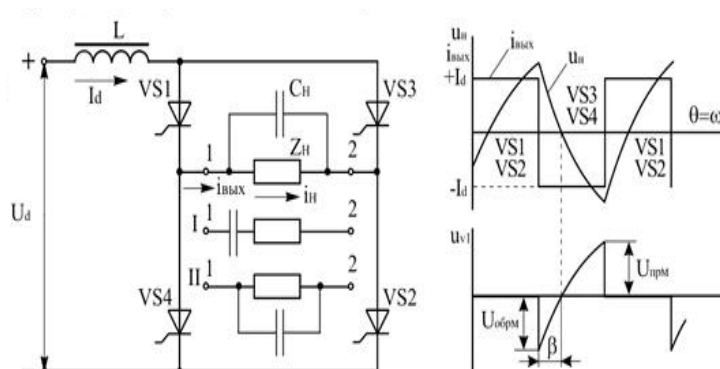


Рисунок 2.7 – АІС: а) варіанти схем підключення навантаження; б) часові діаграми

Для керування ключами в інверторах використовують широтно-імпульсну модуляцію ШІМ/PWM, принцип якої пояснює рисунок 2.8.

Метод широтно-імпульсного регулювання (ШІР) полягає у тому, що при сталому періоді надходження імпульсів змінюють їхню тривалість – ширину.

Більшість драйверів містять в одному корпусі два вихідних канали для управління верхнім і нижнім ключем перетворювача. Ці драйвери керують вхідними каналами незалежно, що може бути використано для одночасного відкриття обох ключів, або залежно – це має на увазі неможливість одночасного відкриття ключів (навіть на короткий період за рахунок вбудованої паузи між перемиканням ключів – так званий Dead-Time (DT)), що забезпечує принципову відсутність наскрізного струму через ключі.

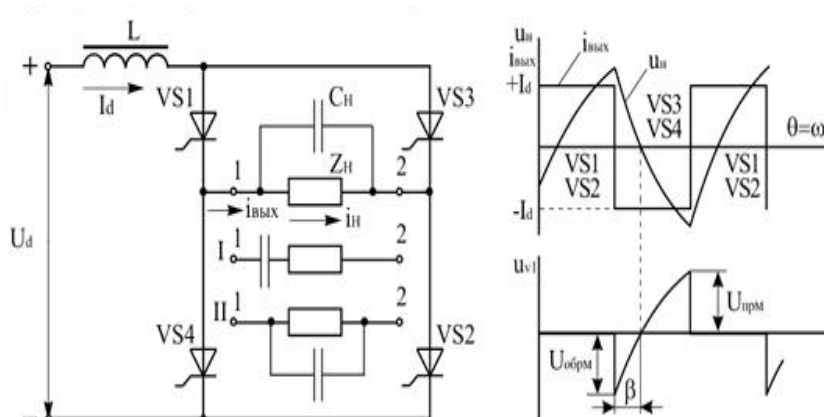


Рисунок 2.8 – ШІМ: а) структурна схема; б) часові діаграми

Частини інвертора, поодинокі ключі та інвертори різної фазності досить часто виробляються у вигляді модулів (інтелектуальних силових модулів/IPM).

Модуль може містити у собі окрім власне силового приладу (наприклад, MOSFET або IGBT) захисний зворотний діод. Він може являти собою півмостову схему з керованим силовим приладом і діодом, чи півмостову схему з двома керованими приладами (можливо також із захисними діодами), навіть повністю керовану мостову одно- чи трифазну схему тощо.

Важливо забезпечити, щоб два MOSFET на одному і тому ж напівмості ніколи не включалися одночасно, оскільки це може закортити джерело живлення так званим «наскрізним» струмом та зашкодити транзисторам. Ця умова називається «shoot-through», тобто скрізний струм і це є майже гарантованим способом швидкого руйнування мосту.

Мікросхема драйвера, як правило, містить логіку для запобігання виникнення цього стану. Він виводить сигнал PWM на затвор верхнього транзистора при відправці інвертованої версії сигналу в затвор нижнього транзистора із затримкою (мертвим часом/ dead time). Щоб бути впевненим, що прорив/shoot-through не відбувається під час перехідного процесу, він також додає «dead time», коли обидва сигнали низькі (приблизно 0.5 мкс).

Для варіації швидкості обертання двигуна, ключі управляються за допомогою PWM-сигналу, який має дві фази: «час включення/on-time» і «вимикання/off-time». Для зміни робочих параметрів моста використовується зміна відношення часу on-time та off-time. Режимми приводу різняться тим, як ключі встановлюються під час вмикання та вимикання.

До двигуна під'єднується тахогенератор та передає сигнал на реле для забезпечення зворотного зв'язку.

2.4 Характеристика асинхронного електродвигуна з фазним ротором

Основні частини асинхронного двигуна: статор (нерухома частина), ротор (рухома частина).

Статор складається ззапресованого в литу станину шихтованого магнітопроводу. Провідники обмотки укладаються в спеціальні пази на

внутрішній поверхні магнітопроводу. Три фази обмотки статора створюються провідниками багатовиткових м'яких котушок. Осі котушок зрушені в просторі по відношенню один до одного на 120° .

Схеми з'єднань: «зірка» або «трикутник». Вибір схеми визначається відповідно до напруги електромережі. У разі, якщо паспортна напруга живлення двигуна складає 220/380 В, фази комутують за схемою «зірка» при напрузі мережі 380 В. При 220 В обмотки комутують «трикутником». В кожному з варіантів фазна напруга становить 220 В.

Ротор трифазного АД – ценасаджений на вал циліндр, щовироблений з штампованих листів електротехнічної сталі.

Ротори трифазних АД, відповідно дорізнявиду обмотки поділяють на короткозамкнені і фазні.

Фазні ротори приміняються для покращення пускових і регулювальних характеристик в потужних АД та в машинах спеціального призначення малої потужності (рисунок 2.9). Трифазна обмотка ротора укладається таким чином, щоб геометричні осі фазних котушок (1), були зсунуті в просторі по відношенню одна до одної на 120° .

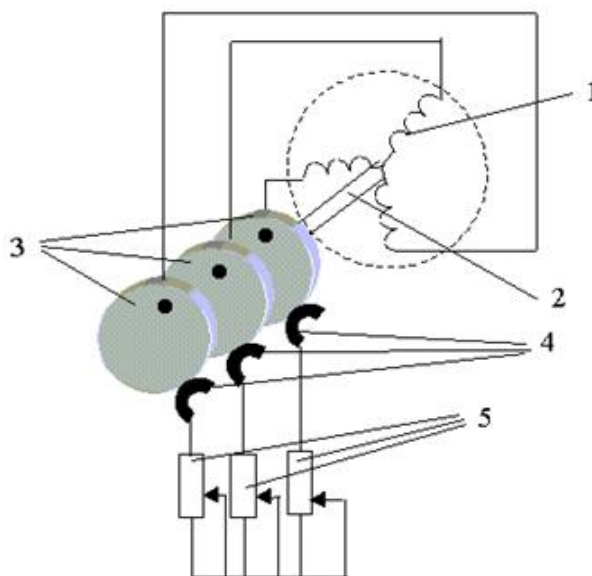


Рисунок 2.9 – Схематичне зображення устрою асинхронного двигуна з фазним ротором

Фази обмотки комутуються «зіркою», а кінці під'єднуються до трьох контактних кілець (3), насаджених на вал (2) і електрично ізольованих як від вала, так і один від одного. За допомогою щіток (4), що знаходяться в ковзному контакті з кільцями (3), є можливість включати в ланцюзі фазних обмоток регульовальні реостати (5).

2.4.1 Принцип роботи асинхронних електродвигунів

Принцип роботи полягає у використанні обертового магнітного поля. Кутова швидкість обертового магнітного поля визначається частотними характеристиками напруги живлення та кількістю пар полюсів обмотки p , тобто $\omega_1 = 2\pi f / p$.

При перетині полем провідників обмоток ротора та статора, полем індукується ЕРС обмоток (згідно з законом ЕМ індукції). Якщо обмотка ротора замкнута, то її ЕРС наводить струм в роторному ланцюзі.

Електромагнітний момент виникає через взаємодію результуючого магнітного поля і струму. Для того щоб вал двигуна розпочав обертання, необхідно щоб ЕМ момент перевершив момент опору на валу. Як правило, кутова швидкість ротора ω_2 і кутова швидкість магнітного поля ω_1 відрізняються, тому двигун і зветься – асинхронний.

Ковзання (s) – це відносна різниця кутових швидкостей поля ω_1 і ротора ω_2 , яка характеризує роботу двигуна:

$$s = (\omega_1 - \omega_2) / \omega_1. \quad (2.3)$$

Значення та знак ковзання визначають режим роботи АД, та залежать від кутової швидкості ротора відносно магнітного поля.

В залежності від ковзання, виділяють такі режими роботи:

- режим ідеального холостого ходу ($s = 1..0$). Ротор з магнітним полем крутяться з однаковою частотою і напрямом, при цьому ковзання $s = 0$, по відношенню до обертового магнітного поля ротор не рухається, не індукується і ЕРС в його обмотці, нульові струм ротора і ЕМ момент АД. Під

час старту ротор на початку нерухомий: $w_2 = 0$, $s = 1$. Взагалі, ковзання в режимі руху змінюється від $s = 1$ при старті до $s = 0$ під час холостого ходу;

- генераторний режим ($s = 0..-\infty$). В цей режим АД переходить коли ротор обертається зі швидкістю $w_2 > w_1$. Ковзання приймає від'ємне значення по відношенню до напрямку обертання магнітного поля. При цьому АД розвиває гальмівний момент;

- режим противовключення ($s = 1..+\infty$). Ротор обертається проти напрямку обертів магнітного поля ($s > 1$). При цьому також виникає гальмівний момент.

2.4.2 Пуск двигуна з фазним ротором

Пускові характеристики асинхронного двигуна обумовлені особливостями його конструкції, в тому числі конфігурацією ротора.

Стартування асинхронного двигуна (АД) відбувається з перехідним процесом машини, що пов'язаний з переходом ротора зі стану спокою в стан рівномірного обертання, при якому момент двигуна врівноважує момент сил опору на валу машини.

Під час старту АД підвищується споживання енергії з електромережі, що витрачається не тільки на компенсацію втрат в самому АД із додання гальмівного моменту, що прикладається до вала, але і на повідомлення рухомим ланкам технічного пристрою певної кінетичної енергії. Через це під час пуску АД змушений підвищувати крутний момент.

Для АД з фазним ротором початковий пусковий момент, відповідний ковзанню $s_n = 1$, залежить від активних опорів регулювальних резисторів, введених в ланцюг ротора.

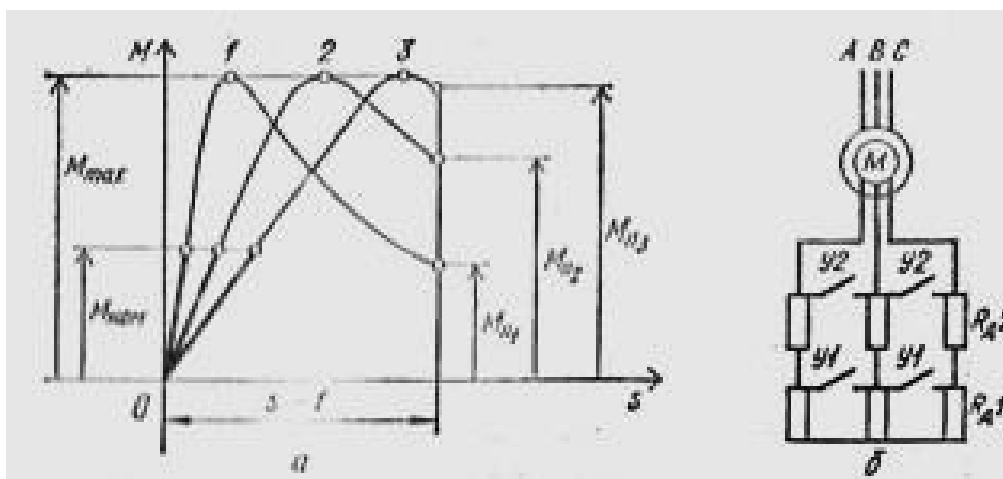


Рисунок 2.10 – Пуск трифазного асинхронного двигуна з фазним ротором:

- а - графіки залежності крутного моменту двигуна з фазним ротором від ковзання при різних активних опорах резисторів в ланцюзі ротора,
б - схема включення резисторів і замикаючих контактів прискорення в ланцюг ротора

Так, при замкнутих контактах прискорення Y_1 , Y_2 , тобто під час пуску асинхронного двигуна з замкнутими накоротко контактними кільцями, початковий пусковий момент $M_{П_1} = (0.5 \dots 1.0) M_{ном}$, а початковий пусковий струм $I_n = (4.5 \dots 7) I_{ном}$ і більш.

Малий початковий пусковий момент АД з фазним ротором може виявитися недостатнім для приведення в дію виробничого агрегату і подальшого його прискорення, а значний пусковий струм викличе підвищений нагрів обмоток двигуна, що обмежує частоту його включень, а в малопотужних мережах призводить до небажаного для роботи інших приймачів тимчасовому зниженню напруги. Ці обставини можуть стати причиною, яка виключає використання АД з фазним ротором з великим пусковим струмом для приводу робочих механізмів.

Введення в ланцюг ротора двигуна регульованих резисторів, званих пусковими, не тільки знижує початковий пусковий струм, але одночасно збільшує початковий пусковий момент, який може досягти максимального

моменту $M_{\max}$ (рисунок 2.10, а, крива 3), якщо критичне ковзання двигуна з фазним ротором

$$s_{кр} = (R_2' + R_o') / (X_1 + X_2') = 1, \quad (2.4)$$

де R_o' – активний опір резистора, що знаходиться в фазі обмотки ротора двигуна, приведений до фази обмотки статора. Подальше збільшення активного опору пускового резистора недоцільно, так як воно призводить до ослаблення початкового пускового моменту і виходу точки максимального моменту в область ковзання $s > 1$, що виключає можливість розгону ротора.

Необхідний активний опір резисторів для пуску двигуна з фазним ротором визначають, виходячи з вимог пуску, який може бути:

- легким, коли $M_n = (0.1 \dots 0.4) M_{ном}$
- нормальним, якщо $M_n = (0.5 \dots 0.75) M_{ном}$
- важким при $M_n \geq M_{ном}$.

Для підтримки досить великого крутного моменту двигуном з фазним ротором під час розгону технічного засобу зцілювання тривалості перехідного процесу і зниження тепловиділення двигуна потрібно поступово знижувати активний опір пускових резисторів. Допустима зміна моменту в процесі розгону $M(t)$ визначається електричними і механічними умовами, що лімітують пікову межу моменту $M > 0.85 M_{\max}$, момент перемикання $M_2 \approx M_c$ (рисунок 2.11), а також прискорення.

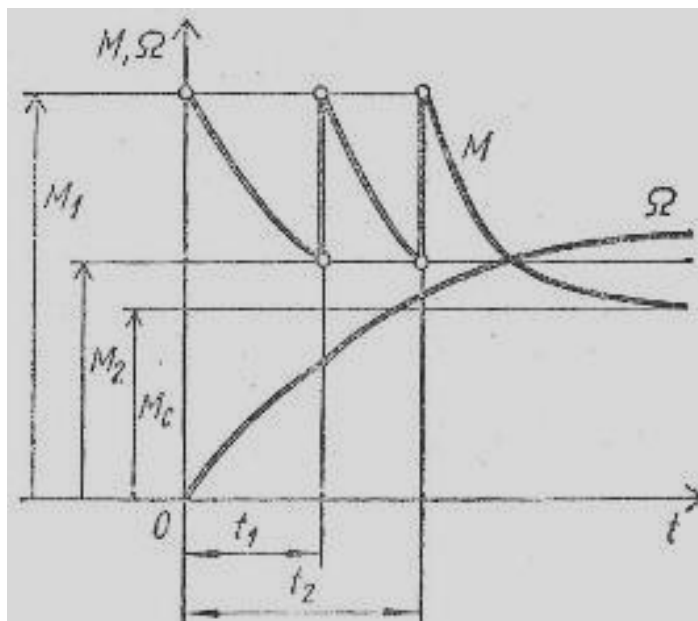


Рисунок 2.11 – Пускові характеристики трифазного АД з фазним ротором

Перемикання пускових резисторів забезпечено по черговим включенням контакторів прискорення Y_1 , Y_2 відповідно в моменти часу t_1 , t_2 відлічувані з моменту пуску двигуна, коли в процесі розгону крутний момент M стає рівним моменту перемикання M_2 . Завдяки цьому протягом всього пуску всі пікові моменти виходять однаковими і всі моменти перемикання рівні між собою.

Оскільки обертовий момент і струм АД з фазним ротором взаємно пов'язані, то можна при розгоні ротора встановити пікову межу струму $I_1 = (1.5 - 2.5) I_{ном}$ і струм перемикання I_2 , який повинен забезпечити момент перемикання $M_2 > M_c$.

Відключення АД з фазним ротором від мережі живлення завжди виконують при ланцюзі ротора, замкнутого накоротко, це необхідно для того, щоб не допустити появи перенапруження в фазах обмотки статора, яке може бути в 3-4 рази більшим, ніж номінальна напруга цих фаз, в тому разі, коли ланцюг ротора в момент відключення двигуна виявиться розімкнутим.

2.5 Програмне забезпечення EasySoft

Для розробки систем автоматизації на основі програмованих реле Easy виробник пристроїв пропонує досить зручну і практичну у використанні середу розробки Easy-Soft 7.

Програмне забезпечення дозволяє легко синтезувати релейно-контакторну схему використовуючи зручну графічну середу розробки.

При необхідності, можливо вибрати один з декількох типів відображення релейно-контакторних схем:

- контакти та котушки відображаються відповідно до стандартів МЭК;
- контакти та котушки відображаються відповідно до стандартів ГОСТ;
- контакти та котушки відображаються відповідно до стандарту ANSI.

Easy-Soft має в емулятор, що дозволяє зробити налагодження програми без підключення фізичного пристрою.

ПЗ easySoft 7 інтуїтивно зрозуміле і просте в освоєнні, тому програмування реле easyE4 не представляє складності для користувачів. Для роботи вони можуть вибрати одну з чотирьох мов програмування. Принципові схеми створюються за допомогою функціональних блоків, багатоступеневих схем, власної мови програмування Eaton (easy device programming, EDP) або з використанням мови структурованого тексту (ST). ST часто застосовується в автоматизації процесів і підтримує додаткові функції для вирішення більш складних завдань.

В EasySoft 7 присутній цілий ряд функціональних блоків, включаючи запис даних в журнал, мінімальні/максимальні значення, модуль аварійної сигналізації, триступеневий контролер і відправлення повідомлень по електронній пошті в разі виникнення неполадок в системі. Це розширює сферу можливого застосування реле з лінійки easyE4. Також користувачі зможуть створювати власні функціональні блоки.

2.6 Мови програмування

LD (Ladder Diagram) – графічна мова програмування, що базується на принципах релейно-контактних схем, з можливістю використання великої кількості різних функціональних блоків. Ця мова програмування орієнтована на фахівців з електроніки та електротехніки, тому представлення програми реалізовано у вигляді електричного потоку, в тілі програми використовуються виключно булеві вирази.

До елементів релейно-контактної логіки відносяться: контакти, обмотки реле, вертикальні і горизонтальні перемички та ін.

Схеми, реалізовані на даній мові, називаються багатоступінчатими. Вони являють собою набір горизонтальних ланцюгів, що нагадують сходинки сходів, що з'єднують вертикальні шини живлення.

FBD (Function Block Diagram) – графічна мова програмування високого рівня, в якій реалізується керування потоками всіх типів даних. Є можливість створювати багатокомпонентні алгоритми звичайним викликом функцій та функціональних блоків. Оптимальна для компактних програм, значно полегшує впровадження складних конструкцій на кшталт ПД-регуляторів, масивів тощо. В цій мові доступна чимала за обсягом бібліотека блоків. В FBD застосовуються позначення булевої алгебри, що мають входи і виходи, з можливістю з'єднання між собою. Особливістю FBD є те, що інформація подається в структурному вигляді.

ST (Structured Text) – текстова мова високого рівня загального призначення, по синтаксису схожа з мовою Pascal. Орієнтована для програм з числовим аналізом або багатокомпонентними алгоритмами. Застосовується як в програмах, так і в тілі функції або функціонального блоку, а також для опису дії і переходу всередині елементів SFC. Згідно ІЕС 61131-3 ключові слова повинні бути введені в символах верхнього регістру. Пробіли і мітки табуляції не впливають на синтаксис, вони можуть використовуватися всюди.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ

3.1 Дослідження двигунів в програмі ECAP

DC Motor Macro

.Parameters(La=1.5m,Ra=.5,Ke=.05,Kt=.05,Jm=250u,Bm=.1m,Tl=0)

.Help La "Electrical inductance of the motor"

.Help Ra "Electrical resistance of the motor"

.Help Ke "Back EMF electromotive force constant"

.Help Kt "Torque electromotive force constant"

.Help Jm "Moment of inertia of the motor"

.Help Bm "Viscous friction constant"

.Help Tl "Load torque"

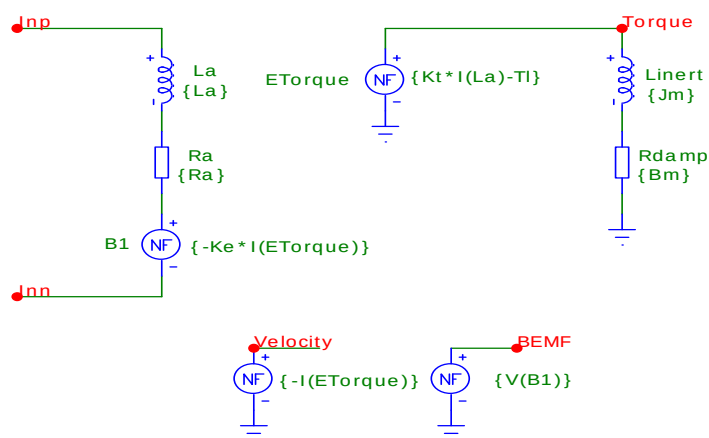


Рисунок 3.1 – Модель двигуна постійного струму(DC Motor)

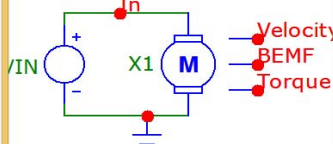
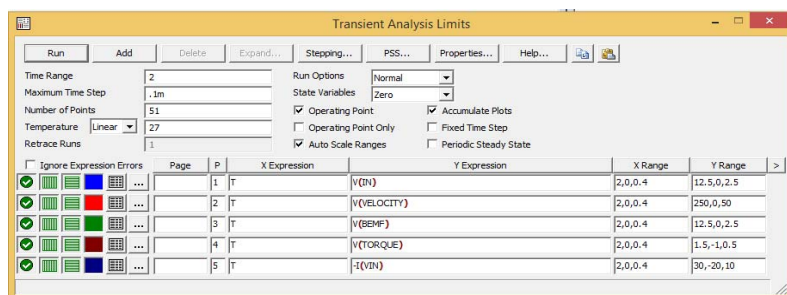


Рисунок 3.2 – Схема для дослідження ДПС (DC Motors) та завдання на аналіз

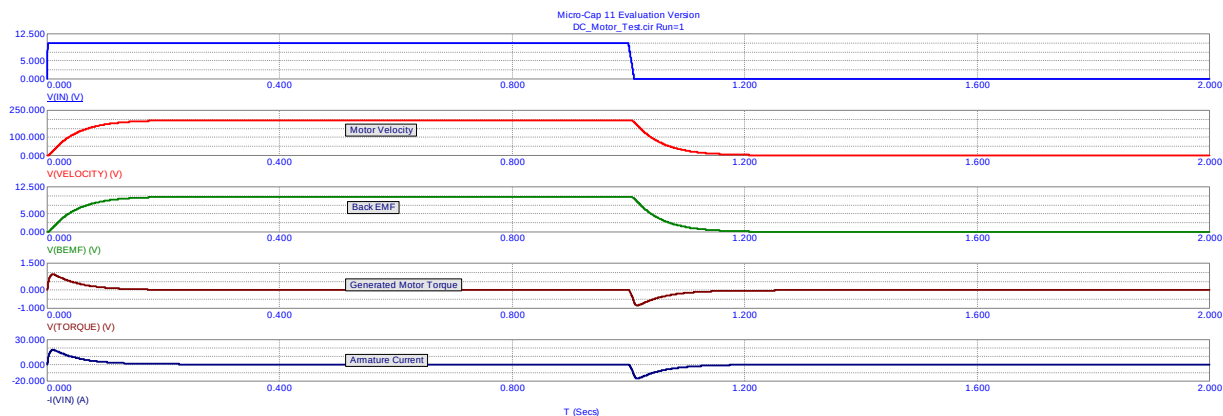


Рисунок 3.3 – Результати Transient-аналізу моделі DC Motors

AC Motor Macro

.PARAMETERS(NP=2, J=.62,K=.97,LS=29.4m,LR=29.7m,RS=67m,RR=32m)

.Help NP "Number of stator poles"
.Help J "Moment of Inertia"
.Help K "Mutual coupling coefficient"
.Help RS "Stator resistance"
.Help RR "Rotor resistance"
.Help LS "Stator Inductance"
.Help LR "Rotor Inductance"

Based on a design by Sohor and Kubov.
<http://valvolodin.narod.ru/articles/Induction3phMotor1.pdf>
The signs of BX and BY have been reversed from the article.

.DEFINE LR2 LR*1.5
.DEFINE RR2 RR*1.5
.DEFINE LM SQRT(LS*LR)*k
.DEFINE K0 LM/SQRT(LS*LR2)
.DEFINE S3 SQRT(3)

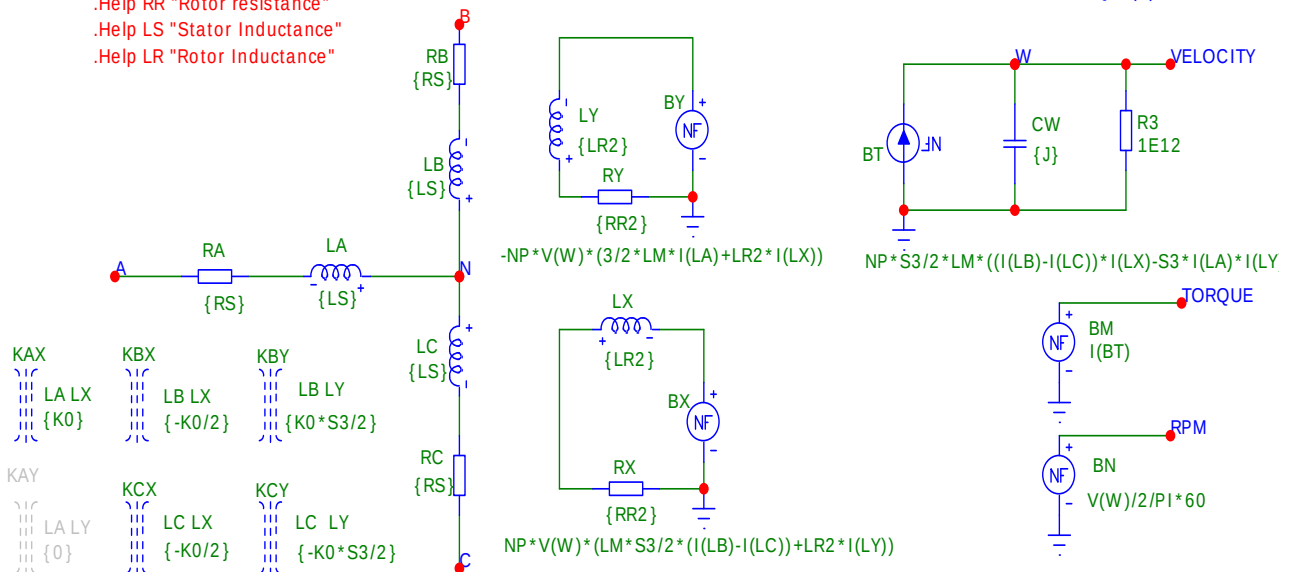


Рисунок 3.4 – Модель двигуна змінного струму (AC Motors)

AC Motor Run Transient analysis

.DEFINE A0 300
.DEFINE F0 50
.DEFINE W0 (2*PI*F0/2)
.DEFINE T0 60

THREE KINDS OF TORQUE LOAD

.define Torque0(x) {0} No load
.define Torque1(x) {x} Viscous friction load
.define Torque2(x) {sgn(x)*x*x} Square law friction load

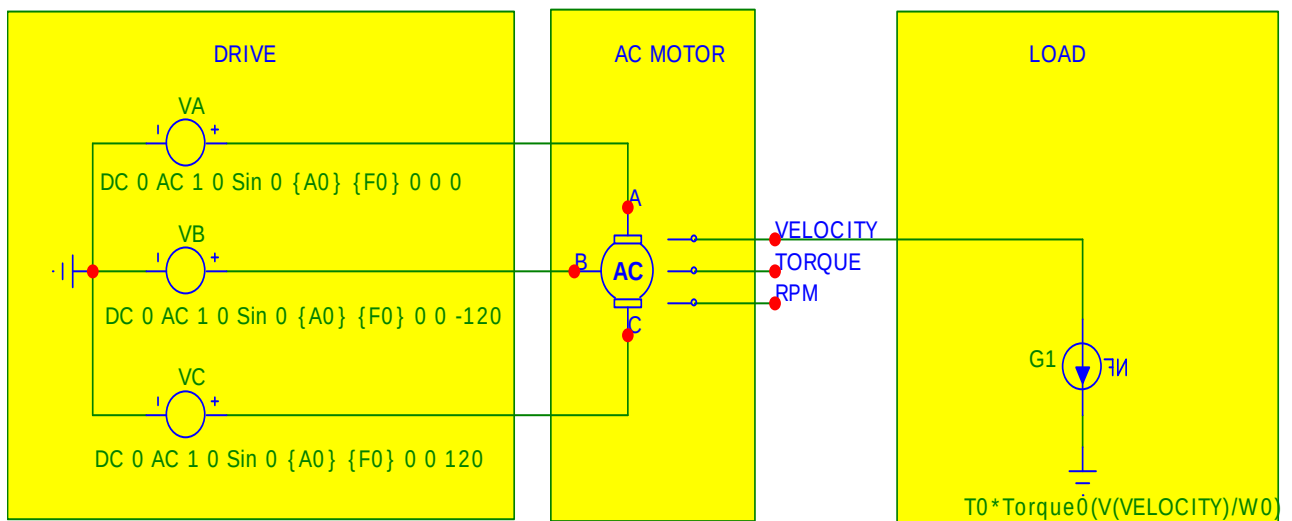


Рисунок 3.5 – Схема для дослідження характеристик двигуна змінного струму

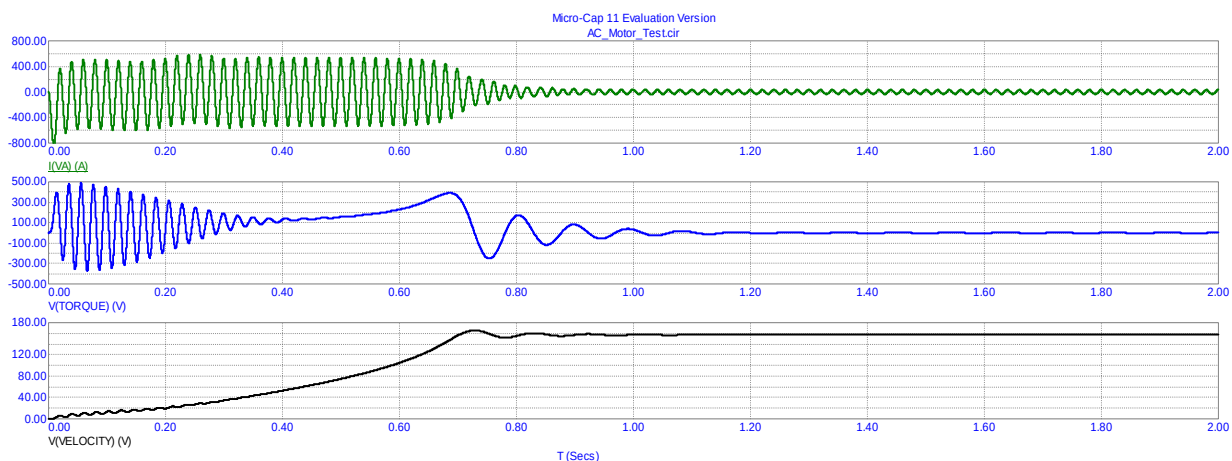


Рисунок 3.6 – Результати Transient-аналізу моделі AC Motors

3.2 Розробка алгоритму керування двигунами від реле

3.2.1 Програмна перекомутація трифазного асинхронного двигуна

Підключити обмотку статора трифазного асинхронного двигуна в мережу при схемі з'єднання фазних обмоток в «зірку». Після розгону двигуна протягом заданого часу переключити схему з'єднання обмотки на «трикутник».

Склад силової частини

На рисунку 3.7 приведена принципова електрична схема включення фазних обмоток статора двигуна.

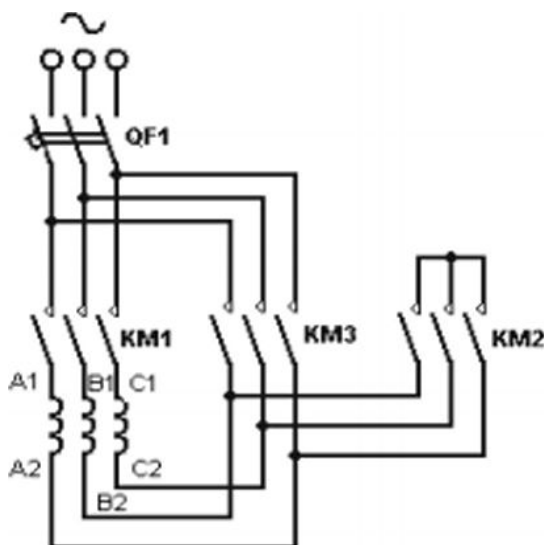


Рисунок 3.7 – Принципова електрична схема включення фазних обмоток статора двигуна приводу

Перед запуском двигуна вручну вмикається автоматичний вимикач QF1. Пуск двигуна при з'єднанні фазних обмоток по схемі «зірка» здійснюється одночасним включенням пускачів КМ1, КМ2 і замиканні їх контактів в ланцюгах обмоток. Для перемикавання на схему з'єднання «трикутник» повинен бути відключений пускач КМ2 і включений пускач КМ3. При цьому перемиканні пускач КМ1 свій стан не змінює і його контакти залишаються замкнутими.

Схема підключення

На рисунку 3.8 показано підключення до входів реле EASY кнопок управління підключенням обмоток статора двигуна до мережі SB1 і відключення від мережі SB2, а також підключення котушок пускачів КМ1-КМ3 до виходів реле.

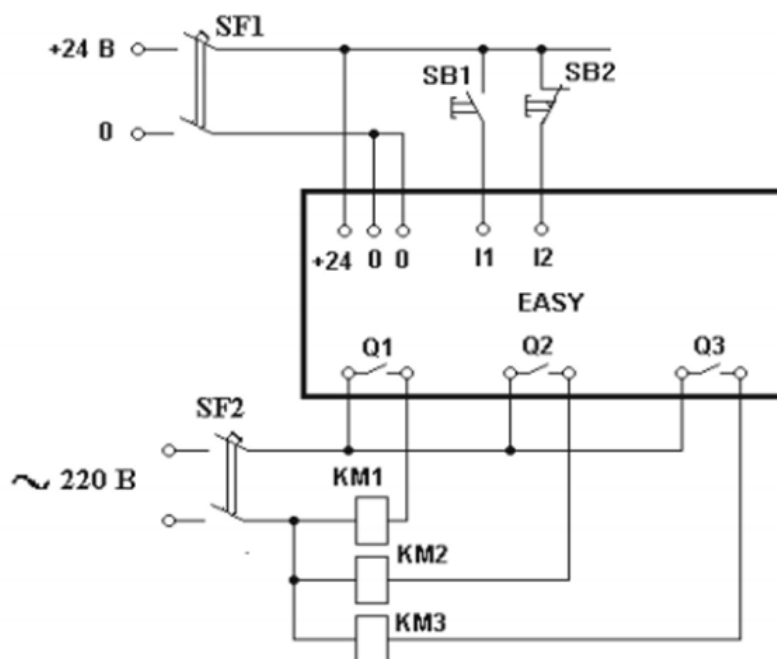


Рисунок 3.8 – Спрощена схема ланцюгів управління реле EASY

Перелік операндів реле EASY

Входи: I1 – пуск двигуна; I2 – відключення двигуна.

Виходи: Q1, Q2, Q3 – включення і відключення пускачів КМ1, КМ2, КМ3;

Реле часу: T01 визначає витримку часу від початку пуску до моменту перемикання з схеми «зірка» на схему «трикутник».

Програмування

В програмному забезпеченні EASY-SOFT в режимі розробки «Схема з'єднань» було зібрано схему (програму), що представлена на рисунку 3.9.

Для реле часу T01 встановлена витримка часу на замикання контакту на 3 секунди. Контакт I1 назначено замикаючим, I2 – розмикаючим без фіксації.

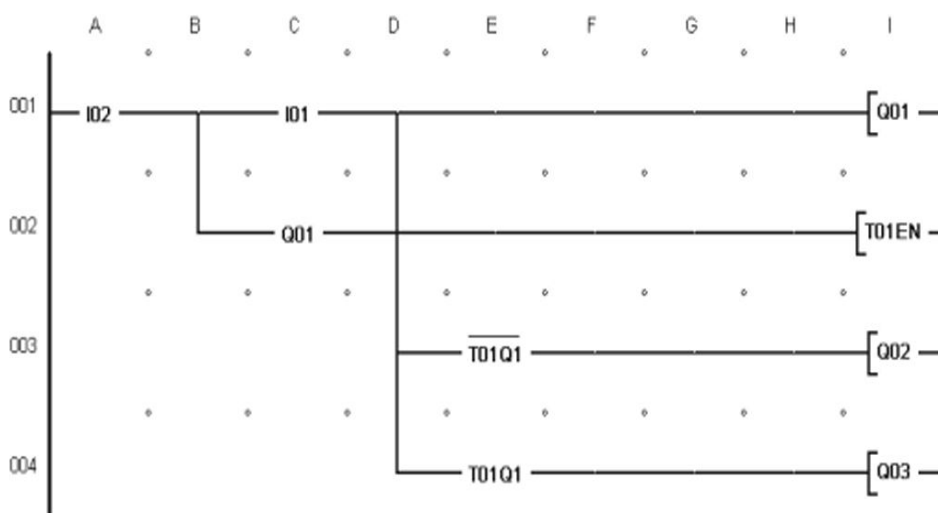


Рисунок 3.9 – Схема з'єднань

Алгоритм роботи програми:

- при натисканні кнопки SB1 на вході реле замикається контакт I01 в схемі з'єднань, він встановлює сигнал логічної «1» на виході Q1, що забезпечує включення пускача KM1;

- замикаючим контактом Q01 запускається реле часу T01;

- розмикаючий контакт $\overline{T01Q1}$ на початку процесу пуску замкнутий і забезпечує по виходу реле Q2 включення пускача KM2 при схемі з'єднання «трикутник»;

- після завершення витримки часу реле T01 $\overline{T01Q1}$ розмикається, а замикаючий T01Q1 замикається (рядок 4), забезпечуючи включення пускача KM3 і схеми з'єднання фазних обмоток двигуна в "трикутник".

3.2.2 Управління пуском і гальмуванням двигунів постійного і змінного струму в функції часу

Завдання управління

Здійснити автоматичне керування пуском асинхронного двигуна з фазним ротором та двигуна постійного струму незалежного збудження з послідовним шунтуванням двох ступенів додаткових опорів в ланцюзі ротора через задані інтервали часу. Для зупинки двигуна використовувати протягом заданого часу режим динамічного гальмування з одним ступенем додаткового опору.

Склад силової частини електроприводу

Принципова електрична схема включення двигунів постійного струму незалежного збудження і асинхронного двигуна з фазним ротором приведені відповідно на рисунку 3.10, *а*, *б*.

Перед запуском двигуна вручну вмикається автоматичний вимикач QF1. Пуск будь-якого з двигунів здійснюється включенням контактора КМ1. При цьому починається розгін двигуна з введеними в ланцюг обмотки ротора двома ступенями додаткового резистора: R1, R2. Через заданий час контактом контактора КМ2 шунтується перший ступінь додаткового резистора, а потім, також через заданий час, контактом контактора КМ3 шунтується другий ступінь R2. Для реалізації динамічного гальмування через розмикання контакту КМ1 обмотка якоря DC-двигуна (рисунок 3.10, *а*) відключається від мережі живлення постійного струму; обмотка статора асинхронного двигуна з фазним ротором відключається від AC-мережі (рисунок 3.10, *б*).

Контактом КМ4 обмотка якоря DC-двигуна замикається на додатковий резистор R3, а обмотка статора асинхронного двигуна з фазним ротором через додатковий резистор R3 підключається до мережі постійного струму. Через заданий інтервал часу контакт КМ4 розмикається, і режим гальмування закінчується.

Опори резисторів R1, R2, R3 регулюють початковий пусковий момент.

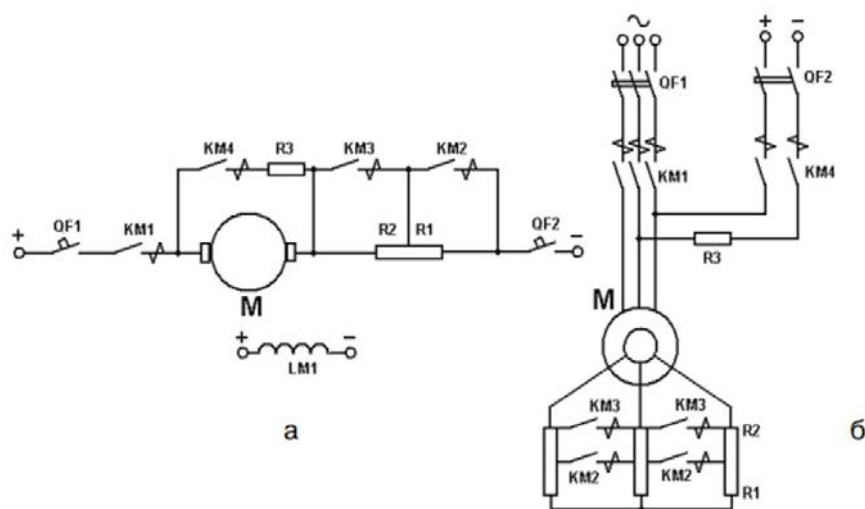


Рисунок 3.10 – Принципова електрична схема включення DC-двигунів незалежного збудження (а) і асинхронного двигуна з фазним ротором (б).

Схема підключення

На рисунку 3.11 показано підключення до входів реле EASY кнопок управління пуском SB1 і гальмуванням SB2, а також підключення котушок контакторів KM1-KM4 до виходів реле.

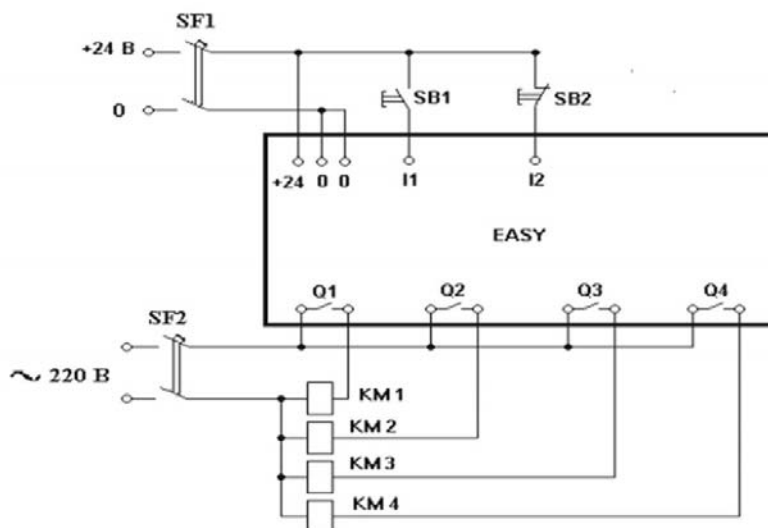


Рисунок 3.11 – Спрощена схема ланцюгів управління реле EASY

Перелік операндів реле EASY

Входи: I1 – контроль стану кнопки пуску двигуна; I2 – контроль стану кнопки гальмування двигуна;

Виходи: Q1- Q4 – включення і відключення контакторів KM1 – KM4;

Реле часу: T01, T02 визначають витримки часу при роботі двигуна з введеними в ланцюг обмотки ротора ступенями додаткового резистора, T03 – формує витримку часу при гальмуванні двигуна.

Програмування

В програмному забезпеченні EASY-SOFT в режимі розробки «Схема з'єднань» було зібрано схему (програму), що представлена на рисунку 3.12.

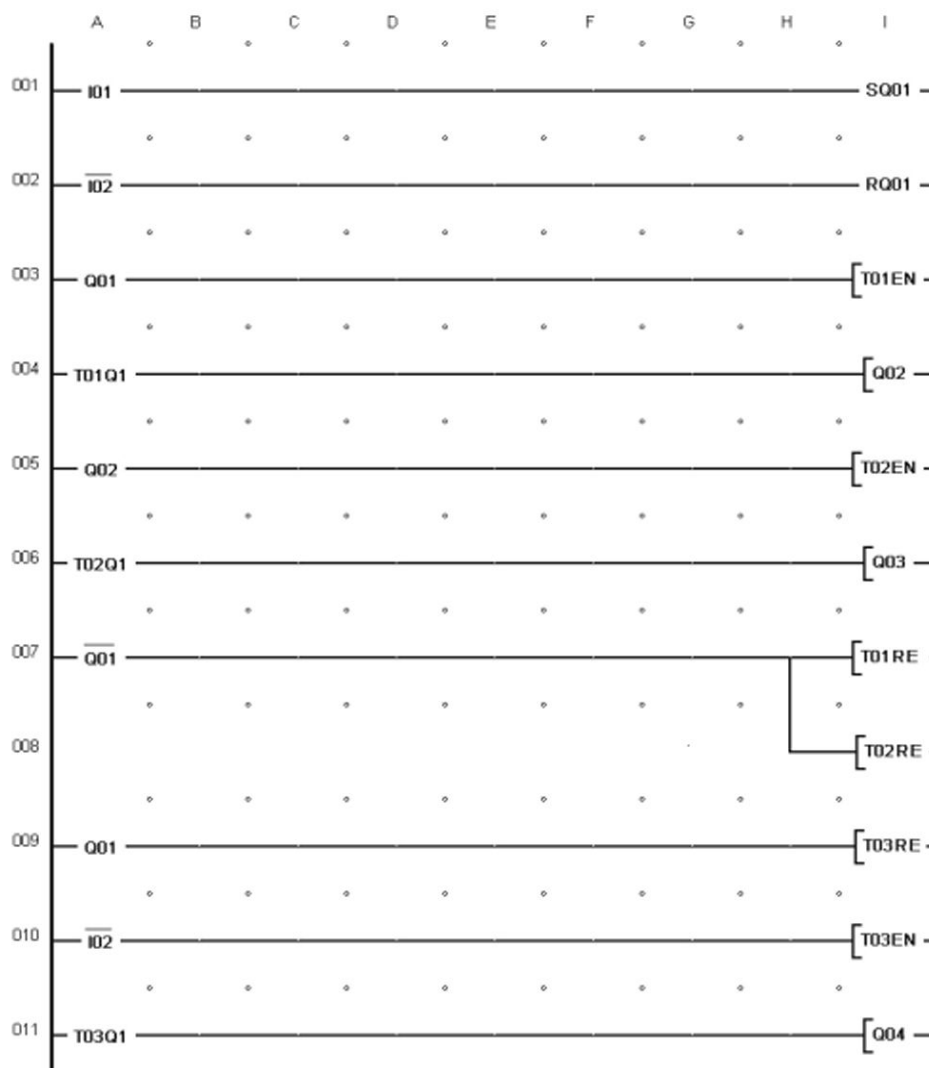


Рисунок 3.12 – Схема з'єднань

У реле T01 встановлено витримку часу на замикання контакту на 3 секунди, для реле T02 – 2 секунди. Реле T03 налаштоване на одиничний імпульс тривалістю 4 секунди. Контакт без фіксації I1 встановлено як замикаючий, а I2 як розмикаючий.

Перед програмуванням реле програма перевіряється за допомогою режиму «Імітація». В панелі властивостей відображається послідовність зміни станів виходів Q1 Q2, Q3, які відповідають включенню контакторів КМ1, КМ2, КМ3. Через режим «Комунікація» програма переноситься комп'ютера в програмоване реле.

Алгоритм роботи програми

1. Натискання кнопки SB1 призводить до замикання контакту I01 в схемі з'єднань та встановлення в одиничний стан котушки вихідного реле Q01 (рядок 1 схеми).

Це відповідає замиканню контакту Q1 (слайд 16), подачі напруги на котушку КМ1, включенню цього контактора і початку розгону двигуна.

2. Замикання контакту Q01 (рядок 3) запускає відлік витримки часу першого реле T01.

3. Після закінчення витримки часу замикається контакт T01Q1 (рядок 4), який забезпечує перехід в одиничний стан виходу Q2, тобто замикання цього контакту, включення контактора КМ2 і шунтування першого ступеня додаткового резистора.

4. Замикання контакту Q02 (рядок 5) запускає відлік витримки часу другого реле T02.

5. Після закінчення витримки часу замикається контакт T02Q1 (рядок 6), який забезпечує перехід в одиничний стан виходу Q3, тобто замикання цього контакту, включення контактора КМ3 і шунтування другого ступеня додаткового резистора.

6. Для переводу двигуна в режим гальмування натисканням кнопки SB2 замикають контакти I02 в схемі з'єднань.

7. Замикання контакту I02 в рядку 2 схеми призводить до установки в нульовий стан котушки вихідного реле Q01, тобто розмикання контакту Q1 і відключення контактора КМ1.

8. Замикання контакту I02 в рядку 10 схеми запускає реле часу T03, контакт T03Q1 якого замикається в 11-му рядку схеми та переводить в

одиничний стан вихід реле Q4, що забезпечує включення контактора КМ4. Після закінчення витримки часу контакт Т03Q1 розмикається і контактор КМ4 відключається.

9. Для скидання реле часу і підготовки схеми до нового циклу роботи використовуються контакти Q01 в рядках 7-9 схеми.

3.3 Тестування мехатронної системи

Натисканням кнопки SB1 реле переводиться в режим RUN, після чого спостерігається послідовність включення контакторів.

За приладами, встановленими на стенді, фіксуються значення кутової швидкості і струму ротора двигуна, при яких відбувається перемикання ступенів додаткового резистора.

При натисканні кнопки SB2 спостерігається процес гальмування двигуна. При цьому фіксується по приладу значення кутової швидкості в момент відключення контактора КМ4. Для забезпечення однакових значень струму під час перемикання ступенів, на передній панелі реле вручну, за допомогою кнопок, проведено додаткову настройку витримок часу реле часу Т01, Т02.

Для відключення контактора КМ4 при повній зупинці двигуна виконано додаткове налаштування витримки часу реле Т03. Після редагування параметрів реле часу повторено процедуру старту і гальмування двигуна.

Висновки

Перевагами управління пуском, гальмуванням і реверсом за принципом часу є зразкова сталість часу пуску, гальмування і реверсу навіть при значних змінах M_c , моменту інерції, напруг мережі живлення, температури котушок електромагнітних реле часу і пускових опорів, а також простота і надійність.

Недолік такого управління: значне зростання поштовхів пускового струму, моменту при відповідному збільшенні статичного моменту і моменту інерції на валу двигуна.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Тема дипломної роботи «Аналіз експлуатаційних якостей інтелектуальних реле при керуванні електродвигунами». В роботі здійснюється дослідження автоматизованого електроприводу, з метою вибору оптимального апаратного забезпечення (пристрою управління та електродвигуна) для автоматичної системи захисту приміщення.

Не дивлячись на те, що в сучасному світі відбувається тотальна цифровізація і автоматизація процесів, як промислових, так і побутових, все ще залишаються практично порожні, ніким не зайняті ніші.

Одна з таких ніш лежить на перетині сфер діяльності правоохоронних органів, охоронних і будівельних організацій, розробників мехатронних засобів автоматизації.

Активно приміняються громадянами такі заходи безпеки, як відеоспостереження, сигналізація, пультава охорона. Але статистика така: за даними звітів національної поліції за 2019 рік, від усіх скоєних злочинів, крадіжки з приватних домогосподарств складають 9,5 %, а розбійні напади на людей в приміщенні (на їх території) – 5,0 %, в 53 % випадках такі незаконні дії залишаються безкарними, оскільки злочини скоюються швидко, і представники правопорядку просто не встигають прибути в потрібне місце, і в потрібний час.

Виходячи з цього, можна зробити висновок, що існуючі методи по забезпеченню особистої безпеки, які доступні цивільним особам на сьогоднішній день, недостатньо ефективні.

Було б доцільно розробити таку систему захисту приватної власності, застосування якої в значній мірі ускладнить, або унеможливить, проникнення сторонньої особи до захищеного об'єкту.

Таку систему захисту можна визначити як мехатронну систему автоматичного блокування приміщення (МСАБП), націлену на забезпечення захисту від небажаного проникнення сторонніх осіб на територію приватної власності.

Основна функція системи полягає в тому, щоб при загрозі, пов'язаній зі спробою умовного зловмисника потрапити в приміщення, заблокувати дверний прохід в приміщення. Повинно бути передбачено 3 можливі варіанти управління блокуванням (в залежності від обставин):

- автоматизований;
- віддалений доступ;
- ручний.

Автоматизований режим керування здійснюється програмованим інтелектуальним реле, віддалений – через мобільний додаток, ручний (для екстрених випадків) – влаштовується відповідно до потреб користувача, та параметрів приміщення.

При автоматизованому керуванні роботу систему можна налаштувати двома способами:

система блокує вхід, як тільки розпізнає спробу зломщика проникнути всередину;

режим «пастки», при якому злочинець проникає в приміщення, система вичікує оптимальний момент, і заблоковує вихід.

Ефективна і безпечна робота в режимі пастки потребує особливих організаційно-технологічних заходів щодо оснащення приміщення, його планування.

Необхідно організувати буферну область між входом та основною (житловою, або робочою) частиною приміщення, оскільки в буферній зоні буде утримуватись зловмисник, в ній не рекомендується зберігання цінних речей, ручних та електроінструментів. Стіни буферної зони повинні бути міцними, не допускається монтаж блокуючого механізму на стіни з газо- і піно блоку.

При спрацюванні системи захисту в буферній зоні повинні блокуватись 2 проходи: вихід назовні та прохід до житлової (або робочої) частини приміщення. Монтаж системи має бути скритим, органи управління повинні знаходитися за межами буферної зони.

Під час утримання зловмисника буде включено аудіо повідомлення в якому пояснюється що відбувається, що за ним вже їде поліція і ведеться відеоспостереження, зачитуються порушені статті закону.

Обидва варіанти функціонування системи передбачують:

- наявність пристрою ідентифікації (скритого монтажу) на вході до охороняемого об'єкту;
- автоматичне сповіщення власника та приватної охоронної організації (або поліції) про вторгнення у разі спрацювання системи;
- відеореєстрацію та звукозапис.

Таблиця 4.1 – Оцінка витрат на тестову комплектацію МСАБП з фірмовим електроприводом

Функціональний блок	Маркування	К-ть	Ціна, грн	Сума, грн	Питома вага, %
Блок живлення	MEAN WELL HDR-100-24N	1	700,00	700,00	2,4
GSM-модуль	OKO-S2	1	882,00	882,00	3
Електропривод в збірці з пристроєм управління	Tormax WinDrive 2201	1	16500,00	16500,00	55,9
ІЧ-датчик	HC-SR505	5	116,00	580,00	2
Відеореєстратор	GLOBEX GE- 112W	1	800,00	800,00	2,7
Блокувальна металоконструкція	-	1	2950,00	2950,00	10
Автоматичний вимикач	ETI ETIMAT 10 C4 2p	1	593,45	593,45	2
Ремінь полікліновий	PL 3696	1	760,00	760,00	2,5
Рельсова напрямляюча	Hiwin	2	1521,62	3043,24	10,3
Каретка	Hiwin	2	1328,61	2657,22	9
Кнопка	XB2-EH135	3	21,00	63,00	0,2
Підсумкова вартість:				29528,91	100

Очевидно, що готовий фірмовий електропривод занадто дорогий, його вартість складає 55,9% від загальної вартості системи. Отже, виникає необхідність пошуку альтернативних рішень і дослідження характеристик окремо взятих електродвигунів, та їх роботи під керуванням відносно дешевих, надійних та функціональних інтелектуальних реле.

Таблиця 4.2 – Практичні результати отримані в рамках дослідження

Проведені роботи	Результат
Моделювання роботи електроприводу в програмному забезпеченні Мікро-Сар	Отримано дані про енергетичні характеристики деяких типів електродвигунів, що дає змогу підібрати оптимальний варіант для МСАБП
Тестування роботи двигунів під управлінням інтелектуального реле	Отримано експериментальне підтвердження енергетичної та функціональної сумісності реле та електроприводу, що дає «зелене світло» для подальшої розробки МСАБП

Перспективним рішенням є симбіоз інтелектуального реле фірми EATON EASY E4 UC-12RC1 в якості пристрою управління та асинхронного електродвигуна з фазним ротором АИР71В4 в якості електромеханічного перетворювача.

Таблиця 4.3 – Оцінка витрат на тестову комплектацію МСАБП з власноруч сконфігурованим електроприводом

Функціональний блок	Маркування	К-ть	Ціна, грн	Сума, грн	Питома вага, %
Пристрій управління	EATON EASY E4 UC-12RC1	1	5907,72	5907,72	27,8
Блок живлення	MEAN WELL HDR-100-24N	1	700,00	700,00	3,3
GSM-модуль	OKO-S2	1	882,00	882,00	4,1
Електродвигун	АИР71В4	1	1710,00	1710,00	8,1
ІЧ-датчик	HC-SR505	5	116,00	580,00	2,7
Відеореєстратор	GLOBEX GE-112W	1	800,00	800,00	3,8
Блокувальна металоконструкція	-	1	2950,00	2950,00	13,9
Автоматичний вимикач	ETI ETIMAT 10 C4 2p	1	593,45	593,45	2,8
Ремінь полікліновий	PL 3696	1	760,00	760,00	3,6
Рельсова напрямляюча	Hiwin	2	1521,62	3043,24	14,3

Каретка	Hiwin	2	1328,61	2657,22	12,5
Кнопка	XB2-EN135	3	21,00	63,00	0,3
Бокс монтажний	ЩЭн-36з IP 31	1	584,00	584,00	2,8
Підсумкова вартість:				21230,63	100

Розрахунок демонструє зниження підсумкової вартості системи захисту на 8298,28 гривень, та показує доцільність проведеного в роботі аналізу.

Таблиця 4.4 – Опис ідеї

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувачів
Визначення оптимальної конфігурації електроприводу для МСАБП. Пропонується новий підхід до організації охоронних систем і засобів. Новітність концепції полягає в захисті об'єкту за рахунок фізичного блокування входів в приміщення, що реалізується завдяки електроприводу в складі МСАБП.	1. Забезпечення схоронності приватної власності	Збереження матеріальних цінностей від викрадання
	2. Забезпечення високого рівню захищеності об'єктів від небажаного проникнення сторонніх осіб	Захищеність приватної власності від дій зловмисників, особиста захищеність на території об'єкту
	3. Допомога правоохоронним органам в пошуку та пійманні грабіжників, автоматичне затримання правопорушника	Запобігання подальшій злочинній діяльності спійманого суб'єкта, гарантоване притягнення злочинця до відповідальності перед законом

Таблиця 4.5 – Попередня характеристика потенційного ринку

№	Показники стану ринку	Характеристика
1	Головні конкуренти	SICK: займаються індивідуальною розробкою засобів автоматизації, мають великий досвід роботи в цій сфері, високий рівень технологічного забезпечення виробництва
		фірми-виробники броньованих дверей
2	Динаміка ринку	зростає

3	Наявність обмежень для входу	Інвестиції, лояльність покупців, ефект масштабу
4	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ASIS PSC.1-2012, 2006/42/EC

Таблиця 4.6 – Попередня характеристика потенційних клієнтів

№	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів (користувачів)
1	Потреба підвищення ефективності охоронних засобів	Охоронні бюро	Поставки клієнтам (кінцевим користувачам)	Інтеграція з наявними технологіями
2	Потреба в підвищенні особистої захищеності	Громадяни віком від 18	Через технологічну складність монтажу системи, потребують послуг відповідних спеціалістів	Високі ергономічні показники, сумісність з інтер'єром, компактність
3	Потреба ліквідування підвищеної загрози пограбувань в новобудовах	Будівельні компанії	Передпродажна установка в житлових об'єктах (новобудовах)	Технологічність, надійність

Таблиця 4.7– Вибір цільових груп потенційних споживачів

№	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приватні охоронні фірми	Готові	Високий	Не інтенсивна	Просто
2	Будівельні компанії	Готові	Середній	Не інтенсивна	Середньо

3	Приватні підприємці	Готові	Високий	Помірна	Просто
4	Громадяни	Не готові	Середній	Висока	Середньо
Цільові групи: приватні охоронні фірми, будівельні компанії, приватні підприємці, усі громадяни, що не байдужі до власної безпеки					

Таблиця 4.8 –SWOT-аналіз

Сильні сторони	Слабкі сторони
- Комплексний захист приміщення - Багатофункціональність - Швидкий механізм блокування - Унікальність та надійність - Гнучкість роботи - Антивандальні заходи - Маскування наявності системи - Автоматичне оповіщення власника та охоронної служби - Сприяння боротьбі зі злочинцями	- Складність в реалізації - Необхідність долучення до розробки та впровадження спеціалістів з різних сфер діяльності - Особливі вимоги до приміщення - Впровадження системи повинно виконуватись під час забудови будівки, або під час проведення капітального ремонту, після виконання демонтажних робіт
Можливості	Загрози
- Співпраця з охоронними конторами, будівельними компаніями, поліцією - Удосконалення системи по мірі розвитку технологій, які в ній застосовані - Конструктивне урізноманітнювання - Розширення цільової аудиторії	- Законодавчі протиріччя - Непередбачуваність реакції правоохоронців на такі заходи - Через несвідомість середньостатистичного громадянина в питаннях безпеки, можливі ускладнення з входом на ринок, низький попит



Рисунок 4.1 – Карта стейкхолдерів

Аналіз ризиків і шляхів їх упередження та мінімізації

Законодавчі протиріччя. Оскільки це інноваційна концепція, корисна та ефективна, але дуже специфічна, тому необхідно детально вивчити питання правового регулювання задля узгодження з нормами чинного законодавства України. Для цього необхідно отримати консультацію фахівців з правових питань.

Для уникнення непорозумінь з правоохоронцями, будуть проведені консультації з представниками поліції, керівниками приватних охоронних фірм, підведення нормативно-правової бази.

Несвідомість громадян з питань безпеки. Більшість громадян необґрунтовано вважає, що їм нічого не загрожує. Їм на думку не приходить, що особиста безпека – це результат цілого комплексу організаційно-технічних заходів і засобів. Нажаль, таке ставлення до безпеки може зберігатися, навіть після безпосередньої участі в небезпечній ситуації. Отже необхідно діяти і в інформаційному полі, з залученням ЗМІ, проведенням семінарів, відкритих конференцій, громадських виступів, направлених на підвищення інформованості населення.

Висновки

Концепція має великі перспективи на ринку охоронних послуг. Здійснення входу на ринок та реалізація розробки передбачається за допомогою приватних охоронних фірм. В теорії можлива взаємодія з будівельними компаніями, оскільки найвищий ризик пограбувань притаманний саме новобудовам, що зумовлює зростання попиту на охоронні системи серед покупців квартир. Більш того, забудовник має змогу спроектувати будівлю таким чином, щоб інтегрування МСАБП у приміщення було максимально зручним і компактним.

Виявлено таких конкурентів: фірма SICK, що займається індивідуальними розробками; фірми виробники броньованих дверей, які можуть бути сприйняті споживачами виробом з аналогічним функціоналом.

Знайдено спосіб знизити вартість МСАБП. При використанні в складі МСАБП електроприводу власної збірки, вартість тестового варіанту знижується з 29528,91 грн до 21230,63 грн, що позитивно позначиться на конкурентоспроможності продукту.

Проаналізовано ризики, та продумано стратегії їх подолання.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Тема дипломної роботи «Аналіз експлуатаційних якостей інтелектуальних реле при керуванні електродвигунами», що включає в себе дослідження енергетичних характеристик електродвигунів шляхом моделювання на комп'ютері.

5.1 Аналіз потенційних небезпек

Автоматизовані об'єкти передбачають наявність рухомих машин і механізмів, рухливих частин керуємого приладдя (технічного обладнання), переміщення виробів, заготовок, матеріалів, що підвищує ризик механічного травмування людини. Встановлено, що найбільш травмонебезпечною ситуацією є прямий контакт людини з машиною, коли людина виконує такі операції, як перепрограмування, налагодження, ремонт, установку, зняття інструменту, монтаж, змащення або чистку, виявлення причин і усунення несправностей.

Робота силових електроприладів передбачає процес тепловиділення при протіканні струмів в системі (в силових ключах інвертора, обмотках електродвигунів, перетворювачів напруги живлення), що призводить до розігріву поверхонь обладнання і підвищення температури повітря навколо нього. Якщо людина ігнорує цей факт, і не дотримується техніки безпеки то є великий ризик отримати термічні опіки.

В електрообладнанні ймовірно виникнення коротких замикань, в тому числі на корпус устаткування, що може призвести до поразки струмом. Також може спостерігатися підвищений рівень статичної електрики, електромагнітного випромінювання, напруженості електричного і магнітного полів.

Потенційні небезпеки санітарно-гігієнічного характеру пов'язані з порушеннями допустимих рівнів електромагнітних полів, шуму та вібрації.

Підвищений рівень шуму і вібрації виникає при роботі електродвигунів і механізованих об'єктів.

Підвищений рівень інфразвукових коливань генерується різноманітним обладнанням при коливаннях поверхонь великих розмірів, при ударному збудженні конструкцій, обертальному та зворотно-поступальному русі масивних об'єктів.

Підвищений рівень ультразвуку виникає через те, що в силовому електрообладнанні застосовуються такі радіоелектронні компоненти як дроселі. Під час роботи під навантаженням в їх магнітопроводі виникає магнітострикційний ефект. Тобто під впливом змінного магнітного поля матеріал сердечника періодично стискається і розтягується, і ці вібрації передаються на корпус конструкції, а також в повітря, що і є джерелом ВЧ-коливань. Такі ефекти присутні навіть в деяких блоках живлення персональних комп'ютерів.

Що стосується потенційно небезпечних факторів хімічного характеру, то техпроцесом автоматизації електроприводу не передбачена робота з хімічними речовинами, але в процесі роботи і розігріві обмоток електродвигунів можливе попадання в повітря випаровуваних частинок матеріалу ізоляційного покриття мідного дроту, що гіпотетично може мати токсичний, подразнюючий, канцерогенний вплив на організм.

Потенційно небезпечним і шкідливим фактором біологічного характеру можна вважати різноманітне електрообладнання, воно досить часто стає середовищем проживання таких істот, як руді таргани (прусаки), які являються розповсюджувачами деяких захворювань, особливо гастроентериту, діареї, дизентерії і т.д. Велика кількість зруйнованих хітинових покривів, що залишаються тарганами при линьки, в деяких випадках призводить до виникнення у людей алергічних реакцій. До речі, саме виявлення в устаткуванні тарганів та результатів їх життєдіяльності здатне викликати стрес

у людини зі слабкими нервами, що можна віднести до шкідливих факторів психофізіологічного характеру.

В процесі розробки і впровадження систем автоматизації можна зіткнутися з такими психофізіологічно небезпечними і шкідливими факторами, як фізичні перевантаження (статичні і динамічні), нервово-психічні перевантаження. Етапи проектування і розробки передбачають розумове перенапруження, емоційні перевантаження. Впровадження системи та монтаж обладнання супроводжується фізичними навантаженнями, окремі операції являються монотонними (наприклад механічне зачищення проводів від ізоляції).

При програмуванні пристроїв управління, в більшості випадків, використовують персональні комп'ютери з візуальними дисплейними терміналами (далі ПК з ВДТ). Якщо при цьому не дотримані вимоги директиви ЕС 90/270 ЕЕС розділу «Мінімальні вимоги з охорони праці», то така невідповідність може зашкодити органам зору оператора (інженера-розробника).

В електронному обладнанні (засобах автоматизації, обчислювальній техніці, силових перетворювачах) по різних причинах може виникнути коротке замикання. Коротким замиканням називається такий аварійний режим в електроустановках, при якому відбувається з'єднання різнойменних проводів, що знаходяться під напругою, через дуже маленький опір, не передбачений режимом роботи даного обладнання. При протіканні великих струмів відбувається виділення значної кількості теплової енергії, яка здатна підпалити електронну плату, проплавити корпус, і може призвести до пожежі.

5.2 Заходи по забезпеченню техніки безпеки

Запобіжні заходи від травмування людей рухомими частинами обладнання і механізмами

Організаційні заходи:

- обмеження допуску. До устаткування допускати тільки тих, хто має відповідні навички роботи і кваліфікацію;

- просторовий (або тимчасовий) поділ робочої зони, де знаходиться людина в процесі діяльності, і простору, в якому постійно або періодично виникають небезпеки;

- адаптація людини і підвищення її захищеності (навчання, використання засобів індивідуального захисту, професійний відбір і т.п.);

- продумане і ергономічне розміщення автоматизованих електромеханічних пристроїв на території підприємства.

До технічних заходів відноситься використання систем дистанційного керування або пристроїв, які автоматично вимикають джерела енергії або зупиняють рух виконавчих механізмів і інших елементів при появі людини в межах робочої зони.

Установка пристроїв, що забезпечують отримання і передачу на пульт управління інформації:

- про режим роботи;
- про спрацювання блокувань автоматизованого обладнання (АО);
- про наявність збою в роботі АО;
- про початок руху виконавчих пристроїв і готовності до руху при виконанні керуючої програми.

Для попередження отримання опіків від устаткування з розігрітими поверхнями передбачаються такі організаційні заходи як інструктаж, розмежування зон механічними огорожами, супровід устаткування інформаційними листами або плакатами, захист часом.

До технічних заходів попередження отримання опіків відносяться: установка датчиків температури і виведенням інформації про температуру обладнання, використання засобів відведення тепла, примусового охолодження, засоби механічної вентиляції приміщення, кондиціонування, застосування засобів індивідуального захисту, впровадження засобів дистанційного керування.

Організаційні заходи забезпечення електробезпеки включають в себе:

- вимоги до персоналу (вік, медичний огляд, навчання, перевірка знань);
- призначення осіб, відповідальних за організацію і проведення робіт;
- оформлення наряду (розпорядження) на проведення робіт;
- здійснення допуску до проведення робіт;
- організацію нагляду за проведенням робіт.

Технічні заходи з електробезпеки

Застосування ізолюючих захисних засобів (основних і додаткових), які служать для ізоляції людини від частин електрообладнання або проводів мережі, що знаходяться під напругою, а також для ізоляції людини від землі.

До основних засобів відносяться такі засоби, ізоляція яких надійно витримує робочу напругу електроустановок і за допомогою яких допускаються роботи в електроустановках під напругою і ізолюють головним чином руки працюючих від струмоведучих частин або частин, які опинилися під напругою. Основними засобами захисту є електричні рукавички, інструмент з ізольованими рукоятками, покажчики напруги (струмошукачі) і ін.

До додатковим захисним ізолюючим засобів відносяться засоби, які самі по собі не можуть забезпечити електробезпеку і лише доповнюють захисну роль основних ізолюючих засобів, ізолюючи ноги працюючих від землі (діелектричні калоші, діелектричні гумові килимки, ізолюючі підставки і т.п.).

Основні ізолюючі засоби повинні застосовуватися спільно з додатковими. У цьому випадку опір в ланцюзі тіла людини різко збільшується, знижуючи небезпеку електроураження.

При роботах на відключеному устаткуванні щоб уникнути електропоразки при помилковому поданню на нього напруги або появи наведеної напруги застосовуються тимчасові переносні заземлення і закоротки.

Попереджувальні плакати служать для попередження оточуючих про небезпеку, нагадування про вжиті заходи безпеки, заборони подачі напруги і т.п.

Для захисту від ураження електричним струмом при експлуатації різного технологічного устаткування, що використовує електричну енергію, застосовується ряд технічних методів (способів):

- застосування малих напруг для електроживлення технічних установок, обладнання і ручного інструменту;
- електричний поділ мереж;
- захисне заземлення, занулення;
- пристрою захисного відключення (УЗВ) і ін

5.3 Заходи з виробничої санітарії та гігієни праці

Вимоги до мікроклімату

Мікрокліматичні умови за рівнем теплового впливу на організм людини можуть бути оптимальними та допустимими.

Для виконання робіт, що передбачують роботу з ПЕОМ, пультами дистанційного керування автоматизованими механізмами, які призводять до нервово-емоційного напруження являються оптимальними такі умови мікроклімату, при яких температура повітря лежить в діапазоні від 22 до 24°C, відносна вологість встановлена в межах 60-40%, швидкість руху повітря відповідає 0,1-0,2 м/с.

Максимальна інтенсивність теплового випромінювання (ТВ) від поверхонь технологічного обладнання, що нагріваються складає:

- 35,0 Вт/м², якщо опромінюється > 50% поверхні тіла;
- 70 Вт/м², в діапазоні від 25 до 50%;
- 100 Вт/м² – при опромінюванні поверхні тіла < 25%.

Одиничні джерела ТВ обладнують місцевою витяжною вентиляцією.

Для зменшення шкідливого впливу ТВ рекомендується використовувати індивідуальні засоби захисту (спецодяг, окуляри, щитки).

Електромагнітні й електростатичні поля та випромінювання
 Нормування напруженості електростатичних полів (ЕСП)
 встановлюються відповідно до часу знаходження працівників в зоні їхньої дії.

Якщо напруженість ЕСП < 20 кВ/м, то період перебування в не обмежується.

В від 20 до 60 кВ/м допустимий час $t_{\text{доп}}$ знаходження без засобів захисту в ЕСП розраховується таким чином

$$t_{\text{доп}} = \left(\frac{E_{\text{пред}}}{E_{\text{факт}}} \right)^2, \text{ год.}$$

де $E_{\text{факт}}$ – фактична напруженість ЕСП, кВ/м.

Для захисту застосовуються такі засоби: заземлення, нейтралізатори, екрануючі пристрої, спеціальні антиелектростатичні одяг і взуття, запобіжні антиелектростатичні пристосування (кілцьця і браслети)³.

У приміщеннях, де проводяться роботи з РЕО, повинні бути обладнані зручні і безпечні робочі місця. Рекомендовані розміри столів для ремонту, монтажу, налагодження та випробувань малогабаритного радіоелектронного обладнання – 1300х700х800. Столи повинні бути виготовлені з діелектричного матеріалу або бути покриті їм, не повинні мати металевої обшивки. Орієнтувати в просторі їх слід таким чином, щоб максимально використовувалася природна освітленість і щоб світло падало по-можливості спереду – зліва.

У разі використання місцевого освітлення світло не повинен сліпити очі, його спектральний склад повинен відповідати або бути близьким до природного світла. При люмінесцентному освітленні світильники повинні мати не менше 2 ламп, щоб зменшити пульсацію світлового потоку (коефіцієнт пульсації не повинен перевищувати 10%), і розташовуватися так, щоб не затінювалися інформаційне поле і зорові об'єкти розрізнення.

³ГОСТ 12.4.124-83 ССБТ «Средства защиты от статического электричества. Общие технические требования»

Робочі місця повинні знаходитися на відстані > 1 м від приладів опалення.

Електрощиток з утопленими штепсельними гніздами для підключення електроприладів, вимірювальної апаратури є необхідною умовою. Над гніздами повинні бути вказані номінальні напруги, на рубильнику повинні бути написи, відповідні включеному та відключеному положенню, має бути напис над клемою «земля».

Опис робочого середовища, техпроцесу, обладнання та умов праці

В дослідницькому приміщенні обладнано 2 робочих місця:

- з дослідницьким стендом;
- з персональним комп'ютером.

Стенд являє собою металеву шафу з DIN-рейкою, на якій встановлено інтелектуальне реле (спрощений різновид програмованих логічних контролерів промислового призначення), блок живлення з напругою 24 В і струмом 4 А на виході і автоматичний вимикач; з зовнішньої сторони дверці шафи розміщено органи керування (кнопки) та світлової індикації.

Біля шафи розташовано електродвигун. Параметри двигуна: монтажне виконання – ІМ 1081 (на лапах), потужність – 0,75 кВт; живлення – від мережі 220 В; сила струму – 2 А; рівень шуму до 58 дБ. Переміщення двигуна в процесі дослідження не передбачено. Клас захисту від пилу і вологи – IP54. Перша цифра свідчить, що корпус забезпечує частковий захист від попадання до нутрощів пилу та повний захист від механічних предметів (перша цифра). Друга цифра означає, що двигун захищено від бризків води (дощу). Досить високий клас захисту зводить до мінімуму ризик виникнення КЗ внаслідок необережних дій людини (проливання води, упускання металевих предметів).

Небезпечні та шкідливі умови: частини корпусу при роботі двигуна можуть розігріватися до 65 °С, присутні шум та вібрація.

Двигун підключено до реле і керується винятково програмним методом, і не потребує фізичного переконфігурування, що виключає можливість прямого

контакту з розігрітою поверхнею. Тим не менш, розігрівається оточуюче повітря, що потребує впровадження додаткових заходів безпеки.

Для безпечної роботи з двигуном впроваджено нульовий тип захисту, який забезпечує захист від самозапуску двигуна при надмірному зниженні або короткочасному зникненні напруги мережі живлення. Захист здійснюється лінійними контакторами і автоматичними вимикачами. Контроль напруги здійснюють нульові розчеплювачі автоматів, що відключають автомат при зниженні напруги нижче значення уставки розчеплювача. Така міра направлена на ліквідацію ризику травмування внаслідок раптового непередбачуваного запуску двигуна.

Більша частина робочого процесу приходить на користування персональним комп'ютером, тому особлива увага приділяється організації робочого місця з ПЕОМ.

Вимоги техніки безпеки до організації робочого місця з ПЕОМ

Мінімальні параметри приміщення при обладнанні 1-го робочого місця з ПЕОМ: площа $S > 6 \text{ м}^2$, об'єм $V > 20 \text{ м}^3$;

Освітленість робочого столу: 300-500 лк.

Допустима енергетична сума октавних рівнів звукового тиску: $< 50 \text{ дБА}$.

Допустимі концентрації речовин-домішок в повітрі робочої зони відповідно ГОСТ 12.1.005-88: $\text{O}_3 < 0,1 \text{ мг/м}^3$; $\text{N}_2\text{O} < 5 \text{ мг/м}^3$; пил $< 4 \text{ мг/м}^3$.

Оптимальні розміри робочого столу, на якому розміщується ПЕОМ, повинні бути: висота – 725 мм, довжина – 1400-1600 мм, глибина – 800 мм.

Конструкція робочого місця з ПЕОМ повинна бути оптимальною для розміщення на робочій поверхні засобів вводу/виводу інформації. Системний блок встановлюється в спеціальному відсіку столу, який розташовується на деякій відстані від підлоги, по праву руку користувача.

Відстань від очей до матриці монітора з діагоналлю 53 см (21 ") = 800-900 мм. Конструкція монітору повинна оснащуватись підставкою, що конструктивно дозволяє регулювати кут нахилу екрану в діапазоні $10...15^\circ$.

Конструкція крісла користувача ПЕОМ повинна створювати умови для підтримки корпусу в фізіологічно правильному положенні зі збереженням природних вигинів хребта, а також повинна полегшувати навантаження на м'язи шийно-плечового відділу спини.

Робоче крісло має бути обладнано підйомно-поворотним механізмом, забезпечувати регулювання висоти посадочного місця, та зміну положення спинки. Матеріали поверхонь крісла, з якими регулярно контактує користувач, повинні мати вологовідштовхувальні, антистатичні, повітропроникні характеристики.

Розрахунок повітрообміну в дослідницькій лабораторії

Розрахунок повітрообміну проводиться для приміщення, де досліджується робота автоматизованого електроприводу, робота якого супроводжується виділенням додаткової теплової енергії, тому маємо специфічні вимоги до систем вентиляції.

Розраховуючи процес циркуляції повітря в приміщенні, враховується кількість тепла, що виділяється таким чином, щоб отримана кількість, більше норми могла видалятися, цілий рік, без труднощів і перешкод.

Площа приміщення складає 18 м^2 , висота приміщення – $3,2 \text{ м}$. Об'єм приміщення – $57,6 \text{ м}^3$. Кількість людей, що знаходяться в приміщенні обмежується одним дослідником. Поверхня електродвигуна $t_{нов}$, який входить до складу електропривода, в середньому розігрівається до 65°C . Площа поверхні S , що нагрівається становить $0,2 \text{ м}^2$.

Вибір типу вентиляції – організованої чи не організованої, ґрунтується на результаті розрахунку коефіцієнта кратності повітрообміну k – відношенням необхідного об'єму свіжого повітря, яке потрібно подавати щогодини в приміщення, до вільного від обладнання об'єму приміщення.

$$k = \frac{L}{V_{н.г.}}, \quad (5.1)$$

де k – коефіцієнт кратності повітрообміну;

L – необхідний повітрообмін, $\text{м}^3/\text{год}$;

$V_{н.в.}$ – об'єм приміщення вільний від обладнання, м^3 ; $V_{н.в.} = 49,3 \text{ м}^3$.

Якщо $k \leq 1$ природна вентиляція може бути неорганізованою. Коли $1 < k \leq 10$ природна вентиляція потребує організації, а розмір вентиляційних отворів розраховується відповідно значенню величини повітрообміну. У тому разі, коли $k > 10$, вентиляція загального обміну не є дієвою.

Розрахунок необхідного повітрообміну з урахуванням надлишкового тепловиділення проводиться за формулою:

$$L = \frac{Q \cdot 3.6}{C \cdot \rho (t_{вуд} - t_{np})}, \text{ м}^3/\text{год} \quad (5.2)$$

де Q – надлишкове тепло в приміщенні, Вт ;

C – масова теплоємність припливного повітря, $C = 1 \text{ кДж} / (\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$;

ρ – густина припливного повітря, $1.2 \text{ кг}/\text{м}^3$;

$t_{вуд}$ – температура повітря, що видаляється з приміщення, $^\circ\text{C}$.

t_{np} – температура повітря, що поступає в приміщення (припливне), $^\circ\text{C}$.

Температура повітря, що видаляється, знаходять за формулою:

$$t_{вуд} = t_{норм} + \Delta t \cdot (H_y - 2), ^\circ\text{C} \quad (5.3)$$

де $t_{норм}$ – оптимальна температура в приміщенні, що обирається відповідно до категорії робіт;

Δt – температурний градієнт, $\Delta t = 1.5 \text{ град}/\text{м}$;

H_y – відстань від підлоги до центра витяжних отворів, м

$$H_y = H - 1, \text{ м} \quad (5.4)$$

де H – висота приміщення, м.

Відповідно до (5.4) розрахуємо H_y :

$$H_y = 3.2 - 1 = 2.2 \text{ м}.$$

Проведемо розрахунок температури повітря, що видаляється з приміщення, скористаємося формулою (5.3):

$$t_{\text{вид}} = 23 + 1.5 \cdot (2.2 - 2) = 23.3 \text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Значення $t_{\text{норм}} = 23^{\circ}\text{C}$ було прийнято відповідно до нормативів ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень, в залежності від категорії робіт», вважається нормою як для теплого, так і для холодного періодів року при легкій роботі (Іб).

Розрахунок надлишкового тепла Q проводиться формулою

$$Q = \alpha S (t_{\text{пов}} - t_{\text{норм}}), \text{ Вт} \quad (5.5)$$

де α – коефіцієнт теплопередачі між поверхнею та повітрям,

$$\alpha = 5.6 + 4 \cdot v, \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}) \quad (5.6)$$

де v – швидкість руху повітря, м/с. $v = 0.2$ м/с .

Отже

$$\alpha = 5.6 + 4 \cdot 0.2 = 6.4 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}).$$

Тепер є всі дані для розрахунку надлишкового тепла Q :

$$Q = 6.4 \cdot 0.2 (65 - 23) = 53.76 \text{ Вт}.$$

Проведемо розрахунок необхідного повітрообміну відповідно до (5.2)

$$L = \frac{53.76 \cdot 3.6}{1 \cdot 1.2 \cdot (23.3 - 23)} = 537.6 \text{ м}^3 / \text{год}.$$

Визначимо коефіцієнт пропорційності повітрообміну

$$k = \frac{537.6}{49.3} = 10.9.$$

Отримане значення коефіцієнту пропорційності свідчить про те, що загальнообмінної вентиляції не вистачить, отже необхідно прийняти заходи з модернізації вентиляційної системи, застосувати локальну витяжну вентиляцію безпосередньо біля станку. Більш економічним рішенням проблеми може виступати звільнення частини приміщення від зайвих речей, збільшення вільного простору призведе до покращення повітрообміну.

5.4 Заходи безпеки у надзвичайних ситуаціях

5.4.1 Заходи з пожежної безпеки

Аналіз речовин і матеріалів, що знаходяться на об'єкті

В приміщенні не зберігаються пожежонебезпечні речовини (спирти, лаки і т.п.), не підведене газопостачання. Матеріали, які знаходяться в приміщенні: дерево, папір, пластик, тканина, метал, скло. Вони входять до категорії твердих горючих речовин та матеріалів, за цією ознакою можлива пожежа буде відноситися до класу «А».

В лабораторії знаходиться електрообладнання під напругою, що не перевищує 1 кВт (ПЕОМ, електродвигун, стенд з електронікою), отже є вірогідність виникнення пожежі класу «Е». Така класифікація зустрічається в чинному наказі МВСУ № 25 від 15.01.2018 р., зареєстрованого в МЮУ 23.02.18 р. під № 225/31677, що набув чинності 30.03.18 р., «Про затвердження Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників».

Пожежі з електрообладнанням мають важливу специфіку – при займанні устаткування під напругою, перш за все, необхідно його знеструмити, і тоді гасити пожежу, інакше можливо ускладнення ситуації, як мінімум, стандартні заходи з пожежогасіння можуть бути не ефективні.

За вибухопожежною та пожежною небезпекою приміщення дослідницької лабораторії можна відноситися до категорії «В», оскільки не містить легкозаймистих рідин, горючого пилу (як в категоріях «А» і «Б»), на території приміщення не відбувається обробних і гарячих виробничих процесів як в категорії «Г»; приміщення містить горючі займисті і важкогорючі матеріали (тканина, деревина), тому під опис категорії «Д» не підпадає. Будівля, в якій розташована дослідницька лабораторія відповідає III ступеню вогнетривкості.

Впроваджені заходи з підвищення пожежної безпеки на об'єкті

Найбільш вірогідною причиною пожежі в умовах лабораторії може стати несправність електричного та електронного обладнання, викликана коротким замиканням (або навпаки). Тому були прийняті такі заходи підвищення безпеки (електротехнічної і, як наслідок, пожежної): встановлення пристрою захисного відключення, автоматів, збірка стенду в спеціальній електротехнічній металевій шафі, пристрої, якими обладнано стенд – підвищеної надійності, і мають такі класи захисту: блок живлення, інтелектуальне реле –IP20, двигун – IP54.

Виявлено шкідливий фактор такий, як нагрів корпусу двигуна, який нічим не компенсовано. Виконано відповідний розрахунок повітрообміну в приміщенні, визначено невідповідність повітрообміну до санітарних вимог, дані рекомендації щодо встановлення локальної вентиляції в робочій зоні стенду та збільшення вільного об'єму приміщення.

З дослідницької лабораторії прибрані та передані на відповідний склад легкозаймисті речовини.

Автоматичної системи пожежогасіння, в приміщенні, нажаль, не передбачено, тому використовуються вогнегасники 2-х різних типів, що обрані відповідно до «Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників».

В приміщенні лабораторії з класами потенційних пожеж «Е» та «А» підходять вогнегасники вуглекислотні (ВВК) та порошкові (ВП)⁴. При гасінні електрообладнання, документів та інших цінностей слід віддати перевагу ВВК.

Таблиця 5.1 – Необхідна кількість переносних газових вогнегасників на площу виробничого приміщення $< 25 \text{ м}^2$, в залежності від масового заряду балона, кг, при пожежах класів В, Е, категорій приміщень А, Б, В

м, кг	3,5	5
кількість, шт	4	4

Діапазон робочих температур вогнегасників:

- ВВК – -20...+50°C;

⁴Додаток 8 до Правил експлуатації та типових норм належності вогнегасників (пункт 4 розділу V)

- ВП – $-50...+50^{\circ}\text{C}$.

Порошковий слід застосовувати, якщо нема ВВК, або він закінчився, як запасний варіант. В приміщенні з електрообладнанням при пожежі класу «Е» не припустимо використовувати водопінні та водяні вогнегасники.

Таблиця 5.2 – Необхідна кількість переносних ВП на площу виробничого приміщення $< 25 \text{ м}^2$, в залежності від масового заряду балона, кг, при пожежах класів А, В, С, Е, категорій приміщень А, Б, В

m, кг	5	6	8	9	12
кількість, шт	2		1		

Максимальна висота розміщення переносного вогнегасника складає: 1,5 м від підлоги до нижньої частини вогнегасника. Доцільно встановлення вогнегасників у пожежних шафах та щитах.

Заходи з протипожежної профілактики:

- обладнання робочих місць вогнегасниками (відповідно до класів передбачуваних пожеж та категорії приміщення);
- організація інструктажів з техніки протипожежної безпеки;
- відпрацювання з працівниками алгоритму дій при евакуації під час пожежі;
- підвищення пожежної безпеки шляхом модернізації та удосконалення підприємства й його систем (наприклад вентиляції);
- встановлення автоматичних засобів розпізнавання, інформування і гасіння пожежі;
- контроль за виконанням правил з техніки безпеки пожежної і загальної;
- реалізація в умовах підприємства аварійного знеструмлення (повного і/або часткового);
- організація спеціально відведених для куріння місць.

5.4.2 Заходи з цивільного захисту

Вплив електромагнітного імпульсу на елементи виробництва

Для сучасного виробництва характерним є впровадження засобів автоматизації в виробничі процеси, або як мінімум, організація систем дистанційного керування механізмами. В обох випадках не обійтися без пристроїв управління, таких як програмовані логічні контролери (або програмованих реле). Робота цих приладів ґрунтується на застосуванні напівпровідникових інтегральних мікросхем (ІМС), які виконують обчислення, приймають, обробляють і генерують інформаційні сигнали. Фактично ІМС є «мозком» систем автоматичного управління, і являється найбільш чутливим до умов роботи компонентом. Зокрема до електромагнітних полів (ЕМП) і імпульсів (ЕМІ).

Мікросхеми фізично розташовуються на печатних платах, де і відбувається безпосередній вплив імпульсних електромагнітних полів на ІМС. Падіння на мікросхему радіовипромінювання індукує паразитні наведення (струми і напруги високої частоти) на виводах інтегральної мікросхеми.

Амплітуди наведень істотно залежать від розмірів, форми, орієнтації виводів ІМС, параметрів випромінювання тощо. Ці високочастотні коливання, сформовані на виводах, потрапляють на елементи ІМС – резистори, діоди, транзистори. Частина потужності при цьому поглинається, і приводить до розігріву, частина «віддзеркалюється», а частина детекується на нелінійних елементах ІМС.

Залежно від поглиненої елементами мікросхеми НВЧ-потужності спостерігаються такі порушення її працездатності:

- перешкоди і тимчасові відмови з відновленням нормальних характеристик і параметрів після припинення впливу НВЧ-випромінювання (виникають при порівняно низьких рівнях потужності радіосигналів);

- деградаційні зміни параметрів і характеристик з повільним погіршенням технічних характеристик мікросхем в процесі експлуатації і можливим виходом

робочих параметрів за межі встановлених допусків (при проміжних значеннях потужності радіовипромінювання і енергії імпульсів);

- швидкі «катастрофічні» відмови з остаточним і безповоротним порушенням працездатності.

Катастрофічні відмови, зумовлені впливом потужного випромінювання або імпульсу, пов'язані з виділенням тепла в локальній області мікросхеми, локальним руйнуванням структури напівпровідника, вигоранням контактних елементів, металізації. Супроводжуються пробоем підзатворного діелектрика⁵ польових транзисторів, сформованих в об'ємі і на поверхні напівпровідникового кристала.

Такі ефекти можуть посилюватися за рахунок дефектів структури на фізичному рівні ІМС. Виникнення дефектів може бути пов'язане з технологією виготовлення ІМС, її топологією, типом корпусу, виводів, або формуватися вже в процесі роботи під впливом різноманітних факторів.

Багато деградаційних явищ в активних елементах мікроелектроніки пов'язані з дифузією – процесом масопереносу в об'ємі напівпровідника, на його поверхні, по межах розділу фаз⁶ і в контактах. Саме цей процес обумовлює деградацію електричних характеристик приладу, повзучість, старіння, корозію матеріалів напівпровідникової структури і контактів.

Швидкість протікання масопереносу залежить від наявності дислокацій, внутрішніх механічних напружень і таких зовнішніх факторів, як електричне поле, радіація, тиск, температура і ін. Процеси масопереносу з часом приводять до пластичної деформації напівпровідникового кристалу, або локальної його області.

Вплив пластичної деформації на характеристики напівпровідникових приладів зумовлено неоднорідною зміною концентрації носіїв, їх часу життя та інших властивостей матеріалу, з якого виготовлений прилад.

⁵Ізольуючий шар (слої) оксиду кремнію, що при нормальних умовах запобігає протіканню електричного струму. Характерне поле пробоя плівки SiO₂ становить 5·10⁶ В/см, що при типовій товщині плівки 500...1000 Å дає напругу пробоя 25 ... 50 В.

⁶Межа контакту 2-х середовищ, різних за складом / структурою / фізичними властивостями

Для ІМС з високим ступенем інтеграції одним з домінуючих механізмів відмови є процес деградації і руйнування мікропроводників багаторівневої металізації і її елементів внаслідок електроміграції.

Електроміграція (електродифузія) – перенесення маси, що спостерігається в металах і напівпровідниках при проходженні постійного або змінного електричного струму великої щільності.

Фізичним проявом електроміграції є накопичення речовини в деякій області металевого провідника у вигляді бугорків, і навпаки – можливо формування пустот. Такі, непередбачені технологією виробництва, новоявлені структури здатні приводити до короткого замикання всередині структури ІМС, тобто до появи електрообміну там, де його не повинно бути. У разі формування пустот може пропасти контакт там, де він мусить бути. Однозначно такі явища рано, чи пізно, призводять до збоїв та відказів в роботі електроніки, а ЕМП опосередковано стимулюють цей процес.

Момент дії ЕМП надто складно зареєструвати, так як імпульс проходить дуже швидко, тому вплив на ІМС вивчається вже по результатам його діяльності (рисунок 5.1).

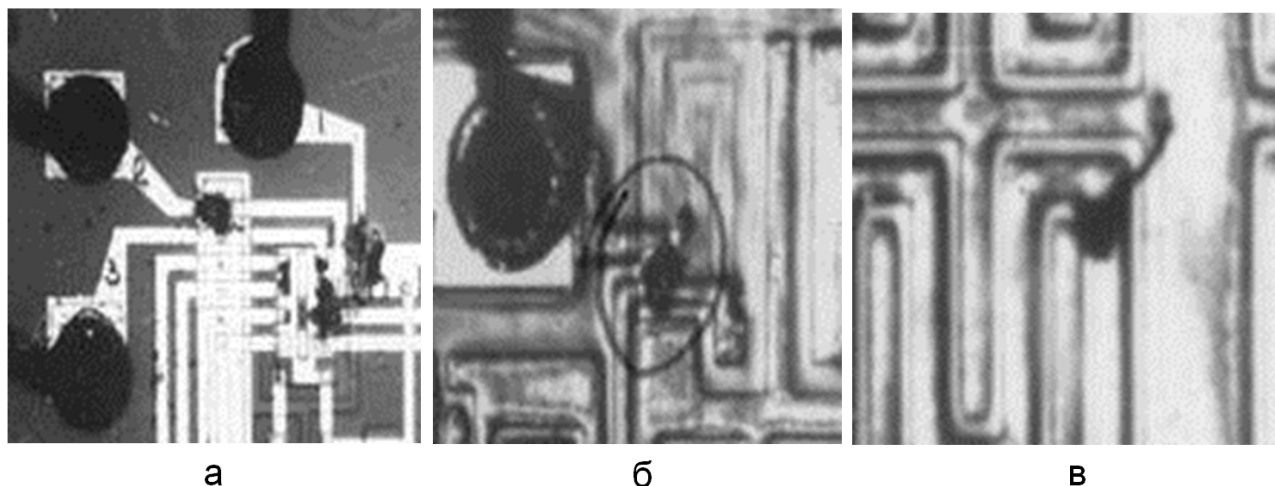


Рисунок 5.1 – Пошкодження структури ІМС в результаті впливу ЕМП

Фізико-технічний аналіз пошкоджених ІМС свідчить, що найбільш поширеними механізмами ушкодження ІМС є плавлення металізації, пробій діелектрика, вторинний пробій.

При мікросекундних радіоімпульсах 60% відмов пов'язані з пробоем р-n переходів і 40% – з плавленням металізації. Плавлення найчастіше спостерігається в області контактних площадок і поворотів струмоведучих ліній. Найбільш вразливими виявляються вхідні і вихідні елементи ІМС, на які сигнал СВЧ-наведення надходить безпосередньо з виводів мікросхем.

Пошкодження мікросхем при опроміненні НВЧ випромінюванням може відбуватися в результаті комбінації пошкоджень р-n переходів і металізації. Як правило, з ладу виходять вхідні і вихідні елементи.

В результаті впливу на мікросхеми короткими радіоімпульсами (тривалістю $t=20...30$ нс і довжиною хвилі $\lambda=10$ см) спостерігається повне руйнування області р-n-переходу, розплавлення і розрив металізації для ТТЛ-мікросхем при напруженості електричного поля $E = 1,4 ... 1,8$ кВ/см і для МОП-мікросхем при $E = 0,1 ... 4$ кВ/см.

Таким чином, великі напруженості електричних полів, вплив потужних електромагнітних імпульсів, велика щільність струмів і їх градієнти сприяють перегріву, електроміграції іонів, виникненню і перебудові структурних дефектів в напівпровідниковому матеріалі і металічних провідниках. Зазначені процеси призводять до прискорення зміни вихідних властивостей матеріалу і параметрів р-n-структури, погіршення її характеристик, а в кінцевому результаті – до повної непрацездатності як окремої ІМС, так і всього пристрою, «мозком» якого, вона була.

ВИСНОВКИ

В ході виконання досліджень за темою магістерської роботи розроблено концептуальну модель автоматизованого електропривода як мультидоменної, мехатронної системи автоматичного керування. Обґрунтовано вибір елементної бази автоматизованого електроприводу, із двигуном включно. Досліджено моделі електроприводу двигунів постійного та змінного струму в програмному середовищі ECAD-програми MicroCap, які показали свою адекватність при акаузальному макромодельованні.

Для реалізації дослідного зразку розроблено лабораторний стенд на базі продукції фірми EATON, основою якого є інтелектуальне реле EASY-E4-UC-12RC1. Спроектовано функціональну електричну схему та схему з'єднань стенду. Проаналізовано експлуатаційні характеристики елементів стенду (джерела живлення, автомату, інтелектуального реле тощо).

Аналіз показав, що інтелектуальне реле здатне реалізовувати складний алгоритм керування двигуном постійного струму та контролювати стан його вихідних параметрів через зворотний зв'язок від датчиків. Керування потужними двигунами вимагають використання окремих джерел живлення, окремі джерела живлення потрібні також для силових ключів із відповідними драйверами.

Для керування асинхронними двигунами змінного струму необхідно також використовувати рекомендований в даній роботі варіант автономного інвертору струму із широтно-імпульсним принципом керування силовими ключами, як елемент частотного електроприводу із вертикальним принципом керування.

Запропоноване апаратне забезпечення системи автоматичного керування на базі серія easyFamily із інтелектуальним реле EASY-E4-UC-12RC1 вирізняється економічністю та надійністю. Розроблено алгоритм та програму

керування двигуном в програмному забезпеченні EASYSOFT 7 на мові EasyDeviceProgramming (EDP).

В четвертому розділі оцінено конкурентоспроможність даного проекту, та означено область його застосування. Виявлено потенційних стейкхолдерів, розраховано економічну доцільність роботи.

В розділі охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях виконано аналіз потенційних небезпек при роботі за комп'ютером, розроблено заходи із забезпечення техніки безпеки, виробничої санітарії та гігієни праці та пожежної безпеки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. **Готлиб, Б.М.** Введение в специальность «Мехатроника и робототехника»: курс лекций / Б. М. Готлиб, А. А. Вакалюк. – Екатеринбург: УрГУПС, 2012. – 134 с.
2. **Грабченко, А.И.** Введение в мехатронику: уч. пособие / А.И. Грабченко, В.Б. Клепиков, В.Л. Доброскок и др. – Х.: НТУ «ХПИ», 2014. – 264 с.
3. **Ловейкін В.С.** Мехатроніка. Навчальний посібник / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Ю.В. Човнюк. – К.: НУБПУ, 2012. - 357 с.
4. **Намитоков, К.К.** Конспект лекций по технической физике. В 3 т. Т. 2. Электричество и магнетизм: учеб. пособие для высш. техн. учеб. заведений / К. К. Намитоков – Харьков : ХНУГХ им. А. Н. Бекетова, 2017. – 440 с.
5. **Шмирко В.І.** Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях» в магістерських дипломних роботах зі спеціальності 131 «Прикладна механіка» (спеціалізація «Технологія машинобудування»); 133 «Галузеве машинобудування» (спеціалізація «Металорізальні верстати та системи) / Укл. : В.І. Шмирко – Запоріжжя: ЗНТУ, 2018 – 28 с.
6. **Дементий Л.В.** Охрана труда в автоматизированном производстве. Обеспечение безопасности труда / Л.В. Дементий, А.Л. Юсина – Краматорск: ДГМА, 2007. – 300 с.
7. **Лавренко А.С.** Методичні вказівки до практичної роботи «Розрахунок повітрообміну у виробничих приміщеннях при загально обмінній вентиляції» з дисципліни «Охорона праці в галузі» для студентів всіх форм навчання / Укл. А.С. Лавренко, О.Л. Скуйбіда, А.Є. Островська – Запоріжжя: ЗНТУ, 2014. - 14с.

8. **Паламар М.** Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів. [Текст] / Михайло Паламар, Михайло Стрембіцький, Андрій Паламар; Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 150 с.

9. **Карасьов, М.Ф.** Оптимальна комутація машин постійного струму [Текст] / М. Ф. Карасьов. – М. : Транспорт, 1967. – 180 с.

10. **Осадченко, А.А.** Моніторинг щеточно-колекторного вузла тягового електродвигуна при експлуатації [Текст] / А.А.Осадченко, О.Л.Рапопорт, А.Б.Цукублін // Вісті ТПУ – №7, 2005. – С. 36–39.

11. **Скіданов, В.М.** Порівняльний аналіз систем тягових приводів автономного електротранспорту Автоматизація і інформаційні технології [Текст] / В.М. Скіданов, Т.О. Забава. // ГБДММ – № 76, 2010 – С.45-52.

12. Рахматуллин, Р. Р. Расчет технико-экономических показателей и определение экономического эффекта [Текст] / Р.Р. Рахматуллин. – М.: Бибком, 2017. – 169 с.

13. **ГОСТ 183–74.** Машины электрические вращающиеся. Общие технические требования. М.,1974

14. **ГОСТ 12.0.003-74 ССБТ** «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация»

15. **ГОСТ 12.1005-88 ССБТ** «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

16. **ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ** «Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля»

17. **ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ** «Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны»

18. **ДСТУ Б В.1.1-36:2016** «Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою»

19. **ДСН 3.3.6.042-99** «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень, в залежності від категорії робіт»

20. **ДБН В.1.1-7:2016** «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги»

21. **ДСНП** «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», [Електронний ресурс] / МІОУ 06.05.2014 р. за № 472/25249 – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>

22. Программируемое реле ОВЕН ПР114 – решение типовых задач управления [Електронний ресурс] / Компания ОВЕН – Режим доступу до ресурсу: <https://isup.ru/articles/34/3328/>.

23. DC Motors. Electronics-tutorial [Electronic resource]. – Access mode: https://www.electronics-tutorials.ws/io/io_7.html

24. DC Motor – The pioneer of electric motors [Electronic resource]. – Access mode: <https://harmonicdrive.de/en/glossary/dc-motor-the-pioneer-of-electric-motors>