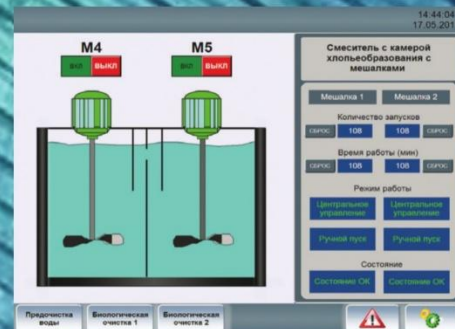
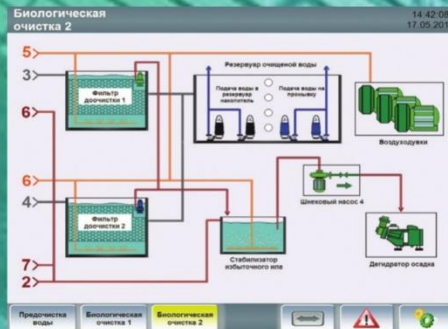
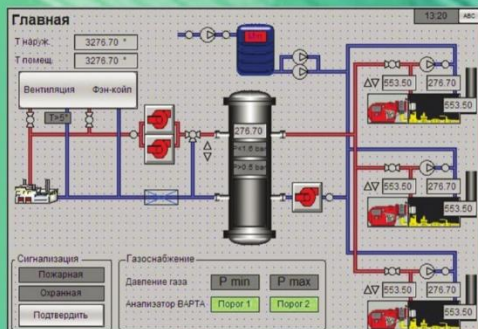


А.В. БОСАК, А.В. ТОРОПОВ, Л.В. ТОРОПОВА



ІНЖИНІРИНГ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

А. В. Босак, А. В. Торопов, Л. В. Торопова

ІНЖИНІРИНГ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

Підручник

Затверджено Вченою радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як підручник для здобувачів ступеня магістра
за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Електронне мережеве навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2024

Автори: *Босак Алла Василівна*, к.т.н, доцент.
Торопов Антон Валерійович, к.т.н, доцент
Торопова Лілія Володимирівна

Рецензент *Мазуренко Леонід Іванович*, д.т.н, професор,
завідувач відділу електромеханічних систем Інституту
електродинаміки НАН України

Островерхов Микола Якович, д.т.н., професор,
завідувач кафедри теоретичної електротехніки

Відповідальний редактор *Кулаковський Леонід Ярославович*, к.т.н., доцент кафедри АЕМК

*Гриф надано Вченою радою КПП ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 9 від 11.11.2024 р.)*

Босак А. В.
Б85 Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем [Електронний ресурс] : підруч. для здобувачів ступеня магістра за спец. 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / А. В. Босак, А. В. Торопов, Л. В. Торопова; КПП ім. Ігоря Сікорського. – Електрон. текст. дані (1 файл). – Київ : КПП ім. Ігоря Сікорського, 2024. – 251 с.

Підручник "Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем" спрямований на вивчення консалтингового та технологічного інжинірингу, а також ознайомлення студентів з організацією проектних робіт у сфері електротехніки та мехатроніки. У контексті навчання надається інформація про основні схеми електроприводів, проведення пусконаладжувальних робіт під час проєктування таких систем. Предметом вивчення є автоматизовані системи керування складними технічними комплексами. Курс поділений на розділи, які охоплюють основні аспекти інжинірингової діяльності, поняття системного та електротехнічного інжинірингу, проєктування автоматизованих систем керування, розрахунок роботи електроприводів, вибір технічних і програмних засобів автоматизації. Окрема увага приділяється комп'ютерним технологіям у проєктуванні електромехатронних систем. Підручник призначений для здобувачів ступеня магістр за спеціальністю 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка.

УДК 62-5

Реєстр. № П 24/25-008. Обсяг 6,18 авт. арк.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Берестейський, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>
Свідectво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© А. В. Босак, А. В. Торопов, Л. В. Торопова, 2024
© КПП ім. Ігоря Сікорського, 2024

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	9
РОЗДІЛ 1. ВСТУП ДО ІНЖИНІРИНГУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ	14
1.1. Основні поняття та визначення	15
1.1.1. Життєвий цикл системи	19
1.1.2. Керування системою	21
1.2. Головні положення щодо інжинірингової діяльності	22
Запитання для самоконтролю	26
РОЗДІЛ 2. ЗМІСТ ІНЖИНІРИНГОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ	27
2.1. Системний інжиніринг	28
2.1.1. Сфера застосування системного інжинірингу	29
2.1.2. Учасники життєвого циклу системи та їх взаємозв'язки	31
2.1.3. Методи стандартизації	34
2.2. Електротехнічний інжиніринг	36
2.2.1. Об'єкти і характеристика електротехнічного інжинірингу	36
2.2.2. Нормативно-технічні документи	39
2.3. Інжиніринг електромехатронних систем	42
2.3.1. Розробка електроприводів електротехнічних комплексів з використанням стандартних засобів автоматизації	42
2.3.2. Оцінка і визначення оптимального варіанту системи	50
2.3.3. Синтез засобів електромехатронних систем	51
2.3.4. Розробка систем автоматизації з децентралізованою архітектурою	53
2.4. Стратегія розробки нового обладнання та модернізації існуючого	57
2.4.1. Маркетингові дослідження	58
2.4.2. Визначення ключових характеристик продукту чи послуги, які відповідають потребам споживачів	61
2.4.3. Вивчення та порівняння технологій, використовуваних конкурентами	62
2.4.4. Аналіз вимог споживачів щодо якості, ціни, обсягу товару чи послуги.	63
2.5. Міжнародні системи стандартів. Сертифікація та ліцензування. Оформлення правових відносин	66
2.5.1. Міжнародні системи стандартів	67
2.5.2. Сертифікація відповідності вимогам технічних регламентів, положенням стандартів і умов договорів	72
2.5.3. Правові відносини в сфері інжинірингової діяльності	75
2.5.3.1. Ліцензування окремих видів діяльності в Україні	76
2.5.3.2. Договірні відносини в інжиніринговій діяльності	78
2.5.3.3. Правові відносини на ринку інтелектуальної власності	80

2.5.4. Організаційна структура підприємства	82
Запитання для самоконтролю	85
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ СИСТЕМ	87
3.1. Основні стадії проєктування. Технічне завдання	88
3.1.1. Стадії проєктування і склад проєктів	88
3.1.2. Технічні завдання, вимоги і умови	93
3.2. Техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень	98
3.2.1. Економічний аналіз ефективності проєктних рішень	100
3.3. Вибір електрообладнання	105
3.3.1. Вибір електрообладнання відповідно до умов експлуатації	105
3.4. Забезпечення електромагнітної сумісності електрообладнання	109
3.4.1. Вищі гармоніки в кривих струмів і напруг. Їх вплив на електрообладнання ..	109
3.4.2. Методи забезпечення електромагнітної сумісності.....	118
Запитання для самоконтролю	127
РОЗДІЛ 4. ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ СИСТЕМ	128
4.1. Технічні засоби систем автоматизованих електроприводів	129
4.1.1. Керовані перетворювачі для низьковольтних систем електроприводів	129
4.1.2. Високовольтні електроприводи	133
4.1.3. Електродвигуни і мотор-редуктори	138
4.1.4. Комутаційна і захисна апаратура, дроселі та фільтри	143
4.1.5. Пристрої плавного пуску і гальмування асинхронних двигунів	148
4.1.6. Засоби модернізації існуючих приводів постійного струму	168
4.1.7. Кабелі та проводи	171
4.1.8. Датчики в системах електроприводу	172
4.2. Розрахунок режимів роботи та вибір автоматизованих електроприводів	175
4.2.1. Розрахунок та вибір комплектних електроприводів і їх компонентів	175
4.2.2. Визначення гармонік струму і напруги в електромережі, що живить перетворювач частоти	178
4.2.3. Електроприводи безперервної дії без рекуперації енергії гальмування в мережу	181
4.2.4. Електроприводи циклічної дії з рекуперацією енергії гальмування в мережу	186
4.3. Програмні засоби електротехнічних систем	189
4.3.1. Бібліотека програм стандартних функцій управління	192
4.3.2. Програмне забезпечення параметризації, моніторингу й наладки електроприводів	202
4.4. Вибір технічних та програмних засобів систем автоматизації	204

4.4.1. Програмовані логічні контролери й промислові комп'ютери	214
4.4.2. Інформаційні мережі та їх компоненти	215
4.4.3. Пульти і термінали	216
Запитання для самоконтролю	218
РОЗДІЛ 5. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ СИСТЕМ	220
5.1. Інструментальні засоби проєктування	221
5.1.1. Огляд програмних засобів.....	223
5.1.2. Вибір та оцінка інструментальних засобів	225
5.2. Оформлення технічної документації.....	228
5.2.1. Загальні правила виконання електричних креслень і схем	228
5.2.1.1. Правила виконання креслень.....	228
5.2.1.2. Правила виконання схем.....	229
5.2.2. Креслення електровиробів.....	230
5.2.2.1. Креслення загального вигляду	230
5.2.2.2. Складальне креслення.....	231
5.2.3. Схеми структурні і функціональні	232
5.2.4. Схеми електричні принципові	234
5.2.4.1. Особливості виконання принципових схем.....	234
5.2.4.2. Принципові схеми автоматизованих однодвигунних електроприводів механізмів	235
5.2.4.3. Принципові схеми автоматизованих багатодвигунових електроприводів механізмів	236
5.2.4.4. Схеми систем автоматизації	239
5.2.5. Схеми з'єднань, підключення та розташування	240
5.2.5.1. Схеми електричні з'єднань.....	240
5.2.5.2. Схеми електричних підключень.....	241
5.2.5.3. Схеми електричні розташування	242
Запитання для самоконтролю	244
Список використаних джерел.....	245
Список рекомендованої літератури	248

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСК - автоматизовані системи керування
СІ - системний інжиніринг
АЗ - апаратне забезпечення
ПЗ - програмне забезпечення
ЦП – центральний процесор
ПЧ-АД - перетворювач частоти – асинхронний двигун
ТЗ -технічне завдання
ЕМС – електро-механічна система
ТУ-технічні умови
ШІМ – широтно-імпульсна модуляція
ПД– пропорційно-інтегрально-диференціальний
ПК – персональний комп'ютер
ВІК – виробничо-інженерний комплекс
ТЕО - техніко-економічне обґрунтування
ТЕР - техніко-економічний розрахунок
ЕП - ескізний проєкт
П – проєкт
РП – робочий проєкт
Р – робоча документація
СПДБ - система проєктної документації для будівництва
ЄСКД - єдина система конструкторської документації
ВНД - внутрішня норма дохідності
ЧПД – чистий приведений дохід
ЧПВ - чиста приведена вартість
ППІ - показник повернення інвестицій
ЕР - економічна рентабельність
ІР - індекс рентабельності
АІН - автономний інвертор напруги
СНП - силовий напівпровідниковий перетворювач

ЧПК - числове програмне керування

ППП - пристрій плавного пуску

СТЗ - силові тиристорні збірки

СК – система керування

ПУЕ - правила улаштування електроустановок

ПЛК - програмований логічний контролер

ПЛР - програмоване логічне реле

ЛМІ - людино – машинний інтерфейс

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

ІСР - інтегроване середовище розробки

ЗВ – загальний вигляд

СК – складальне креслення

ВСТУП

У динамічному ландшафті сучасного взаємопов'язаного світу управління складними системами стало першорядним викликом і ключовим напрямком наукових досліджень. З підвищенням складності електротехнічних, мехатронних систем, транспортних систем, автоматизованих систем керування стає очевидною необхідність в ефективному управлінні обладнанням в цілому. Складні системи вимагають злагодження в роботі великої кількості людей із різних сфер виробництва, різним рівнем досвіду та з різних країн. Проекти часто тривають десятиріччями і включають різноманітних учасників - від замовників до розробників, проєктувальників, операторів і монтажників. Одночасно, необхідність адаптації до ринкових змін накладає значний тиск на традиційні інженерні процеси. Таким чином, не дивно, що ми часто чуємо про труднощі, пов'язані зі складними проєктами – перевищення запланованих витрат, труднощі в досягненні цілей, і навіть скасування проєктів. Відповідно, виникає необхідність використання інноваційних підходів у системах прийняття рішень, забезпечення ефективного управління ресурсами та гнучкості реагування на зміни. Управління складністю стає визначальним елементом успішної реалізації проєктів в умовах сучасного бізнес-середовища.

Для ефективного управління складними технічними проєктами критично розглядати їх життєвий цикл від початку до завершення. Спочатку, формальне визначення вимог є ключовим етапом, щоб забезпечити повний опис функціональних можливостей майбутньої системи - це називається функціональною архітектурою. Функціональні вимоги ретельно аналізуються і розробляються для створення докладного функціонального опису вимог до окремих підсистем.

Далі ці вимоги розподіляються між фізичними елементами системи для створення фізичної архітектури. Мета розробки фізичної конфігурації

полягає в тому, щоб систему розглядати як серію чітко визначених підсистем, які можуть бути спроектовані і створені використовуючи існуючі процеси та процедури.

Проте, подальший розвиток цих окремих підсистем вимагає відповідного керування. Кожна підсистема повинна бути перевірена, протестована та інтегрована в остаточну систему перед поставкою. Забезпечення успіху вимагає ретельного планування, документації та ефективного керування на всіх етапах процесу.

Інжиніринг забезпечує структуру, в якій складні системи можуть бути адекватно визначені, проаналізовані, специфіковані, виготовлені, експлуатовані та підтримувані. Основна увага інжинірингу зосереджена на системі в цілому та підтримці сильного міждисциплінарного підходу. Управління проєктами, забезпечення якості, інтегрована логістична підтримка та широкий спектр інженерних дисциплін – це лише деякі з багатьох дисциплін, які є частиною скоординованих зусиль інжинірингу.

Слід зазначити, що розгляд питання інжинірингу електротехнічних та мехатронних систем в інтегрованому міждисциплінарному підході щодо проєктування сучасних систем автоматичного керування складними комплексами залишається в навчальній літературі недостатньо розкритим. Цей підручник має на меті заглибитися в багатогранну сферу управління складними системами, досліджуючи тонкощі, виклики та стратегії, які визначають цю сферу.

Мета і завдання навчальної дисципліни «Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем» - ознайомити студентів з основними положеннями консалтингового та технологічного інжинірингу. В процесі навчання студенти опановують основи організації проєктних робіт, знайомляться з основними схемами електроприводів, особливості підготовки та проведення пусконаладжувальних робіт при проєктуванні електротехнічних комплексів та мехатронних систем.

Предметом вивчення дисципліни є автоматизовані системи керування складними електротехнічними та мехатронними комплексами.

Розділ 1 присвячено основним положенням щодо інжинірингової діяльності.

Розділ 2 розкриває поняття системного та електротехнічного інжинірингу. Розглянуті питання побудови автоматизованих систем керування електроприводів механізмів, машин та комплексів на базі типових засобів, надані базові підходи до використання нормативно-технічної документації та міжнародної системи стандартів, побудови бізнес-плану при проєктуванні нового і модернізації діючого електрообладнання. Розкрито питання ліцензування окремих видів діяльності та правових відносин на ринку інтелектуальної власності.

Розділ 3 присвячено загальним питанням з проєктування автоматизованих систем керування електротехнічних комплексів. Розкриті поняття основних стадій проєктування, технічного завдання, складу проєктної документації, запропоновані шляхи підвищення надійності систем.

В розділі 4 розглянуті питання розрахунку та режимів роботи електроприводів складних електротехнічних комплексів, вибору технічних та програмних засобів автоматизації цих систем.

Розділ 5 присвячено комп'ютерним технологіям проєктування електромехатронних систем.

Кінцевим етапом вивчення навчальної дисципліни «Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем» є набуття здобувачами вищої освіти наступних компетентностей та результатів навчання.

Програмні компетентності:

- здатність здійснювати аналіз техніко-економічних показників та експертизу проєктно-конструкторських рішень в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки;

- здатність розуміти і враховувати соціальні, екологічні, етичні, економічні та комерційні міркування, що впливають на реалізацію технічних рішень в електроенергетиці, електротехніці та електромеханіці;
- здатність керувати проєктами і оцінювати їх результати;
- здатність формулювати технічні вимоги на розроблювані продукти і технології, визначати технічні умови експлуатації та обслуговування нової техніки, складати технічні завдання на дослідження і розробки, виділяти ключові технологічні параметри розробок і визначати їх цільові або нормативні значення в області інжинірингу.

Програмні результати навчання:

- відтворювати процеси в електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах при їх комп'ютерному моделюванні;
- окреслювати план заходів з підвищення надійності, безпеки експлуатації та продовження ресурсу електроенергетичного, електротехнічного та електромеханічного обладнання і відповідних комплексів і систем;
- аналізувати процеси в електроенергетичному, електротехнічному та електромеханічному обладнанні і відповідних комплексах і системах;
- володіти методами математичного та фізичного моделювання об'єктів та процесів у електроенергетичних, електротехнічних та електромеханічних системах;
- враховувати правові та економічні аспекти наукових досліджень та інноваційної діяльності;
- обґрунтовувати вибір напрямку та методики наукового дослідження з урахуванням сучасних проблем в області електроенергетики, електротехніки та електромеханіки;
- виконувати фізичне і математичне моделювання, статичний та динамічний аналізи конструкцій, механізмів, матеріалів та процесів на стадії

проєктування, досліджувати надійність систем, з використанням сучасних комп'ютерних засобів.

РОЗДІЛ 1. ВСТУП ДО ІНЖИНІРИНГУ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

- Основні поняття та визначення
- Головні положення щодо інжинірингової діяльності
- Запитання для самоконтролю

1.1. Основні поняття та визначення

Інжиніринг відіграє важливу роль у розвитку технологій, інфраструктури та соціального прогресу. Він забезпечує створення нових продуктів, систем та процесів, які поліпшують якість життя людей. Інженери розробляють нові технології, вирішують технічні проблеми, вдосконалюють існуючі системи та сприяють інноваціям. Інжиніринг є ключовим стимулом для економічного зростання та прогресу суспільства.

Саме поняття «*інжиніринг*» визначається як процес застосування наукових знань, технічних навичок та креативності для розроблення, побудови, виготовлення та підтримки різноманітних об'єктів, систем чи процесів. Інженери використовують свої знання для створення функціональних та ефективних рішень, які задовольняють вимоги та потреби суспільства.

Перш ніж розглядати дисципліну, пов'язану з інжинірингом електротехнічних та мехатронних систем, потрібно зрозуміти, що мається на увазі під системою.

Система - це сукупність взаємопов'язаних елементів або компонентів, які діють разом для досягнення певної мети або виконання певної функції. Система складається з елементів, які можуть бути фізичними об'єктами, процесами, людьми, програмним забезпеченням або будь-якими іншими компонентами, які взаємодіють між собою.

На рис. 1.1 представлено систему, яка складається з тих елементів системи та їхніх взаємозв'язків, які існують у визначених межах.

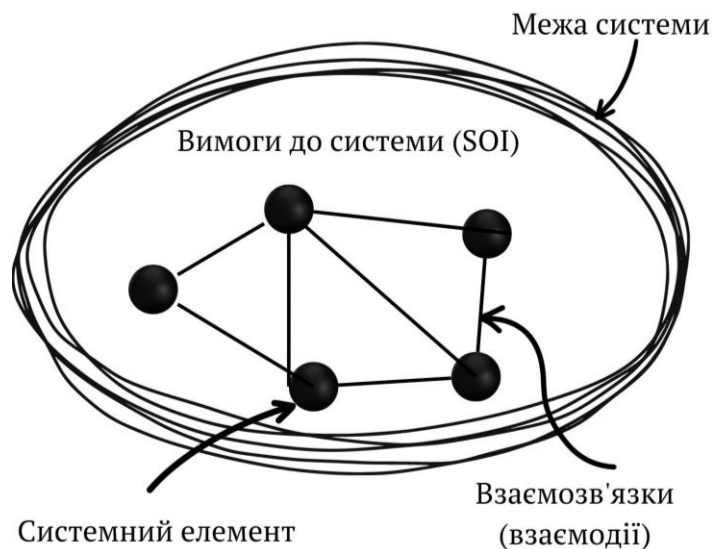


Рис. 1.1. Вимоги до системи

Основні характеристики системи включають:

1. Елементи або компоненти, що утворюють систему. Вони можуть бути матеріальними об'єктами, такими як деталі машини, або абстрактними елементами, такими як логічні блоки в програмному забезпеченні.
2. Елементи системи взаємодіють між собою, обмінюючись інформацією, енергією, матеріалами або впливом. Взаємозв'язки можуть бути прямими (один елемент впливає безпосередньо на інший) або опосередкованими (вплив здійснюється через інші елементи системи).
3. Будь-яка система має певну мету або функцію, яку вона призначена виконувати. Це може бути досягнення певного результату, забезпечення певних послуг або подолання певних обмежень.
4. Система може мати різні властивості, такі як швидкість реакції, надійність, ефективність, гнучкість або безпеку. Ці характеристики визначаються її структурою, елементами і способом взаємодії.
5. Система може мати механізми управління, які контролюють її роботу, забезпечують належне функціонування та досягнення поставлених цілей.

Системи можуть знаходитися в різних галузях, включаючи техніку, науку, біологію, соціальні науки, інформаційні технології та багато інших.

Вони використовуються для створення складних продуктів, розв'язання складних проблем та вдосконалення процесів у різних сферах діяльності.

Існує багато різних класифікацій та типів систем залежно від критеріїв, за якими вони можуть бути класифіковані. Ось декілька загальноприйнятих типів систем:

- Закриті / відкриті системи. Відкрита система взаємодіє зі своїм операційним середовищем — вона приймає вхідні дані з цього середовища через свої межі і повертає вихідні дані через ті самі межі у зовнішнє середовище. Закрита система ізольована від зовнішнього навколишнього середовища.

- Природні / створені людиною / модифіковані людиною системи. Природні системи містять природні елементи і є результатом природних процесів. Системи, створені людиною, виникають завдяки зусиллям людей і можуть містити елементи, створені людиною, або природні елементи, адаптовані до цілей, розроблених людиною. Природні системи, які були модифіковані для потреб людини, називаються системами, зміненими людиною.

- Фізичні / концептуальні системи. Фізичні системи існують у фізичній формі. Концептуальні системи не мають фізичної форми.

- Попередні / безпрецедентні системи. У попередній системі подібні такі системи (або, принаймні, більшість елементів системи) були створені раніше. Безпрецедентна система — це система, яка раніше не створювалася. Системи, які містять переважно безпрецедентні елементи, є результатом досліджень і розробок.

Автоматизовані системи керування (АСК) електротехнічними та мехатронними комплексами відносяться до фізичних систем, оскільки вони мають фізичну форму та складаються з фізичних компонентів, таких як датчики, пристрої керування та автоматизації. Ці системи є ключовими компонентами багатьох сучасних промислових та технологічних рішень, які дозволяють оптимізувати та автоматизувати процеси управління та контролю

над системами, обладнанням та процесами в різних галузях. Застосування АСК розповсюджене у виробничих лініях, енергетиці, транспорті, будівництві, хімічній та нафтовій промисловості, медицині та багатьох інших сферах.

Автоматизовані системи керування забезпечують взаємодію різних компонентів системи для досягнення певних цілей та оптимальної роботи системи в цілому. АСК дозволяють автоматично керувати і контролювати процеси та параметри, регулюючи їх у реальному часі без прямого втручання людини. Це впливає на підвищення ефективності, якості, надійності та безпеки роботи систем.

Для успішної реалізації АСК необхідно забезпечити кілька ключових етапів проєктування та реалізації системи.

Перший етап - аналіз системи та визначення цілей керування. На цьому етапі вирішуються питання щодо функцій системи, параметрів контролю, встановлення вимог до системи та її компонентів.

Другий етап - розробка архітектури АСК. Цей етап охоплює вибір апаратного та програмного забезпечення, створення структури системи керування та планування процесів взаємодії між компонентами.

Третій етап - розробка та реалізація алгоритмів керування. На цій стадії розробляються математичні моделі та алгоритми, що використовуються для контролю та оптимізації системи. Ці алгоритми базуються на зборі даних з датчиків, їх обробці та прийнятті рішень щодо керування системою.

Четвертий етап - імплементація та інтеграція. На цьому етапі реалізуються апаратне та програмне забезпечення, проводяться тести та налагодження модулів системи. Інтеграція забезпечує сполучення різних компонентів системи в єдину функціональну систему керування.

Останній етап - експлуатація та підтримка системи. На цьому етапі здійснюється постійний моніторинг та підтримка роботи АСК, включаючи вирішення проблем, планове обслуговування та оновлення.

Застосування автоматизованих системи керування забезпечує зниження витрат, підвищення продуктивності, поліпшення якості, ефективного використання ресурсів та підвищення рівня безпеки промислових процесів та робочого оточення. Завдяки постійному розвитку технологій інтелектуального керування, АСК стають ще більш потужними та складними, дозволяючи досягати нових рівнів автоматизації та оптимізації різних процесів.

1.1.1. Життєвий цикл системи

Життєвий цикл системи - це концептуальна модель, яка описує етапи та процеси, через які проходить система протягом свого існування, від початку до кінця. Життєвий цикл системи охоплює фази проєктування, розробки, впровадження, експлуатації та виходу з експлуатації системи (рис. 1.2.) [6].

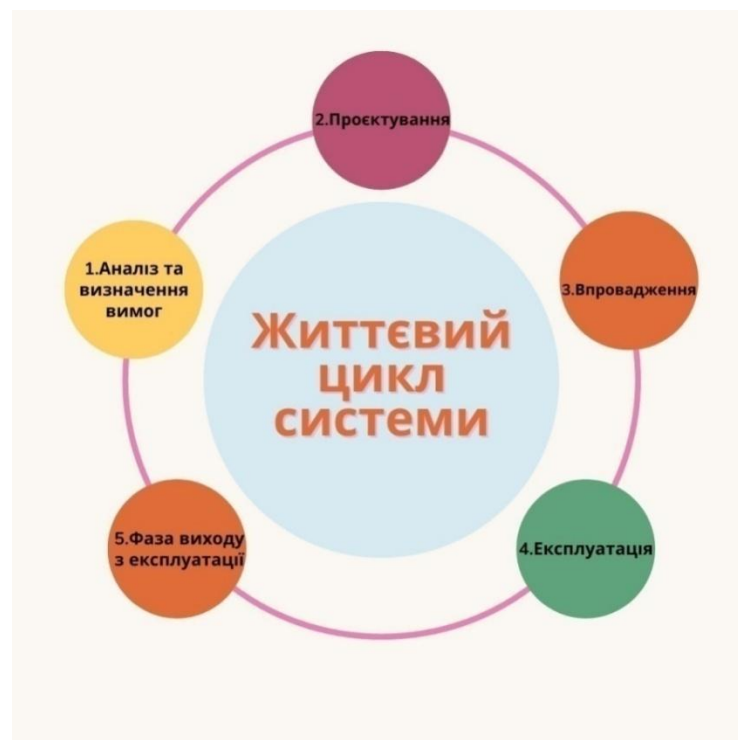


Рис. 1.2. Фази життєвого циклу універсальної системи

Основні етапи життєвого циклу системи включають:

Аналіз та визначення вимог. Встановлення потреб та очікувань замовника, визначення функціональних та технічних вимог, які повинна задовольняти система.

Проектування. Розробка концепції системи, включаючи створення архітектури, специфікацій та плану реалізації.

Впровадження. Введення системи в експлуатацію в реальному середовищі, включаючи тестування, навчання користувачів та інтеграцію з існуючими системами.

Експлуатація. Робота та підтримка системи під час її регулярного використання, включаючи усунення несправностей, оновлення та оптимізацію.

Вихід з експлуатації. Визначення та реалізація процедур щодо відключення та видалення системи з експлуатації, включаючи зняття з експлуатації обладнання, перенесення даних або перехід на нову систему.

Життєвий цикл системи допомагає організаціям керувати та планувати розвиток та управління їхніми системами. Він дозволяє забезпечити оптимальну функціональність, якість і надійність системи протягом її життя, а також уникнути недоцільних витрат і проблем, пов'язаних з застарілими системами.

Кожен етап життєвого циклу системи має свої власні завдання, процеси, ресурси та ризики, якими потрібно управляти. Ці процеси охоплюють управління вимогами, планування проєкту, розробку та тестування системи, забезпечення безпеки та захисту даних, а також управління змінними та підтримкою системи.

Розуміння концепції життєвого циклу системи допомагає інженерам та менеджерам в управлінні проєктами, прийнятті рішень щодо розвитку та модернізації системи, а також уникненні можливих проблем і недоліків у процесі реалізації системних проєктів.

1.1.2. Керування системою

У життєвому циклі системи бере участь кілька сторін. *Керівництво підприємства* встановлює напрямок для організації та управління бізнесом. *Замовник* - організація або особа, яка замовляє розробку та використання системи та визначає вимоги щодо її функціональності та якості. *Менеджер проєкту* забезпечує виконання графіків, бюджетів та будь-яких інших вимог управління проєктом. Діяльність менеджерів проєктів підтримується низкою суміжних підрозділів, включаючи системну інженерію, розробку вимог, забезпечення якості та інтегровану матеріально-технічну підтримку. Команда або організація, яка відповідає за розробку, реалізацію та технічну підтримку системи є *розробником*. Розробники стежать за виконанням вимог замовника та забезпечують належну якість та функціональність системи. Окрім операційного персоналу, персоналу з придбання та підтримки, в організації-замовника є багато інших, які зацікавлені в успішній реалізації проєкту. Ці зацікавлені сторони можуть включати представників управлінської, фінансової, операційної, постачання, технічного обслуговування та матеріально-технічної сфери організації [18].

Постачальник (розробник) системи може поставити систему готовою або розробити її, у другому випадку постачальник виступає у ролі розробника. *Постачальник* може бути внутрішньою організацією замовника (еквайєром). Сьогодні все частіше зустрічаються випадки, коли постачання або розробка виконується сторонньою організацією, яка називається *підрядником*, суб'єктом, відповідальним за постачання (можливо, шляхом проєктування та розробки) системи для задоволення вимог замовника.

Відносини між замовником і підрядником залежать від певного проєкту, але визначаються умовами контракту між двома сторонами. У багатьох випадках підрядник не може виконати всю необхідну роботу і передає пакети робіт кільком *субпідрядникам*. Умови, що стосуються цієї роботи, описані у відповідному договорі субпідяду.

Відповідальність за різні етапи життєвого циклу системи розподіляється між підприємством (або організацією), в якому буде працювати кінцева система. На рис. 1.3 показано, що за початкову фазу перед придбанням відповідає керівництво підприємства, яке здійснює бізнес-планування та створює бізнес-обґрунтування для проєктів, необхідних для підтримки організації. Після цього розробляється проєкт, який дозволяє менеджеру проєкту використовувати ресурси організації для закупівлі системи. Після завершення збору даних і роботи системи нею керують користувачі та здійснюється підтримка системи відповідними службами. Всі сторони залучені на всіх етапах життєвого циклу, при цьому ролі та обов'язки кожної сторони змінюються між етапами.



Рис. 1.3. Відповідальність за різні етапи життєвого циклу системи

1.2. Головні положення щодо інжинірингової діяльності

Господарські відносини характеризуються своїм змістом і механізмами впровадження в правове поле. При виборі моделі регулювання таких відносин можуть виникнути складнощі, особливо на етапі

ідентифікації відповідного законодавства, норм та найбільш оптимальних інструментів.

У випадку інжинірингової діяльності, особливо в контексті зовнішньоекономічної діяльності, такі складнощі можуть виникати з особливою суттєвістю. Це особливо стосується трансферту технологій та переміщення послуг, зокрема у випадку підприємств, які зареєстровані як нерезиденти, але фактично здійснюють свою діяльність в Україні.

Ці складнощі виникають насамперед у зв'язку з потребою визначення відповідного правового регулювання та вимог щодо інжинірингових проєктів, а також забезпечення додержання відповідних стандартів та норм як на внутрішньому, так і на міжнародному рівні.

Відповідно до законодавства України, визначення інжинірингової діяльності у галузі будівництва міститься в Законі "Про архітектурну діяльність" [7]. Цей закон визначає інжинірингову діяльність у будівництві як комплекс послуг інженерного та технічного характеру. Ця діяльність охоплює проведення попередніх техніко-економічних обґрунтувань і досліджень, експертизу проєкту, розробку програм фінансування будівництва. Також до інжинірингової діяльності входить організація виготовлення проєктної документації, проведення конкурсів і торгів, укладання підрядних договорів, координація діяльності всіх учасників будівництва.

Крім того, інжиніринг охоплює процес здійснення технічного нагляду за будівництвом об'єкта архітектури та надання консультаційних послуг економічного, фінансового або іншого характеру.

Відповідно до Національного класифікатора України ДК 009:2010 [8] "Класифікація видів економічної діяльності", інжинірингова діяльність відноситься до секції М "Професійна, наукова та технічна діяльність" і має код 71.12.

Згідно з цим класифікатором, інжинірингова діяльність охоплює такі сфери:

- промислове будівництво;
- проектування інженерних споруд, гідротехнічних споруд і транспортного будівництва;
- проекти управління водними ресурсами;
- проекти у сфері електроніки та електротехніки;
- проекти у видобувній інженерії;
- проекти хімічної технології;
- машинобудування;
- організацію виробництва;
- системотехніку;
- техніку безпеки;
- проектування систем кондиціонування, охолодження.

Відповідно до статті 14 підпункту 14.1.85 Податкового кодексу України [9], інжиніринг визначається як надання послуг (виконання робіт) у таких напрямках: складання технічних завдань і проектних пропозицій; проведення наукових досліджень і техніко-економічних обстежень; виконання інженерно-розвідувальних робіт у будівництві об'єктів; розроблення технічної документації і проектування об'єктів техніки і технології; надання консультацій та авторського нагляду під час монтажних та пусконаладжувальних робіт; надання консультацій, пов'язаних із зазначеними послугами і роботами.

Система державних стандартів у сфері будівництва та архітектурної діяльності відіграє важливу роль у нормативно-правовому регулюванні інжинірингової діяльності. Ці стандарти є важливими в інжинірингу через специфіку послуг і процедур, пов'язаних з цією галуззю. Дотримання відповідних будівельних, проектних та експлуатаційних стандартів є необхідним, оскільки інжинірингові підприємства займаються створенням і обслуговуванням об'єктів, пов'язаних зі значними ризиками для користувачів. Аналіз державних стандартів та будівельних норм є важливим як для забезпечення якості інжинірингових послуг, так і для контролю за

виконанням технічних вимог будівництва та експлуатації об'єктів нерухомості інжиніринговими підприємствами.

Основними стандартами в інжиніринговій діяльності є:

- ДБН А.1.1-1:2009 "Система нормування та стандартизації у будівництві. Основні положення";
- ДБН В.2.5-23:2010 "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення";
- ДБН В.2.5-67:2013 "Опалення, вентиляція та кондиціонування";
- ДБН В.2.5-74:2013 "Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування";
- ДБН В.2.5-75:2013 "Каналізація. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування";
- ДБН В.2.5-77:2014 "Котельні";
- ДБН В.2.5-56:2014 "Системи протипожежного захисту";
- ДБН В.2.5-28-2018 "Природне і штучне освітлення";
- ДСТУ 2226-93 "Автоматизовані системи. Терміни та визначення";
- ДСТУ 3451-96 "Технічні засоби для розподілених автоматизованих систем керування технологічними процесами. Загальні вимоги до спряження виробів";
- ДСТУ Б А.2.4-3:2009 "Система проєктної документації для будівництва. Правила виконання робочої документації автоматизації технологічних процесів".

Отже, інжинірингові послуги включають широкий спектр робіт, пов'язаних з розробкою проєктів, проведенням досліджень, підготовкою технічної документації, консультуванням та наглядом під час виконання різних інженерних проєктів.

Запитання для самоконтролю

1. *Що таке система з точки зору інжинірингу?*
2. *Перерахуйте основні фази життєвого циклу системи.*
3. *Хто несе відповідальність на різних етапах життєвого циклу системи?*
4. *Перерахуйте основні характеристики системи.*
5. *До якого виду економічної діяльності відноситься інжинірингова діяльність?*

РОЗДІЛ 2. ЗМІСТ ІНЖИНІРИНГОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ

- Системний інжиніринг
- Електротехнічний інжиніринг
- Інжиніринг електромехатронних систем
- Стратегія розробки нового обладнання та модернізації існуючого
- Міжнародні системи стандартів. Сертифікація та ліцензування. Оформлення правових відносин
- Запитання для самоконтролю

2.1. Системний інжиніринг

Системний інжиніринг (СІ) забезпечує структуру, в якій складні системи можуть бути адекватно визначені, проаналізовані, специфіковані, виготовлені, експлуатовані та підтримувані. Основна увага системного інжинірингу зосереджена на системі в цілому та підтримці сильного міждисциплінарного підходу. Управління проєктами, забезпечення якості, інтегрована логістична підтримка та широкий спектр інженерних дисциплін – це лише деякі з багатьох задач, які є частиною скоординованих зусиль системного інжинірингу.

СІ – це міждисциплінарний підхід і засіб, що дозволяє реалізувати успішні системи. Успішні системи повинні задовольняти потреби своїх клієнтів, користувачів та інших зацікавлених сторін. Деякі ключові елементи системної інженерії виділені на рис. 2.1 і включають [6]:

- Принципи та концепції, які описують систему як взаємодіючу комбінацію елементів, що досягають визначеної мети (цілей). Система взаємодіє зі своїм середовищем, яке може включати інші системи, користувачів і природне середовище. Системні елементи, з яких складається система, можуть включати апаратне забезпечення, програмне забезпечення, мікропрограми, людей, інформацію, техніку, засоби, послуги та інші допоміжні елементи.

- Системний інженер – це особа, яка підтримує цей міждисциплінарний підхід. Системний інженер часто допомагає з'ясувати потреби клієнтів та перетворює їх на вимоги, які розробники системи можуть реалізувати.

- Для того, щоб допомогти реалізувати успішні системи, системний інженер підтримує набір процесів життєвого циклу, починаючи з раннього концептуального проєктування і продовжуючи протягом усього життєвого циклу системи шляхом її виробництва, впровадження, використання та ліквідації. Системний інженер повинен аналізувати, визначати, проєктувати та перевіряти систему, щоб переконатися, що її функціональність, інтерфейс,

продуктивність, фізичні та інші якісні характеристики, а також вартість збалансовані для задоволення потреб зацікавлених сторін системи.

- Системний інженер допомагає забезпечити відповідність елементів системи один одному для досягнення вимог замовника і в кінцевому підсумку задовольнити потреби клієнтів та інших зацікавлених сторін, які будуть купувати і використовувати систему.

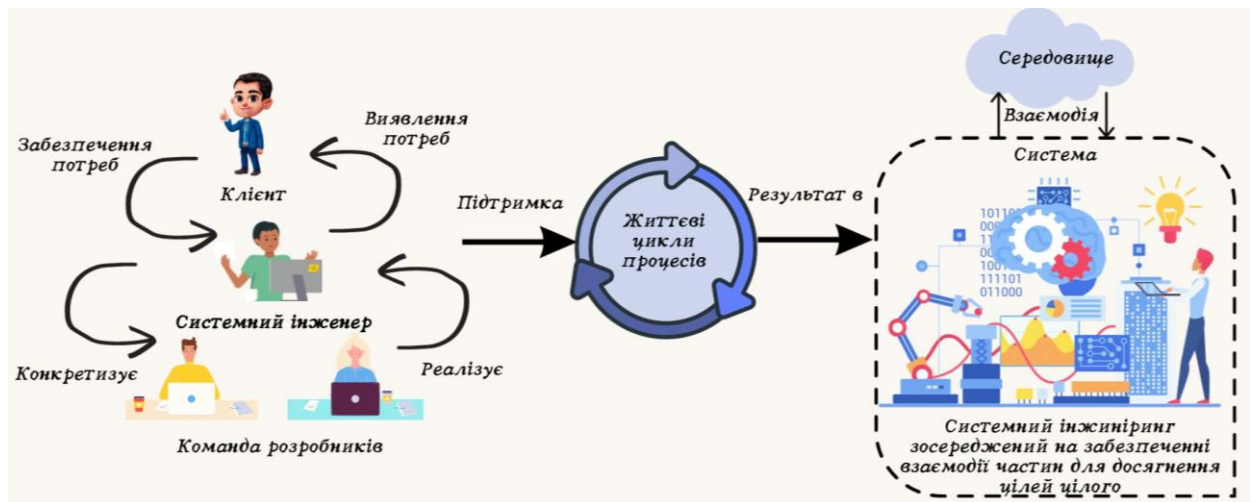


Рис. 2.1. Ключові елементи системного інжинірингу [6]

2.1.1. Сфера застосування системного інжинірингу

Сфера застосування СІ охоплює все те, що пов'язано з проєктуванням та управлінням спроектованою системою та охоплює різні галузі індустрії, де застосовуються принципи та методи системного підходу до проєктування, розробки, впровадження та управління складними системами. Деякі з таких сфер включають:

- Інформаційні технології. СІ використовується для розробки та управління складними програмними системами, базами даних, мережами, веб-додатками та іншими інформаційними системами.

- Транспорт і логістика. СІ допомагає в проєктуванні та оптимізації транспортних систем, логістичних мереж, розкладів руху, управлінні трафіком та іншими складними системами, пов'язаними з перевезенням товарів та пасажирів.

- Енергетика і електроенергетика. СІ використовується для проєктування та управління енергетичними системами, включаючи електростанції, мережі передачі електроенергії, фотоелектричні станції, вітрові установки та інші джерела енергії.

- Автомобільна промисловість. СІ використовується для розробки автомобільних систем, включаючи керування, безпеку, електроніку, комунікації та інші компоненти, а також для оптимізації виробництва і забезпеченні кібербезпеки, розробці фінансових рішень і аналітики даних, управлінні портфелем та ризиками.

- Телекомунікації. СІ використовується для проєктування та управління телекомунікаційними мережами, включаючи мобільні мережі, супутникові системи, інтернет-провайдерів та інфраструктуру зв'язку.

- Промисловий дизайн. СІ знаходить застосування в розробці продуктів та промислових систем, включаючи дизайн продукту, ергономіку, матеріалознавство і випробування продукції.

- Екологія і сталий розвиток. СІ використовується для розробки та управління екологічними системами, енергоефективними технологіями, відновлювальною енергетикою та стратегіями сталого розвитку.

- Управління проєктами. СІ використовується в управлінні проєктами складних систем, включаючи планування, керування ресурсами та сторонніми постачальниками, контроль якості та впровадження проєктів.

- Наукові дослідження. СІ використовується для проведення наукових досліджень та аналізу в різних галузях, включаючи інженерію, комп'ютерні науки, соціальні науки та біомедичні науки.

Зручним способом визначення сфери застосування СІ в інженерії та управлінні є розробка діаграми Венна.

На рисунку 2.2 показаний взаємозв'язок між СІ, впровадженням системи та управлінням проєктами/системами [6]. Такі види діяльності, як аналіз альтернативних методів виробництва, випробувань та операцій, є частиною функцій планування та аналізу СІ. Такі види діяльності, як

замовлення та монтаж обладнання виробничої лінії, а також його використання у виробництві, хоча й залишаються важливими для СІ екологічними міркуваннями, залишаються поза межами СІ. Інженерія впровадження системи також охоплює аспекти впровадження системи з виробництва програмного забезпечення.



Рис. 2.2. Межі системного інжинірингу, впровадження систем та управління проєктами/системами [6]

2.1.2. Учасники життєвого циклу системи та їх взаємозв'язки

Життєвий цикл проєкту СІ пов'язаний з агентами (об'єктами, які здійснюють дії або взаємодіють з іншими об'єктами чи системами), діями (процесами, які здійснюють агенти) та артефактами (об'єктами або матеріальними сутностями, які створені або використовуються агентами для досягнення певних цілей). Рисунок 2.3 узагальнює основних агентів,

діяльність та артефакти, що беруть участь у життєвому циклі СІ, у контексті проєкту зі створення та розвитку інженерної системи [6].



Рис. 2.3. Контекст життєвого циклу проєкту СІ та інженерної системи: пов'язані агенти, дії та артефакти [6]

Апаратне забезпечення системи (АЗ) відноситься до апаратних компонентів та охоплює фізичні пристрої, такі як процесори, модулі пам'яті, пристрої зберігання даних, інтерфейси введення/виведення, мережеві компоненти та інші електронні або механічні елементи, які складають інфраструктуру комп'ютерної системи або будь-якої іншої технологічної системи.

Програмне забезпечення системи (ПЗ) відноситься до програмних компонентів системи. Воно охоплює програми, операційні системи, утиліти та інструменти, які контролюють апаратне забезпечення та керують ним, полегшують зв'язок між апаратними компонентами та забезпечують платформу для запуску програм. Системне програмне забезпечення відповідає за такі завдання, як керування ресурсами, планування процесів, обробка операцій введення та виведення, забезпечення безпеки та забезпечення взаємодії з користувачем.

Розробка системного контролера вводу/виводу відноситься до компонента або модуля в більшій системі, який обробляє операції введення та виведення системи.

Системний контролер вводу/виводу бере участь в обробці обміну даними між системою та зовнішніми пристроями або інтерфейсами. Він контролює потік даних між центральним процесором системи (CPU) і пристроями введення (такими як клавіатури, миші, датчики) або пристроями виведення (такими як дисплеї, принтери, виконавчі механізми). Системний контролер вводу/виводу також може керувати зв'язком із зовнішніми системами або мережами.

Розробка наступної інкрементної системи зазвичай відноситься до ітераційного підходу до розробки програмного забезпечення або системної інженерії. Це передбачає роботу над наступною ітерацією або версією системи на основі попередніх версій.

У поетапному процесі розробки система виконується невеликими керованими кроками або ітераціями. Зі збільшенням кожного кроку система додає або розширює певні функціональні можливості. Метою цього підходу є надання користувачам або зацікавленим сторонам цінних і корисних доповнень до системи через регулярні проміжки часу, забезпечуючи ранній зворотний зв'язок і дозволяючи гнучку адаптацію на основі мінливих вимог або пріоритетів.

Коли розробників просять «розробити наступний крок системи», це означає, що вони повинні продовжувати працювати над розробкою системи, додаючи нові функції, покращуючи наявні функції, вирішуючи проблеми чи помилки та надаючи оновлену версію системи, яка забезпечує додаткову цінність або переваги порівняно з попереднім приростом.

Для кожної основної фази життєвого циклу проєкту спостерігаються основні агенти, які змінюють стан інженерної системи. Основні етапи життєвого циклу проєкту зображені в лівій колонці рисунка 2.3, включаючи визначення системи, початковий розвиток операційних можливостей і

виведення системи з експлуатації. Основні агенти, такі як системні інженери, системні розробники та зовнішні органи проєкту, є частиною середовища проєкту.

У контексті управління змінами в розробці системи зацікавлені сторони, такі як користувачі та власники, можуть пропонувати зміни. Ці пропозиції потребують узгодження з розробниками системи за посередництва системних інженерів. Переговори між сторонами відбуваються з урахуванням взаємозалежності ініціатив і зустрічних пропозицій через двостороннє спілкування.

Діаграма «агент-діяльність-артефакт» відображає складні взаємодії. Наприклад, зацікавлені сторони можуть запропонувати зміни для адаптації до зовнішніх збоїв або конкурентних загроз. Такі пропозиції обговорюються та аналізуються залученими сторонами та розробниками системи за участю системних інженерів, які визначають вибір оптимальних та взаємовигідних рішень.

2.1.3. Методи стандартизації

Для стандартизації та оптимізації процесів розробки та управління системами широко використовуються прийоми уніфікації, агрегування і типізації. Ці методики в системному інжинірингу допомагають забезпечити ефективну, стандартизовану та оптимізовану розробку систем, спрощуючи керування, інтеграцію, розгортання та обслуговування. Вони допомагають забезпечити скорочення часу розробки, вартості проєкту та ризику помилок шляхом використання зареєстрованих та перевірених підходів і рішень. Крім того, ці методики сприяють полегшенню співпраці та обміну знаннями між розробниками та командами, оскільки вони використовують загальні терміни, моделі та шаблони.

Уніфікація означає встановлення спільних стандартів, правил і специфікацій, що застосовуються до різних компонентів системи. Це дозволяє досягнути єдиної консистентності, сумісності та взаємозамінності

між компонентами системи. Уніфікація сприяє ефективній розробці, інтеграції та обслуговуванню систем.

Агрегатування в контексті системного проєктування відноситься до процесу створення більш великих і складних структур або систем шляхом об'єднання менших компонентів чи елементів. Цей підхід дозволяє розглядати сукупність компонентів як єдине ціле, що дозволяє виявляти і керувати загальними взаємозв'язками та властивостями, на які можливо не звернули б уваги, розглядаючи окремі компоненти.

Агрегатування може бути використане для підвищення рівня абстракції та узагальнення взаємодії між компонентами системи, а також для полегшення управління та аналізу системи у цілому.

Агрегатування розширяє сфери використання устаткування та машин шляхом заміни окремих їх вузлів і блоків (наприклад – регуляторів, двигунів, датчиків) на їх комплекси або агрегати, які забезпечують більш високий рівень функціональності та ефективності в цілому. Це дозволяє покращити продуктивність, зменшити складність управління та технічного обслуговування системи, а також сприяє зниженню загальних витрат на утримання та експлуатацію обладнання.

Типізація визначає використання стандартних типів або шаблонів для розробки системи. Ця методика охоплює визначення загальних архітектурних моделей, підходів та рішень, що можуть бути використані у подібних системах. Типізація сприяє підвищенню повторюваності, переносимості та швидкості розробки систем (наприклад - структура підпорядкованого керування координатами електроприводу або типова система «перетворювач частоти – асинхронний двигун» (ПЧ-АД) для різних механізмів).

Уніфікація, агрегатування і типізація також сприяють підвищенню якості систем шляхом застосування найкращих практик і стандартів до розробки. Використання цих методів та технік у компонентах та процесах допомагає спростувати процес тестування та верифікації системи.

2.2. Електротехнічний інжиніринг

2.2.1. Об'єкти і характеристика електротехнічного інжинірингу

Електротехнічний інжиніринг відноситься до галузі інжинірингу, яка зосереджена на розробці, проєктуванні, виготовленні та управлінні електротехнічними системами, пристроями та обладнанням.

Електротехнічний інжиніринг охоплює широкий спектр діяльності, включаючи:

- проєктування та розробку електричних систем і мереж (електропостачання, електропередача, освітлення, системи автоматичного керування, системи безпеки тощо);
- виготовлення та монтаж електротехнічного обладнання (генератори, трансформатори, розподільні пристрої, електричні панелі, кабельні системи тощо);
- технічне обслуговування, модернізацію та ремонт електротехнічного обладнання;
- впровадження технологій енергоефективності і використання відновлюваних джерел енергії;
- виконання електротехнічних розрахунків та аналізу систем для забезпечення безпеки та надійності електричних установок.

Електротехнічний інжиніринг є важливою складовою частиною багатьох галузей, включаючи енергетику, будівництво, автомобілебудування, виробництво електроніки та ін.

Електропостачання і електроосвітлення зазвичай виконується шляхом врахування вимог і потреб користувачів, визначенням відповідних освітлювальних і електротехнічних параметрів, розрахунку навантаження, вибору підходящих електротехнічних пристроїв та компонентів, а також розробки мереж живлення для забезпечення безперебійного електропостачання.

Важливим аспектом проектування є забезпечення ефективності, надійності та безпеки електротехнічних систем. Це досягається шляхом врахування стандартів, норм і правил, виконання необхідних розрахунків, заходів з захисту, резервування та заземлення, а також використання якісних матеріалів і компонентів.

Електротехнічний інжиніринг містить також питання управління енергоефективністю та сталого розвитку. Це означає забезпечення оптимального використання електроенергії, впровадження енергоефективних технологій, відновлюваних джерел енергії та моніторингу систем для підтримки екологічних стандартів.

При виконанні проєктів силового електрообладнання потрібно дотримуватися різних вимог, які забезпечують ефективність, надійність та безпеку системи. Основні вимоги включають:

1. Система повинна бути спроектована з врахуванням безпеки щодо обладнання, персоналу та користувачів, що охоплює правильний вибір захисних пристроїв, заземлення, ізоляцію та виконання правил електробезпеки.

2. Система має гарантувати надійну роботу та постійне живлення пристроїв, включаючи правильний розрахунок навантаження, вибір відповідних надійних компонентів, можливість проведення ремонтів та запасних пристроїв.

3. Система має бути економічно ефективною в споживанні енергії, здійснюючи оптимальне використання ресурсів шляхом вибору продуктивних компонентів, мінімізації втрат енергії, застосування енергозберігаючих технологій та ефективного управління навантаженням.

4. Система має бути простою в управлінні та безпечною в керуванні.

5. Розроблена система має відповідати вимогам електротехнічних стандартів та норм, що регулюють якість та безпеку електрообладнання.

6. Система повинна бути економічно доцільною, мінімізуючи витрати на обладнання, експлуатацію, утримання та ремонт.

Виконання цих вимог допомагає забезпечити оптимальну роботу силового електрообладнання, максимізувати його ефективність, надійність та довговічність.

Технічне завдання (ТЗ) при проєктуванні силового електрообладнання визначає основні вимоги та параметри, необхідні для успішної реалізації проєкту. Початкова робота над проєктом передбачає ознайомлення з завданнями на будівельні споруди, технологічне та механічне обладнання, що є потенційними складовими системи.

Під час виконання проєкту у відповідності до ТЗ, основні питання розробки розглядаються в такій послідовності:

1. Розрахунок і вибір електрообладнання. Основна задача полягає у встановленні оптимального обладнання, яке відповідає вимогам, включаючи споживану потужність, функціональні вимоги, надійність, економіку та енергоефективність. Цей етап охоплює вибір електродвигунів, перетворювачів, комутаційних пристроїв та інших компонентів.

2. Вибір розподільних електричних мереж та мережі живлення. На цьому етапі визначається структура та параметри розподільних мереж, вибираються проводка, захист, вимикачі, розподільчі щити та інші складові системи, щоб забезпечити оптимальне розподілення електричної енергії, надійність живлення та безпеку в робочих умовах.

3. Вибір системи автоматизації і управління технологічним процесом. На цьому етапі вирішується питання про вибір системи автоматизації, яка контролює та керує роботою електрообладнання. Це можуть бути системи керування освітленням, системи контролю доступу, автоматичні системи керування електропостачанням та інші. Вибір системи проводиться на основі вимог до функціональності, ефективності та безпеки.

4. Прийняття конструктивних рішень щодо встановлення електрообладнання, монтажу інформаційних і електричних мереж. На цьому етапі проводиться детальне проєктування розстановки обладнання, їхнього монтажу та розподілу інформаційних і електричних мереж. Розробляються

проекти конструкцій та монтажних робіт, враховуючи вимоги до просторового розташування, електричної безпеки, доступу для технічного обслуговування та інші фактори.

Таким чином, виконання проєкту силового електрообладнання передбачає послідовне вирішення задач, які починаються з розрахунку та вибору електрообладнання, потім переходять до вибору мереж, систем управління та автоматизації, завершуючись конкретними конструктивними рішеннями щодо встановлення обладнання та монтажу мереж. Цей підхід дозволяє розробити оптимальну і функціональну систему силового електрообладнання, відповідну вимогам і потребам проєкту.

2.2.2. Нормативно-технічні документи

В електротехнічному інжинірингу використовуються різні нормативно-технічні документи, які встановлюють вимоги і стандарти для проєктування, монтажу та експлуатації електротехнічних систем. Основні нормативні документи включають:

1. Національні та міжнародні стандарти. Наприклад, в електротехнічному інжинірингу використовуються міжнародні стандарти ІЕС (Міжнародна електротехнічна комісія) та національні стандарти (ДСТУ), які встановлюють вимоги до безпеки, електробезпеки, маркування, випробувань та інших аспектів електротехнічних систем. До них відносяться:

- ДСТУ ISO 128-30:2005 — національний стандарт України, який визначає загальні принципи оформлення технічних креслеників, зокрема, правила подання видів. Цей стандарт охоплює всі типи технічних креслеників, використовуваних в таких галузях, як машинобудування та електротехніка. Він є частиною серії стандартів ISO 128, які регулюють креслення та графічну документацію.

- ДСТУ EN 60027-1:2022 — національний стандарт України, що регулює використання літерних символів в електротехніці. Він визначає загальні вимоги до символів, які застосовуються в технічній документації,

включаючи їх формати та значення. Стандарт є адаптацією міжнародного документа ІЕС 60027-1, що забезпечує уніфікацію та стандартизацію символів, що використовуються в різних електротехнічних пристроях і системах.

- ДСТУ EN 61310-2:2017 — національний стандарт України, який визначає вимоги до безпеки машин. Він охоплює позначення, маркування та процедури приведення в дію обладнання. Стандарт має на меті забезпечення зрозумілого та безпечного використання машин, а також захисту користувачів від можливих небезпек, пов'язаних з їх експлуатацією. Цей стандарт є адаптацією міжнародних норм ІЕС 61310-2:2007 і містить специфікації, які повинні бути дотримані при маркуванні машин.

- ДСТУ EN 50274:2016 — національний стандарт України, що регулює вимоги до устаткування розподілу та керування низьковольтним комплектом для забезпечення захисту проти ураження електричним струмом. Стандарт містить основні вимоги до проектування, виготовлення та випробування електричних установок, щоб гарантувати їх безпечну експлуатацію. Він узгоджений з європейськими нормами, що сприяє гармонізації технічних вимог і підвищенню безпеки в електричних системах.

2. Правила технічної експлуатації. Ці документи встановлюють вимоги до експлуатації електротехнічного обладнання та систем. Наприклад, правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕЕС) встановлюють основні вимоги до організації та технічного обслуговування електроустановок. Ці принципи включають забезпечення безпечної експлуатації для працівників, проведення регулярних перевірок та обслуговування електроустановок, ведення необхідної документації та технічних записів, а також підготовку персоналу до роботи з електроустаткуванням шляхом навчання та інструктажу..

3. Нормативні документи щодо електробезпеки. Вони забезпечують безпеку електротехнічних систем і включають в себе правила та рекомендації для запобігання небезпекам, пов'язаним з електричним струмом. Наприклад,

норми електробезпеки НПАОП українського стандартизаційного органу у сфері охорони праці (НПАОП 60.1 охоплює правила безпеки та охорони праці для працівників залізничного транспорту).

4. Регуляторні документи. Ці документи встановлюють правила і вимоги, що стосуються електротехнічного обладнання, його сертифікації, маркування та використання. Наприклад, директиви Європейського Союзу (Технічний регламент з електромагнітної сумісності обладнання розроблено на основі Директиви 2014/30/ЄС Європейського Парламенту та Ради від 26 лютого 2014 р.), які встановлюють гармонізовані стандарти та вимоги для електротехнічного обладнання на європейському ринку.

5. Технічні умови (ТУ) та технічні вимоги. Ці документи встановлюють специфікації, які повинні виконуватися під час розробки, виробництва та постачання електротехнічного обладнання. Вони включають такі аспекти, як параметри, характеристики, якість, випробування та вимоги до документації.

6. Проєктні норми та рекомендації. Ці документи встановлюють рекомендації та розрахунки, що допомагають визначити оптимальні параметри та режими роботи електротехнічних систем. До цієї категорії можуть входити проєктні норми, рекомендації проєктування, розрахункові методики, вимоги щодо проведення випробувань тощо.

Такий перелік нормативно-технічних документів не є вичерпним, адже він може варіюватися залежно від конкретної країни, галузі, галузевих стандартів, проєктованої системи та інших факторів. У роботі по електротехнічному інжинірингу важливо керуватися актуальними нормативно-технічними документами, які відповідають місцевим вимогам та стандартам безпеки, щоб забезпечити правильну та безпечну реалізацію проєктів.

2.3. Інжиніринг електромехатронних систем

Інжиніринг електромехатронних систем охоплює комплекс професійних дій та методів, спрямованих на розробку, проєктування, виробництво та експлуатацію систем, які поєднують електричну, механічну та комп'ютерну технології. Ця інженерна галузь фокусується на створенні та оптимізації складних систем, де взаємодіють електромеханічні компоненти та системи керування.

Процес інжинірингу електромехатронних систем містить кілька етапів, таких як аналіз вимог, проєктування, моделювання, виготовлення, тестування, впровадження та підтримку. Цей підхід потребує широкого спектру знань та навичок в галузях електротехніки, механіки, електроніки, програмування та автоматизації.

Інжиніринг електромехатронних систем знаходить застосування у багатьох галузях, включаючи автомобілебудування, промислову автоматизацію, біомедичну техніку, робототехніку, електроніку споживчого призначення та інші. Розробка та оптимізація електромехатронних систем дозволяє досягати покращеної ефективності, надійності та функціональності таких систем.

2.3.1. Розробка електроприводів електротехнічних комплексів з використанням стандартних засобів автоматизації

Розробка автоматизованих електроприводів електротехнічних та мехатронних комплексів з використанням стандартних засобів дозволяє скоротити час та витрати на розробку систем електроприводу, спрощує інтеграцію компонентів та забезпечує більш швидке впровадження проєктів. Використання типових засобів також сприяє стандартизації та уніфікації систем електроприводу, що полегшує обслуговування, заміну запасних частин та модернізацію.

Цей підхід особливо ефективний в сферах масового виробництва, де можна використовувати однакові елементи для різних механізмів і

комплексів, що дає економію витрат на закупівлю, виробництво та обслуговування. Крім того, використання типових засобів у створенні автоматизованих електроприводів дозволяє забезпечувати високу надійність та стандартні характеристики систем.

Процес створення автоматизованих електроприводів для механізмів, машин або електротехнічних комплексів з використанням типових засобів вимагає знань в галузі електротехніки, автоматики, механіки, програмування та системного проєктування. Метою є створення оптимальних технічних рішень, які задовольняють вимоги замовника, забезпечують ефективну та надійну роботу механізмів і комплексів.

Завдання створення автоматизованих електроприводів механізмів, машин і комплексів на базі типових засобів охоплює наступні кроки:

1. Аналіз вимог і визначення параметрів. На цьому етапі проводиться аналіз потреб замовника, встановлюються вимоги до функціональності, продуктивності, безпеки та інших характеристик системи електроприводу.

2. Вибір типових засобів. Основна ідея полягає в використанні стандартизованих елементів або компонентів, таких як електродвигуни, контролери, регулятори, приводи, кабелі, датчики та інші. Вибір типових засобів здебільшого зумовлений їх доступністю, надійністю, вигодою у використанні та економічністю.

3. Проєктування системи електроприводу. На цьому етапі розробляються інженерні рішення, включаючи складання схем, вибір необхідного обладнання, розрахунок потужності, проєктування електричної мережі, підбір компонентів та їх інтеграція для досягнення потрібних функцій та характеристик системи електроприводу.

4. Монтаж і впровадження. Після розробки системи електроприводу проводиться монтаж компонентів, підключення до електричної мережі, налаштування і перевірка роботи системи. Готову систему вводять в експлуатацію, забезпечуючи необхідну підтримку та обслуговування.

Більшість задач з розробки нових або модернізації існуючих електромехатронних систем для конкретного об'єкта можуть бути вирішені з використанням типових уніфікованих засобів електроприводу і елементів автоматизації.

Структура автоматизованого технологічного комплексу змішувача із використанням багатодвигунної електромеханічної системи представлена на рисунку 2.4 . Вона складається із трьох нерегульованих шнекових дозаторів і електродвигуна змішувача, продуктивність якого змінюється від частотного перетворювача.

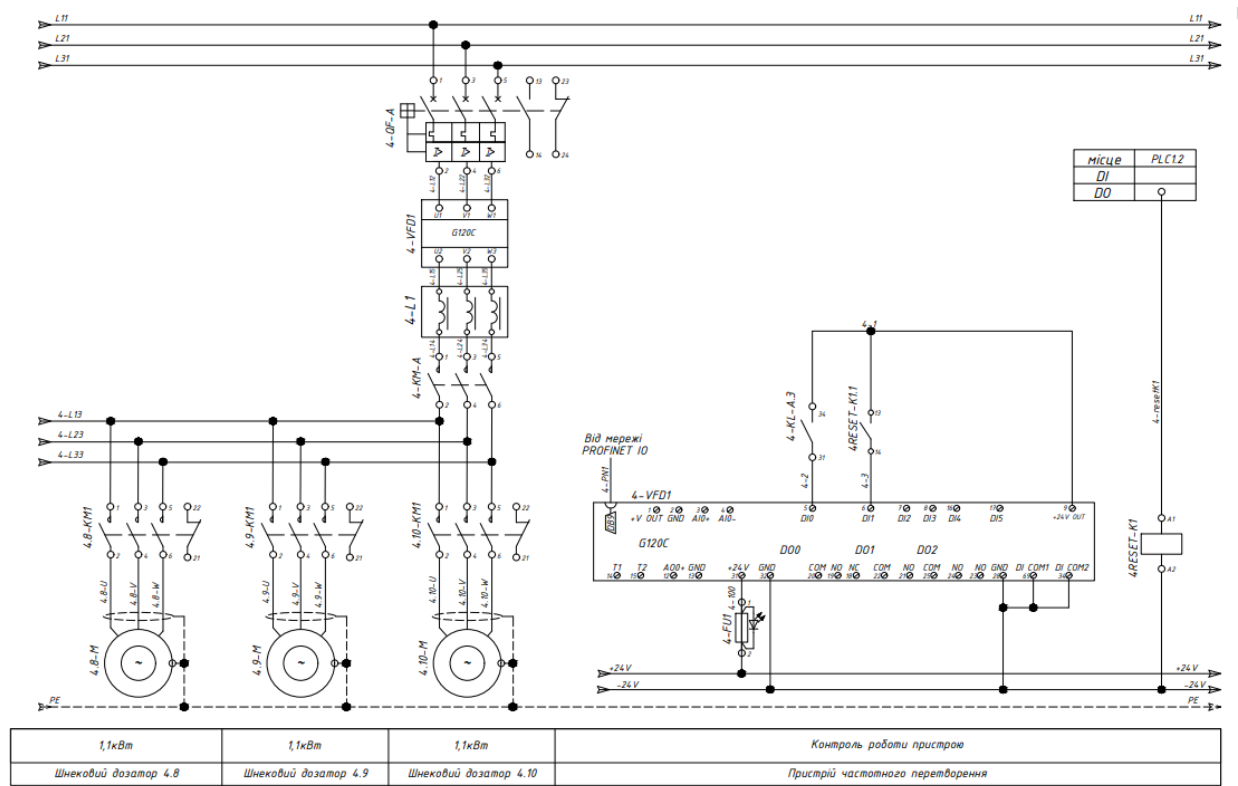


Рис. 2.4. Типова структура автоматизованого технологічного комплексу дозування

Така типова структура може включати наступні компоненти:

1. Джерело живлення, яке як правило, є мережею змінного струму або постійного струму, з якої живляться електродвигуни та інші компоненти системи.
2. Електродвигуни, які перетворюють електричну енергію в механічну, забезпечуючи рух механізмів та компонентів технологічного

комплексу. Багатодвигунний електропривід може містити кілька електродвигунів, кожен з яких контролюється окремо.

3. Регулятори обертів, які відповідають за управління роботою електродвигунів. Вони забезпечують подачу потрібної кількості електричної енергії до електродвигунів, контролюють їх швидкість або переміщення, відповідно до вимог технологічного процесу.

4. Датчики вимірюють різні параметри в системі, такі як швидкість, потужність, температура, тиск тощо. Ці дані передаються до зовнішнього контролера системи автоматизації або безпосередньо регулятора обертів для аналізу та прийняття відповідних рішень щодо управління електромеханічною системою в цілому.

5. Комунікаційна мережа, яка забезпечує зв'язок між різними компонентами системи електроприводу або верхнім рівнем системи автоматизації. Вона може включати проводові або бездротові засоби передачі даних та управління.

6. Програмне забезпечення, яке встановлюється на контролері системи автоматизації або комп'ютері системи збору даних і відповідає за керування та діагностику під час роботи електроприводу. За його допомогою також можна налаштовувати режими роботи, встановлювати параметри, моніторити поточний стан електромеханічної системи та збирати дані для аналізу.

Розглянемо загальні питання розрахунку вибору і проєктування автоматизованих електроприводів.

Розрахунок автоматизованого електроприводу пов'язаний з розрахунком потужності електродвигуна та максимального крутного моменту, який виконується в залежності режимів роботи механізмів технологічного обладнання (тривалий, короткочасний, повторно-короткочасний тощо) і швидкісних та навантажувальних діаграм.

Вибір системи електропривода проводиться відповідно до типу електромережі, споживаної потужності, максимальної швидкості, режимів роботи і перевантажувальної здатності електродвигуна.

При розрахунку, виборі та проєктуванні автоматизованих електроприводів необхідно притримуватись наступних дій:

- ретельно визначити вимоги до системи електроприводу, таких як точність позиціонування, динамічні характеристики при відпрацюванні завдання, діапазон регулювання, технологічні вимоги експлуатації та інші фактори, оскільки саме вони є ключовим кроком при розрахунку;

- залежно від задачі та вимог до точності та плавності регулювання, визначити, якій будуть використовуватися типи двигунів, а саме асинхронні, синхронні, крокові, безколекторні, колекторні. Вибір залежить від споживаної потужності, керованості, точності, енергоефективності та багатьох інших факторів;

- в залежності від характеру напруги живлення (постійний або змінний струм) визначитися з типом регулятора обертів і його функціоналом для забезпечення відповідного контролю над електродвигунами. Врахування таких факторів, як забезпечення широкого діапазону регулювання за допомогою ШІМ – перетворення, та можливість активації ПД – регулювання технологічного параметру, наявність мережевих протоколів комунікації, зручного програмного забезпечення для налаштування та моніторингу роботи системи; можуть бути важливим для оптимального вибору;

- при проєктуванні автоматизованого електроприводу важливо враховувати передаточні відношення між електродвигунами та кінцевими механізмами шляхом розрахунку оптимального коефіцієнта передачі за моментом і швидкістю для досягнення відповідних характеристик руху;

- при проєктуванні автоматизованих систем електроприводу важливо враховувати параметри живлення, які включають потужність, напругу, та струм, і здійснювати розрахунки кабельних провідників,

номінальну потужність системи електропостачання для забезпечення потрібного рівня безпеки та ефективності;

- визначити доступність режимів керування електродвигуном в регуляторах обертів, таких як векторне керування швидкістю, положенням або моментом, наявність можливості підключення датчика швидкості двигуна для реалізації режиму сервокерування;

- здійснити розрахунок та встановлення захисних пристроїв, таких як захист від перевантаження, перегріву, перенапруги, замикання між фазами і на землю, а також урахування нормативних вимог щодо безпеки праці;

- перед введенням системи в експлуатацію, необхідно здійснити інтеграцію всіх компонентів та проведення випробувань для переконання у правильності функціонування та відповідності вимогам.

У разі застосування систем прямого асинхронних короткозамкнених двигунів або синхронних двигунів із електромагнітним збудженням з асинхронним пуском може виникати перевантаження електричної мережі під час пуску. Це пов'язано з високим початковим струмом, який виникає при пуску короткозамкненого асинхронного двигуна або при асинхронному пуску синхронного двигуна.

Для запобігання перевантаженню мережі та забезпечення стабільності електросистеми можуть застосовуватися наступні рішення:

- використання пристроїв плавного пуску, що забезпечує поступове збільшення напруги та струму та сприяє плавному запуску двигуна без різкого перевантаження мережі;

- використання частотного приводу, що дозволяє контролювати швидкість та струм двигуна, регулюючи частоту живлення та зменшує початковий струм, знижуючи навантаження на електричну мережу;

- застосування компенсуючих пристроїв, таких як ємностні батареї або компенсатори реактивної потужності для компенсації реактивної потужності та зниження навантаження на мережу;

- важливо провести ретельний аналіз і розрахунок потужності електричної мережі, враховуючи всі пускові струми та навантаження. При необхідності можуть бути вжиті заходи по підвищенню потужності мережі, заміні трансформатора або установці компенсуючого обладнання.

Техніко-економічне порівняння редукторного приводу та безредукторного тихохідного двигуна містить оцінку ефективності, розміру і маси, точності, вартості та ремонтпридатності. Вибір залежить від конкретних вимог проєкту, бюджету та уподобань замовника.

Редукторні приводи можуть мати певні втрати ефективності через передачу потужності через зубчасті пари. У той же час, безредукторні тихохідні двигуни зазвичай мають вищу ефективність, оскільки потужність передається безпосередньо від двигуна до вихідного валу.

Редукторні приводи вимагають додаткового простору для монтажу, оскільки вони включають в себе зубчасті пари. У порівнянні з цим, безредукторні тихохідні двигуни зазвичай компактніші і легші.

Безредукторні двигуни можуть забезпечувати більшу точність, оскільки не містять люфтів і зазорів в механічних частинах, що корисно для певних додаткових вимог, наприклад, точного позиціонування. Однак, редукторні тихохідні двигуни можуть бути менш складними для налаштування та обслуговування.

Ціна безредукторних приводів може бути вищою, внаслідок великої вартості їх виготовлення, у порівнянні із класичними високообертовими двигунами. Редукторні двигуни можуть виявитися економічно вигіднішими внаслідок їх розповсюдженості і низької вартості окремих вузлів.

Незважаючи на вищевказане, в цілому, перехід на безредукторні електроприводи і мехатронні модулі є перспективним напрямком розвитку приводної техніки. В той же час слід пам'ятати, що в Україні питання швидкої заміни одного безредукторного двигуна на інший може зайняти певний час внаслідок їх невеликого розповсюдження. Це може привести до

значних економічних втрат, особливо це відноситься до безперервно-потоківих виробництв.

При виборі системи електроприводу слід уважно враховувати характер навантаження, яке генерує робочий механізм, чи то стабільне, нерівномірне, пульсуюче або з великими струмовими піками. Управління вирівнюванням моменту двигуна для регульованих електроприводів з нерівномірними чи пульсуючими навантаженнями стає складним завданням через необхідність збільшення механічної інерції для приглушення коливань, що уповільнює їх реакцію. У випадках, коли в навантаженні є піки струму, проводиться додаткова перевірка навантаження приводів на перенавантаження. Якщо привід не здатний контролювати можливі перевантаження, необхідно встановити належний захист чи систему керування, що обмежує струм та момент двигуна, а також керує динамічними навантаженнями в механічних передачах (екскаваторний електропривод) чи пружних елементах (підйомні машини, стрічкові конвеєри).

Сучасні проекти нового технологічного обладнання в основному базуються на використанні систем автоматизованих електроприводів змінного струму. У таких проєктах електроприводи постійного струму складають невелику частку. Це свідчить про загальний тренд до використання систем змінного струму у сучасних технологічних рішеннях, які можуть забезпечити більшу гнучкість і продуктивність у порівнянні з системами з постійним струмом.

У проєктах із модернізації існуючого обладнання в Україні зазвичай виникають складнощі через використання застарілих регульованих електроприводів постійного струму з застарілими системами управління. Це може призводити до високих рівнів енерговитрат у технологічних процесах з необхідністю глибокого регулювання швидкості. Для покращення продуктивності та енергоефективності важливо розглядати можливість заміни застарілого обладнання на сучасніші або впровадження сучасних технологічних рішень для оптимізації процесів у промислових галузях.

Існують чотири основні підходи до модернізації існуючого обладнання в автоматизованих електроприводах, які включають заміну аналогових та релейно-контактних систем керування на цифрові, використання мікропроцесорних вузлів для управління електроприводами постійного струму, заміну тиристорних блоків комплектних електроприводів транзисторними ШІМ-перетворювачами і повну модернізацію автоматизованих електроприводів на системи змінного струму із використанням синхронних та асинхронних двигунів. Ці підходи спрямовані на підвищення ефективності, надійності та функціональності систем управління та автоматизації промислового обладнання.

2.3.2. Оцінка і визначення оптимального варіанту системи

У процесі проєктування складних систем можуть бути кілька незалежних критеріїв якості, які не завжди співпадають. Наприклад, потрібно розробити систему, яка забезпечить максимальну динамічну точність для будь-якої регульованої змінної (швидкість, момент, продуктивність, напір, тиск і т. д.), при цьому мінімізуючи електроживлення в режимах переходу і режимах сталої роботи, маючи також мінімальну вартість і визначену надійність. Для узгодження цих окремих критеріїв використовують узагальнені критерії. Зазначений критерій становить основу прийняття рішень щодо вибору структури електромехатронної системи, засобів та алгоритмів управління серед безлічі наявних варіантів.

Для визначення оптимального варіанту системи необхідно:

- ретельно вивчити вимоги проєкту, включаючи потужність, швидкість, точність, навантаження, ефективність, розмір, вагу, робочі умови та інші фактори;
- дослідити різні технічні варіанти систем, такі як різні типи приводів, компонентів, технологій та конфігурацій;
- встановити критерії для оцінки кожного варіанту;

- провести ранжування і ваговий аналіз, використовуючи числові методи, такі як аналіз балів, аналітична ієрархічна процедура (АНР) або інші методи ранжування, щоб встановити значимість кожного критерію.
- провести оцінку економічних аспектів кожного варіанту, включаючи вартість компонентів, встановлення, обслуговування, енергоспоживання, тривалість експлуатації, потенційний дохід або заощадження;
- порівняти та вибрати оптимальний варіант, зібрати інформацію, проведеної оцінки та аналізу для кожного варіанту;
- перевірити вибраний варіант системи, враховуючи технічну реалізованість, наявність компонентів на ринку, технічні можливості замовника та інші важливі фактори.

2.3.3. Синтез засобів електромехатронних систем

Синтез засобів електромехатронних систем передбачає поетапну розробку і реалізацію компонентів, їх інтеграцію та тестування з метою створення оптимальних технічних рішень. Під час синтезу важливо ураховувати вимоги ефективності, надійності, енергоефективності та інших технічних та експлуатаційних характеристик.

Цей процес охоплює вибір та поєднання компонентів, матеріалів, технологій та конструкцій з метою досягнення заданих технічних параметрів та функціональності електромехатронних систем. При цьому враховується не лише робота окремих компонентів, але й їх взаємодія як інтегрованої системи.

Під час синтезу можуть застосовуватися різноманітні методи та підходи, включаючи математичне моделювання, оптимізацію, технічний аналіз та експериментальні дослідження для забезпечення оптимального вибору та розвитку елементів електромехатронних систем.

Аналіз об'єкта управління і можливих варіантів побудови електромехатронної системи містить:

1. Визначення вимог до системи охоплює функціональні параметри, такі як точність позиціонування та швидкість реакції, експлуатаційні критерії, наприклад, надійність та енергоефективність, а також інші фактори, які відповідають потребам користувача та конкретним умовам експлуатації.

2. Після визначення вимог важливо відібрати відповідні компоненти для системи, які можуть включати різноманітні типи електродвигунів, датчики, виконавчі механізми, контролери та інші елементи, що відповідають технічним критеріям системи, з урахуванням якості, ринкової доступності та вартості компонентів.

3. Під час етапу проєктування системи важливо розробити концептуальну структуру системи, яка охоплює основні компоненти, зв'язки між ними та їх взаємодію, з метою забезпечення оптимальної ефективності, раціонального використання декомпозиції та інтеграції.

4. Наступний крок полягає у розробці алгоритмів керування системою та охоплює створення логіки керування, обробку сигналів, алгоритми регулювання та керування режимами роботи системи. Особлива увага приділяється адаптивному керуванню, оптимальному регулюванню та координації роботи різних компонентів системи.

5. Перед фізичною реалізацією системи рекомендується здійснювати моделювання та симуляцію для перевірки правильності та ефективності спроектованих алгоритмів та режимів роботи, що сприятиме виявленню можливих проблем та вдосконаленню системи перед її фізичною реалізацією.

6. Останнім етапом синтезу є оцінка та затвердження методів контролю розробленої системи, що охоплює проведення випробувань, вимірювань та аналіз результатів з метою перевірки відповідності системи встановленим вимогам та документованим специфікаціям..

Важливо пам'ятати, що синтез засобів електромехатронних систем - це ітеративний процес. Після оцінки та затвердження методів контролю можуть виникнути виявлені проблеми або знайдені можливості для поліпшення, що вимагає повернення до попередніх етапів для уточнення

проєкту. Такий цикл повторюється до досягнення оптимального результату та вимог користувача.

2.3.4. Розробка систем автоматизації з децентралізованою архітектурою

У сучасному технологічному ландшафті децентралізація стає не лише тенденцією, але й ключовою концепцією в розробці систем автоматизації. Децентралізована архітектура, яка передбачає розподіл функцій та контролю між різними компонентами системи, є кроком у напрямку від вкоріненої централізації до більш гнучкого та ефективного підходу до розробки програмного забезпечення.

Децентралізована система забезпечує взаємодію та обмін інформацією між різними вузлами без необхідності централізованого контролю. Це дозволяє збільшити надійність та гнучкість системи.

Прикладами таких систем можуть служити:

1. Система автоматизації електроприводів для вантажного ліфта.

- Налаштування електродвигуна для оптимального підйому та спуску вантажу.
- Керування рухом ліфта з використанням позиційних датчиків.
- Автоматичне управління дверима кабіни.

2. Система автоматизації електроприводів для конвеєрної лінії у виробництві.

- Регулювання швидкості руху конвеєра відповідно до обсягу виробництва.
- Синхронізація роботи різних смуг конвеєрів для надійного та ефективного переміщення.
- Використання датчиків для виявлення перешкод та автоматичне припинення руху конвеєра в разі необхідності.

3. Система автоматизації електроприводів для робота-маніпулятора у виробничому процесі.

- Контроль за рухами робота-маніпулятора під час зборки або обробки виробів.
- Програмне встановлення різних режимів роботи для різноманітних завдань.
- Використання сучасних алгоритмів та штучного інтелекту для оптимізації траєкторій та робочих операцій робота-маніпулятора.

Поетапна розробка систем автоматизації є важливим процесом, що охоплює кілька критичних етапів від початкового аналізу об'єкта управління до впровадження нових функціональних завдань для подальшого розвитку системи. Цей підхід дозволяє не лише точно та ефективно впроваджувати автоматизовані рішення, але і забезпечує їхню надійність, ефективність та готовність до майбутніх змін, підвищуючи загальну якість та продуктивність систем автоматизації в різних областях.

Можна виділити такі основні етапи розробки систем автоматизації:

1. На *етапі аналізу об'єкта управління* визначаються функції системи автоматизації та встановлюються вимоги до комплексу апаратно-програмних засобів. В результаті виконання цього етапу буде розроблена деталізована схема об'єкта управління з переліком датчиків та виконавчих механізмів.

2. На *етапі розробки структури системи автоматизації* формуються характеристики комплексу апаратно-програмних засобів та проводиться аналіз і опис функціонування системи автоматизації. В результаті виконання цього етапу будуть сформовані вимоги до алгоритмів та параметри локальної мережі системи автоматизації.

4. На *етапі розробки схемної документації* комплексу апаратних засобів виконується оцінка вартості системи автоматизації, вибір оптимальних рішень та забезпечення експлуатаційної надійності. В результаті виконання цього етапу буде сформоване техніко-економічне обґрунтування розробки та підготовки схемної документації.

5. На *етапі визначення складу комплексу програмних засобів системи автоматизації* виконується оцінка вартості програмних засобів, визначення

взаємодії функціонального завдання та засобів інтерфейсу. На цьому етапі будуть створені програмне забезпечення, інструкції та проведене ознайомлення розробників з програмними засобами.

6. *Етап оцінки працездатності і ефективності розроблених алгоритмів* у складі апаратно-програмних засобів системи автоматизації спрямований на підвищення їх ефективності та експлуатаційної надійності. В результаті буде підготовлена інструкція по експлуатації та діагностиці системи автоматизації.

7. *Етап коректування комплексу програмних засобів* забезпечує експлуатаційну надійність програмного забезпечення. На цьому етапі буде налагоджене та відкориговане програмне забезпечення разом із зміненою документацією.

8. *Етап формалізація функцій персоналу*, що працює в складі системи автоматизації, спрямований на забезпечення ефективності застосування засобів інтерфейсу. Результатом цього етапу будуть посадові та виробничі інструкції персоналу системи автоматизації.

9. На *етапі визначення шляхів розвитку системи автоматизації* проводиться аналіз та узагальнення можливостей для реалізації нових функціональних завдань та розвитку існуючих. Цей етап також охоплює підготовку переліку нових функціональних завдань і технічного завдання для їх ефективної реалізації в системі автоматизації.

В якості прикладу розглянемо схему комплексної автоматизації технологічного процесу водопідготовки з використанням обладнання японської фірми OMRON рис. 2.5 [11].

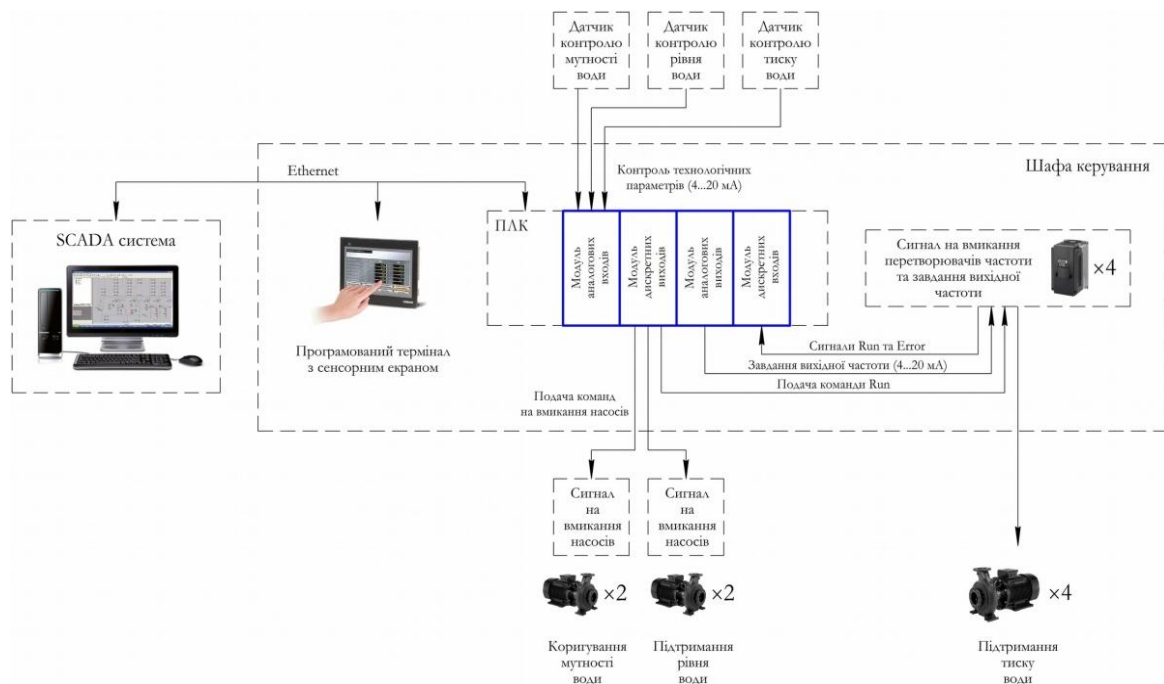


Рис. 2.5. Структурна схема системи керування блоком накопичення та подачі вихідної води фірми OMRON [11]

Система керування блоком накопичення та подачі вихідної води входить у загальну систему керування лінією водопідготовки. Вона базується на ПЛК Omron CJ2M-CPU34 та містить наступні функціональні модулі розширення:

- модуль дискретних входів Omron CJ1W-ID231 для контролю стану перетворювачів частоти (сигнали нормальної роботи (Run) та аварії (Error));
- модуль дискретних виходів Omron CJ1W-OD212 для подачі команд вмикання електродвигунів насосів коригування мутності води, підтримання рівня води в накопичувальній ємності та запуску перетворювачів частоти;
- модуль аналогових входів Omron CJ1W-AD081-V1 для підключення датчиків мутності води, тиску води в накопичувальній ємності (опосередкований контроль рівня води) та тиску води на виході системи;
- модуль аналогових виходів Omron CJ1W-DA041 для формування задання швидкості для частотних перетворювачів.

Для контролю, керування та зміни налаштувань системи використовується панель оператора Omron NB10W-TW01B. Для дистанційного контролю та управління технологічним процесом в режимі

реального часу застосовується ПК з встановленим програмним забезпеченням візуалізації технологічного процесу Omron CX-Supervisor. Для інших блоків лінії системи керування будуються аналогічним чином.

2.4. Стратегія розробки нового обладнання та модернізації існуючого

Стратегія розробки нового обладнання та модернізації існуючого є ключовим моментом, який визначає напрямки технічної еволюції підприємства. Цей стратегічний план встановлює шляхи розвитку для оптимізації виробничих процесів, впровадження новітніх технологій та підвищення конкурентоспроможності. Він визначає стратегічні кроки, необхідні для досягнення поставлених цілей, забезпечуючи ефективну роботу, високу якість продукції та стійке місце підприємства на ринку.

Одним із ключових документів, що описує стратегічний план дій для підприємства або певного бізнесу є *бізнес-план*. Він містить детальний опис мети бізнесу, його цілей, стратегій і планів розвитку. Бізнес-план служить основою для прийняття рішень, мобілізації ресурсів та проведення дій для досягнення успіху в бізнесі.

Реалізація успішного бізнес-плану може бути поділена на декілька етапів:

- маркетингове дослідження ринку та аналіз цільової аудиторії;
- визначення ключових характеристик продукту чи послуги, які відповідають потребам споживачів;
- вивчення та порівняння технологій, використовуваних конкурентами;
- аналіз вимог споживачів щодо якості, ціни, обсягу товару чи послуги;

При створенні нового обладнання та модернізації старого можна користуватися таким описом:

Створення нового обладнання:

- опис цілей для створення нового обладнання;
- технічний опис нового обладнання, включаючи його функціональні можливості, технічні характеристики та переваги у порівнянні з існуючими рішеннями на ринку;
- розробка бізнес-моделі для реалізації бізнес-стратегії і досягнення фінансової вигоди, залучення нових клієнтів або розширення ринку;
- розробка плану впровадження, включаючи розробку, виготовлення, тестування, постачання та навчання персоналу;
- фінансовий аналіз показників, таких як вартість будівництва, очікувані надходження і витрати, прибутковість проєкту та строк окупності.

Модернізація існуючого обладнання.

- опис необхідності модернізації;
- аналіз існуючого обладнання з оцінкою поточного стану обладнання, його недоліки, обмеження та витрати на його експлуатацію;
- опис технічних змін та покращень в існуюче обладнання;
- визначення переваг модернізації, які очікується отримати в результаті модернізації, такі як підвищена продуктивність, зниження енергоспоживання, поліпшення якості продукції тощо.
- фінансовий аналіз затрат на модернізацію, прибутковість проєкту, очікувані економії та строк окупності.

2.4.1. Маркетингові дослідження

Маркетингові дослідження є процесом збору та аналізу інформації про ринок, споживачів, конкурентів та інші аспекти, що стосуються маркетингу. Вони мають на меті отримати узагальнені вимоги до обладнання, які допоможуть компанії розуміти та відповідно реагувати на потреби та попит споживачів, а також встановити стратегічні орієнтири для розвитку бізнесу.

Маркетингові дослідження можуть включати такі етапи:

1. Визначення цілей дослідження.

2. Планування дослідження, що в свою чергу містить встановлення методології, вибір методів збору даних, розробка плану опитування або спостережень.

3. Збір даних, який зводиться до здійснення опитувань, проведення ринкових досліджень, аналіз даних про конкурентів, споживачів та інших релевантних джерел.

4. Аналіз даних, що охоплює обробку, інтерпретацію та аналіз збору даних для визначення ключових залежностей, тенденцій та узагальнених властивостей.

5. Формулювання висновків та рекомендацій з оглядом результатів дослідження, визначення ключових висновків та розробки рекомендацій для стратегічного прийняття рішень.

6. Звіт про дослідження.

Визначення потенційних покупців - це процес ідентифікації та аналізу груп людей або організацій, які можуть мати інтерес до придбання продукту або послуги компанії. Цей процес містить збір інформації про цільову аудиторію, аналіз її потреб, вподобань, поведінки та характеристик для виробництва маркетингової стратегії.

Визначення потенційних покупців є важливим етапом маркетингового процесу, оскільки дозволяє зорієнтувати маркетингові зусилля на максимально ефективний спосіб залучення та задоволення потреб цільової аудиторії. Розуміння потенційних покупців допомагає підприємствам розробляти продукти, комунікаційні стратегії та маркетингові кампанії, спрямовані на досягнення успіху на ринку.

Для визначення потенційних покупців можуть використовуватися наступні методи:

1. Маркетингове дослідження, що включають збір та аналіз інформації про ринок, включаючи демографічні дані, поведінку споживачів, їх потреби та переваги.

2. Розбиття ринкової аудиторії на групи зі схожими характеристиками (сегментація ринку), такими як вік, стать, географічні місця проживання, доход, інтереси, поведінка тощо.

3. Опис та створення "профілю" типового представника цільової аудиторії, включаючи їх демографічні дані, особисті характеристики, цінності та інтереси.

4. Аналіз конкурентів та їхньої цільової аудиторії, виявлення ніш та можливостей для привертання уваги покупців.

5. Використання підходу "Buyer Persona", що охоплює створення прототипів ідеальних покупців, що базуються на вимогах ринку, характеристиках та поведінці мікро-цільових аудиторій.

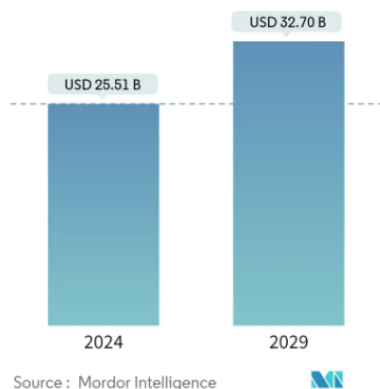
6. Аналіз отриманих відгуків, коментарів та звернень споживачів щодо продукту або послуги, що надаються компанією.

7. Використання інструментів веб-аналітики, соціальних медіа аналітики, опитувань, фокус-груп та інших методів для дослідження поведінки цільової аудиторії.

Приклад.

Маркетингове дослідження зосереджується на виробниках розумних електроприводів, розділених за категоріями товарів (приводи змінного струму, приводи постійного струму, сервоприводи), напругою електроприводу, галуззю кінцевого споживача та географічним розподілом.

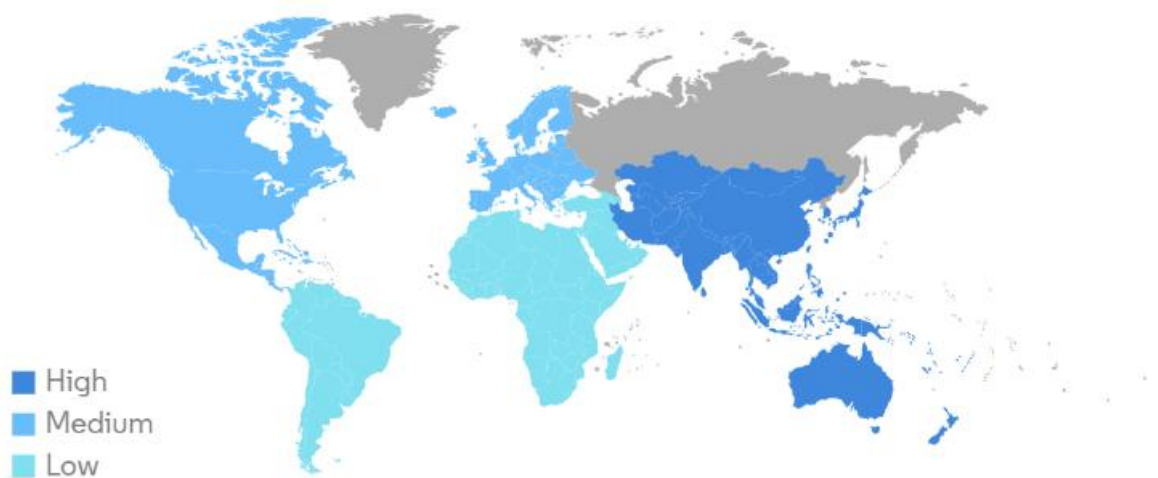
Electric Drives Market
Market Size in USD Billion
CAGR 5.10%



Період дослідження	2019 - 2029 роки
Розмір ринку (2024)	25,51 мільярда доларів США
Розмір ринку (2029)	32,70 мільярда доларів США
CAGR (2024 - 2029)	5,10 %
Найшвидше зростаючий ринок	Азіатсько-Тихоокеанський регіон
Найбільший ринок	Азіатсько-Тихоокеанський регіон
Основні гравці	ABB Life is On Schneider Electric SIEMENS RA Rockwell Automation Danfoss

Рис. 2.6. Розміри ринку та прогнози щодо вироблення електроприводів [19]

Прогнозується, що Азіатсько-Тихоокеанський регіон стане найбільш розвиненим районом. Цей регіон активно розвивається завдяки швидкому росту галузей кінцевого споживача, таких як нафта та газ, водопостачання та водовідведення, хімічна та нафтохімічна промисловість, виробництво продуктів харчування та напоїв, виробництво електроенергії, системи опалення, вентиляції та кондиціювання повітря, целюлозно-паперова промисловість, різні галузі та інші сектори на вивченому ринку.



Source: Mordor Intelligence

Рис. 2.7. Маркетингові дослідження з виробництва електроприводів по регіонам [19]

2.4.2. Визначення ключових характеристик продукту чи послуги, які відповідають потребам споживачів

Приклад.

Електричні приводи мають критичне значення у ряді аспектів, таких як енергозбереження, підвищення продуктивності, спрощення систем та скорочення часу, коли ядерні реактори припиняють свою роботу. Наприклад, під час нормальної експлуатації, коли необхідно швидко охолодити активну зону реактора, декілька потужних рециркуляційних насосів з напругою 6 кВ працюють одночасно, контролюючи понад 100 параметрів. Цей аспект

відіграє значну роль у загальних енерговитратах атомних електростанцій. Зниження витрат на електроенергію при цьому може сягнути 50%, що сприяє також зменшенню викидів CO₂.

Також визначено, що електродвигуни відповідають за близько 65% електроенергії, споживаної у промисловості, відтак потенціал збереження енергії за допомогою низьковольтних двигунів у промисловості величезний. За прогнозами Еххон Мобіл, до 2040 року глобальний попит на електроенергію сягне близько 35,3 петават-годин (рис. 2.8). Це сприятиме зростанню ринку протягом прогнозованого періоду.

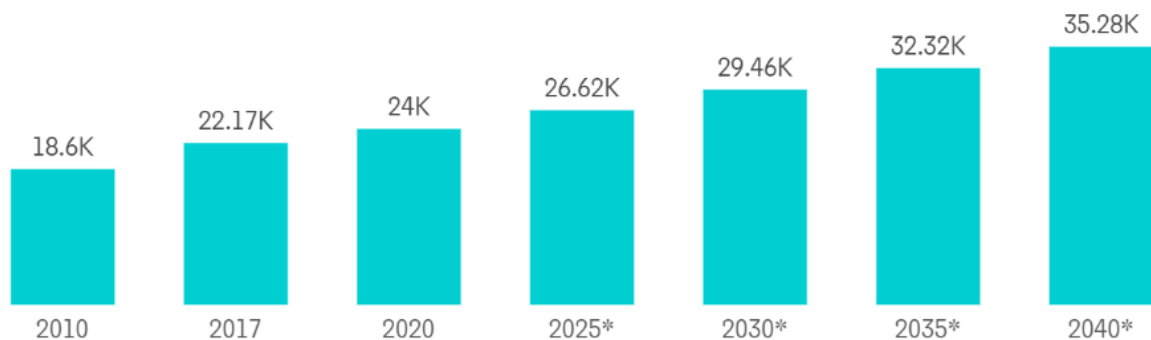


Рис. 2.8. Глобальний попит на електроенергію [19]

2.4.3. Вивчення та порівняння технологій, використовуваних конкурентами

Ринок електроприводів представлений компаніями-лідерами, такими як ABB Ltd, Siemens AG, Danfoss, Rockwell Automation Inc. і Schneider Electric SE, які використовують стратегії партнерства та інновацій для покращення продуктів та досягнення конкурентної переваги.

Лідери ринку електроприводів

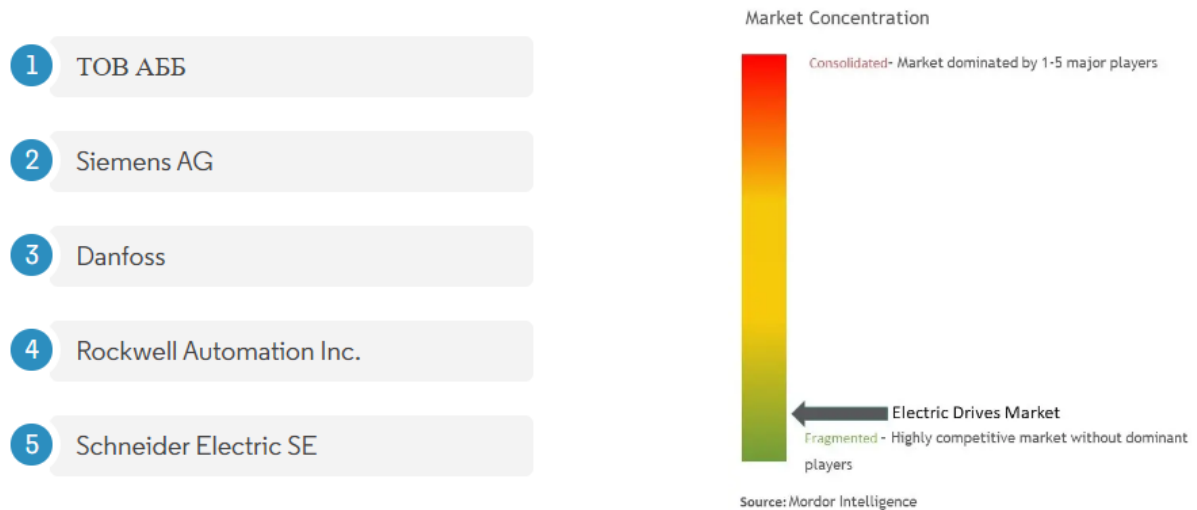


Рис. 2.9. Основні компанії з виробництва електроприводів [19]

У 2023 році Siemens представив систему сервоприводу SINAMICS S200, ідеальну для різних галузей, з багатофункціональними можливостями. Ця система підходить для дотримання високої точності та динаміки у виробництві акумуляторів та електроніки.

У цьому ж році АБВ випустила VFD середньої напруги з потужністю від 400 до 1000 кВ. Ця модель ACS2000 VFD, призначена для широкого спектру застосувань, особливо у секторах з вироблення цементу, гірництва, металургії, целюлози, електроенергії, хімії, нафти та газу.

2.4.4. Аналіз вимог споживачів щодо якості, ціни, обсягу товару чи послуги.

Аналіз вимог споживачів передбачає дослідження та оцінку того, що клієнти очікують від товарів або послуг. Цей процес охоплює вивчення побажань споживачів щодо якості продукту, його ціни, обсягу, а також інших важливих аспектів.

Оцінюючи якість, компанії аналізують, наскільки продукт відповідає стандартам та очікуванням споживачів. Ціна також грає значущу роль, оскільки вона визначає доступність товарів для цільової аудиторії. Обсяг

товару чи послуги стосується кількості, якість яких клієнти очікували б отримати.

1. Вимоги до якості:

✓ Надійність і довговічність. Для промислових споживачів важливо, щоб системи електроприводу працювали без збоїв тривалий час, оскільки це безпосередньо впливає на безперервність виробничого процесу. Наприклад, підприємства, що займаються виробництвом сталі або автомобілів, вимагають надійних електроприводів, які витримують високі навантаження і часті робочі цикли.

✓ Енергоефективність. Оскільки витрати на електроенергію складають значну частину експлуатаційних витрат, споживачі вимагають електроприводи, які оптимізують споживання енергії. Енергоефективні моделі допомагають знизити загальні витрати на енергію та відповідати екологічним стандартам.

✓ Продуктивність і точність. У таких галузях, як харчова промисловість або фармацевтика, точність управління та можливість налаштування електроприводів є критично важливими для забезпечення якості продукції. Високоточні приводи дозволяють точно контролювати швидкість та позиціонування механізмів.

2. Вимоги до ціни:

✓ Оптимальне співвідношення ціни і якості. Споживачі не завжди шукають найдешевші варіанти, але вони очікують, що вартість електроприводів відповідатиме їхній якості та функціональним можливостям. Компанії, які займаються серійним виробництвом, готові інвестувати в дорожчі, але більш енергоефективні та надійні системи, що забезпечать довгострокові економічні вигоди.

✓ Знижки за великі обсяги замовлення. Великі промислові компанії часто очікують знижок при закупівлі великих обсягів електроприводів. Це дозволяє знизити одиничну вартість продукції та оптимізувати бюджет.

3. Вимоги до обсягу товару чи послуги:

✓ Гнучкість у постачанні. Виробники обладнання можуть мати різні потреби в обсягах електроприводів, залежно від виробничих замовлень. Важливо, щоб постачальники могли адаптуватися до змін обсягів замовлення і швидко реагувати на запити, забезпечуючи необхідну кількість продукції.

✓ Швидкість доставки. Промислові клієнти, які потребують заміну або модернізацію обладнання, очікують швидких поставок, особливо у випадках аварійних ситуацій або при планових зупинках виробництва. Важливо, щоб постачальники мали налагоджену логістику і змогли оперативно доставляти електроприводи.

✓ Сервіс і підтримка. Споживачі цінують постачальників, які пропонують не тільки самі продукти, але й якісне сервісне обслуговування. Це охоплює технічну підтримку, навчання персоналу, послуги з установки та налагодження обладнання, а також швидке вирішення проблем.

Фактори, що впливають на ціноутворення:

1. Вартість матеріалів. Подорожчання сировини, такої як мідь і сталь, впливає на вартість виробництва електроприводів. Ці метали є основними компонентами електродвигунів і кабелів.

2. Технологічні новинки. Інновації, такі як розвиток енергоефективних технологій, покращення контролю та моніторингу, можуть підвищити вартість продуктів через витрати на дослідження і розробку.

3. Попит і пропозиція. Зростання попиту на енергоефективні та автоматизовані рішення підвищує ціни, особливо на ринках, що розвиваються.

4. Економічні умови. Коливання валютних курсів, інфляція і геополітичні фактори можуть впливати на ціноутворення через зміни у вартості імпортованих компонентів і логістики.

Розуміння цих вимог допомагає виробникам і постачальникам систем електроприводу адаптувати свої продукти та послуги під потреби ринку, що дозволяє збільшити задоволеність споживачів, лояльність до бренду і

підвищити конкурентоспроможність. Такий аналіз може стати основою для розробки стратегії продажів та маркетингу, а також для покращення продуктів і послуг.

2.5. Міжнародні системи стандартів. Сертифікація та ліцензування. Оформлення правових відносин

Міжнародні системи стандартів, сертифікація та ліцензування, а також оформлення правових відносин мають взаємозв'язок у контексті забезпечення якості, безпеки та узгодженості продуктів, послуг і процесів у міжнародному масштабі.

Міжнародні системи стандартів, такі як ISO (Міжнародна організація зі стандартизації), встановлюють норми і вимоги щодо різних аспектів, таких як якість, екологічність, безпека, управління, технології тощо. Ці стандарти є загальновизнаними та мають міжнародне визнання. Вони надають основу для встановлення найкращих практик та узгоджених підходів у різних галузях.

Сертифікація та ліцензування, у свою чергу, стосуються оцінки відповідності продуктів, послуг або систем встановленим стандартам. Сертифікація здійснюється незалежними організаціями, які проводять оцінку і підтверджують, що продукти, послуги або системи відповідають вимогам стандартів. Ліцензування ж може бути пов'язане з отриманням права на використання конкретної технології, продукту або бренду, який відповідає встановленим стандартам. Оформлення правових відносин відноситься до укладання договорів та угод між сторонами, що займаються стандартизацією, сертифікацією, ліцензуванням або використанням систем стандартів. Це може включати укладання угод про сертифікацію продуктів, ліцензійних угод на використання певної технології, угод про спільний розвиток або співробітництво між організаціями.

2.5.1. Міжнародні системи стандартів

Міжнародні та національні професійні організації, а також виробники конкретної продукції, займаються вирішенням проблеми погодження різних видів людської діяльності шляхом застосування стандартизації, зокрема в сфері інжинірингу електромехатронних систем.

Основними організаціями у цій галузі є Міжнародна організація по стандартизації (ISO) та Міжнародна електротехнічна комісія (IEC). Вони спільно виробляють та розробляють стандарти, які використовуються у різних країнах і дозволяють узгодити технічні вимоги та процедури.

Крім того, існують об'єднані технічні комітети (JTC), які залучають представників різних організацій для спільної роботи над стандартами.

Участь в роботі цих міжнародних організацій беруть органи стандартизації багатьох промислово розвинених країн, включаючи Україну. Вони співпрацюють та вносять свій внесок у процес визначення стандартів, що сприяє узгодженню технічних вимог, покращенню якості продукції та сприяє технічній взаємодії між різними країнами.

Стандарт - це документ, який встановлює правила, специфікації, вимоги або критерії, що дозволяють досягти визначених результатів у певній галузі діяльності. Він є референтним документом, який використовується для забезпечення узгодженості, якості, безпеки, сумісності, ефективності та інших характеристик продуктів, процесів, послуг або систем.

Основні міжнародні стандарти представлені в табл. 2.1 [6].

Таблиця 2.1. Основні міжнародні стандарти з системного інжинірингу

Шифр стандарту	Повна назва стандарту
ISO/IEC/IEEE 15288:2023	Системна і програмна інженерія - процеси життєвого циклу системи
ISO/IEC/IEEE 24765:2017	Системна і програмна інженерія - Словник систем і програмної інженерії
ISO/IEC/IEEE 42010:2022	Системна і програмна інженерія - опис архітектури
ISO/IEC 24748-4:2016/IEEE 1220	Управління процесом системної інженерії
ISO/IEC/IEEE 29148:2018	Розробка систем і програмного забезпечення - розробка вимог

Шифр стандарту	Повна назва стандарту
ISO/IEC/IEEE 16085:2021	Системна і програмна інженерія - управління ризиками
ISO/IEC/IEEE 15939	Системна і програмна інженерія - процес вимірювання
ISO/IEC/IEEE 16326	Системна і програмна інженерія - управління проєктами
prEN9277	Управління програмами - Посібник з управління системною інженерією
EIA 632	Проектування системи
ISO 9001:2015	Системи управління якістю - вимоги
EIA-649-B	Національний узгоджений стандарт керування конфігурацією
ISO/IEC/IEEE TR 24748-1	Системна і програмна інженерія. Процеси життєвого циклу системи
ISO/IEC/IEEE TR 24748-2	Системна і програмна інженерія. Управління життєвим циклом. Частина 2: Рекомендації щодо застосування ISO/IEC/IEEE 15288 (Процеси життєвого циклу системи)
ISO/IEC/IEEE CD 24748-4	Системна інженерія програмного забезпечення - застосування та управління процесом системної інженерії
ISO/IEC DTR 16337	Довідник з системного інжинірингу
ISO/IEC/IEEE 15289:2019	Системна і програмна інженерія. Зміст інформаційних елементів життєвого циклу (документація)
ISO/IEC/IEEE 15026-1:2019	Системна і програмна інженерія. Гарантія систем і програмного забезпечення. Частина 1: Основні поняття та визначення
ISO/IEC/IEEE 15026-2:2022	Системна і програмна інженерія. Гарантія систем і програмного забезпечення. Частина 2: Гарантійний випадок
ISO/IEC/IEEE 15026-3:2023	Системна і програмна інженерія. Гарантія систем і програмного забезпечення. Частина 3: Рівні цілісності системи
ISO/IEC/IEEE 15026-4:2021	Системна і програмна інженерія. Гарантія систем і програмного забезпечення. Частина 4: Гарантія життєвого циклу
ISO 10303-233:2012	Стандарт обміну даними системного інжинірингу
ISO 31000:2018	Управління ризиками
IEC 31010:2019	Управління ризиками. Методи оцінки ризиків
ISO 19439:2006	Інтеграція підприємства. Структура моделювання підприємства
ISO 15704:2019	Моделювання та архітектура підприємства Вимоги до архітектури та методології, що орієнтуються на підприємство.
EIA 748	Системи управління отриманою вартістю

Рисунок 2.10. показує рівень деталізації та охоплення життєвого циклу системи для деяких ключових стандартів або груп стандартів.

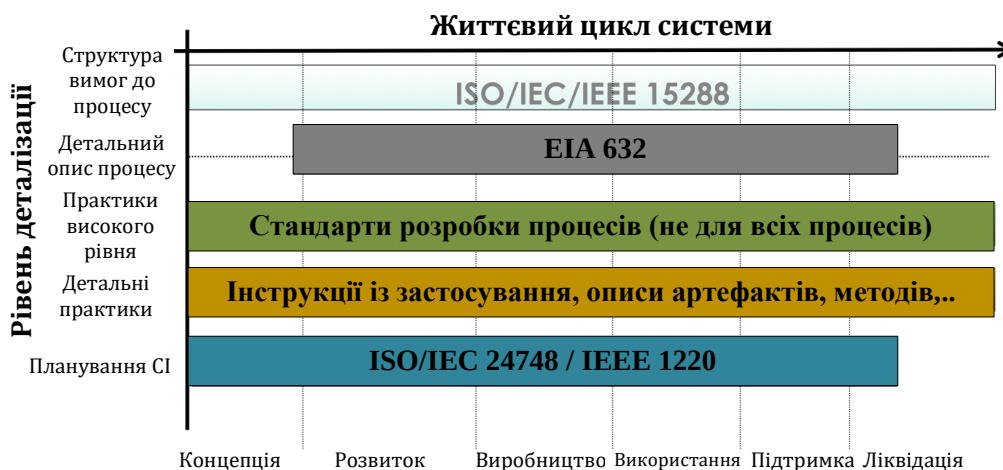


Рис. 2.10. Широта та рівень деталізації ключових стандартів системної інженерії

Метою стандартизації в Україні є:

- 1) забезпечення відповідності об'єктів стандартизації своєму призначенню;
- 2) керування різноманітністю, застосовність, сумісність, взаємозамінність об'єктів стандартизації;
- 3) забезпечення раціонального виробництва шляхом застосування визнаних правил, настанов і процедур;
- 4) забезпечення охорони життя та здоров'я;
- 5) забезпечення прав та інтересів споживачів;
- 6) забезпечення безпечності праці;
- 7) збереження навколишнього природного середовища і економія всіх видів ресурсів;
- 8) усунення технічних бар'єрів у торгівлі та запобігання їх виникненню, підтримка розвитку і міжнародної конкурентоспроможності продукції [12].

Основними організаціями, що займаються стандартизацією є таку установи:

Національний орган стандартизації України (ДП "УкрНДНЦ") — основний національний орган, що координує діяльність зі стандартизації. Він розробляє, затверджує та публікує національні стандарти України (ДСТУ).

Міністерства та державні служби. Наприклад, Міністерство економіки України, яке відповідає за загальну політику стандартизації та технічного регулювання.

Технічні комітети стандартизації (ТК). В Україні існує понад 200 технічних комітетів, які займаються розробкою стандартів у різних галузях, таких як будівництво, харчова промисловість, транспорт, енергетика тощо.

Типи стандартів в Україні:

- **Державні стандарти України (ДСТУ)** - національні стандарти, що розробляються для різних галузей економіки.
- **Міждержавні стандарти (ГОСТ).** Україна продовжує використовувати деякі міждержавні стандарти, спільні для країн колишнього СРСР, проте поступово замінює їх національними чи міжнародними стандартами.
- **Технічні умови (ТУ).** Це стандарти, що розробляються безпосередньо підприємствами для своєї продукції, і мають більш вузький характер застосування.

Інжинірингова діяльність охоплює розробку, планування, впровадження та обслуговування технічних систем і проєктів. Стандартизація в цій сфері забезпечує єдність технічних вимог, підвищує безпеку та якість інженерних рішень, а також сприяє ефективному використанню ресурсів.

Основними стандартами, що забезпечують інжинірингову діяльність є:

- ДСТУ EN ISO 9001 «Системи управління якістю. Вимоги» — це державний стандарт, що відповідає міжнародному стандарту ISO 9001:2015. Він встановлює вимоги до системи управління якістю (СУЯ) і базується на принципах управління якістю, включаючи орієнтацію на клієнта, лідерство,

залучення людей, процесний підхід, поліпшення, ухвалення рішень на основі фактів та управління взаємовідносинами. У контексті інжинірингової діяльності цей стандарт допомагає:

- забезпечити високу якість проєктування та виконання інженерних робіт;

- встановити прозорі процеси контролю якості на всіх етапах інжинірингових проєктів;

- підвищити довіру замовників та партнерів завдяки сертифікації компанії за стандартом ISO 9001.

- ДСТУ EN ISO 14001 «Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування» - встановлює вимоги до екологічного менеджменту в організації. Для інжинірингових компаній це означає:

- зменшення негативного впливу на навколишнє середовище під час реалізації проєктів;

- управління екологічними ризиками, пов'язаними з будівництвом, монтажем і експлуатацією технічних систем;

- впровадження енергоефективних рішень та зниження викидів забруднюючих речовин.

- ДСТУ EN ISO 45001 «Система управління охороною здоров'я та безпекою праці» - спрямований на забезпечення безпечних умов праці та захист здоров'я співробітників.

Для інжинірингових проєктів це виконання таких вимог:

- визначення і контроль ризиків, пов'язаних з безпекою праці, особливо на будівельних майданчиках;

- розробка заходів для мінімізації виробничих травм і захворювань;

- створення культури безпеки серед працівників та підрядників.

- ДСТУ EN ISO 55000 «Управління активами» стосується управління фізичними активами, такими як інфраструктура, машини та обладнання. В інжиніринговій діяльності це важливо для:

- ефективного управління життєвим циклом технічних систем;

- оптимізації витрат на обслуговування та модернізацію обладнання;
- підвищення продуктивності та довговічності інженерних рішень.
- Серія стандартів ДСТУ ISO/IEC/IEEE 15288:2016 «Інженерія систем і програмного забезпечення» визначає процеси і методи, що використовуються для розробки та управління складними системами. Для інжинірингових компаній це означає:
 - впровадження системного підходу до управління проєктами;
 - забезпечення узгодженості між різними етапами розробки системи, від концепції до утилізації;
 - підвищення ефективності проєктування складних технічних рішень.
- ДСТУ-Н Б А.3.1-19. Державний стандарт України, що регулює організацію і технологію будівництва. Він встановлює правила і вимоги до виконання будівельно-монтажних робіт.

Стандартизація в інжиніринговій діяльності допомагає забезпечити відповідність проєктів високим технічним, екологічним та безпековим вимогам. Використання міжнародних і національних стандартів підвищує ефективність управління проєктами, зменшує ризики та сприяє підвищенню конкурентоспроможності інжинірингових компаній на ринку.

2.5.2. Сертифікація відповідності вимогам технічних регламентів, положенням стандартів і умов договорів

Сертифікація відповідності вимогам технічних регламентів, положень стандартів і умов договорів є процесом оцінки і підтвердження відповідності продуктів, послуг або систем встановленим нормам, вимогам технічних регламентів, положень стандартів і умов договорів.

Під час сертифікації проводиться оцінка продуктів, послуг або систем з метою перевірки, чи вони відповідають встановленим стандартам, технічним регламентам і умовам договору. Цей процес може включати перевірку технічних характеристик, електротехнічної сумісності, безпеки, якості або інших факторів.

Проведення сертифікації може бути здійснене незалежними сертифікаційними організаціями, які мають відповідну компетентність та акредитацію. Після успішної перевірки забезпечується видача сертифікатів або декларацій відповідності, які підтверджують відповідність продуктів, послуг або систем встановленим вимогам.

Сертифікація відповідності є важливим елементом для забезпечення якості, безпеки та взаємозв'язку між різними сторонами, такими як виробники, постачальники, споживачі та регуляторні органи. Вона допомагає гарантувати, що продукти відповідають встановленим вимогам і можуть бути безпечно використані споживачами.

Органом з сертифікації є юридична особа або індивідуальний підприємець, акредитований в установленому порядку для виконання робіт з сертифікації.

Технічним регламентом є документ, прийнятий міжнародним договором, який встановлює обов'язкові для застосування і виконання вимоги до об'єкта технічного регулювання.

Технічні регламенти враховують такі основні фактори: ступінь ризику заподіяння шкоди здоров'ю громадян або майну фізичних і юридичних осіб. Таким чином встановлюються мінімально необхідні вимоги, які забезпечують безпеку: випромінювання, біологічну, механічну, пожежну, промислову, термічну, хімічну, електричну, ядерну, радіаційну і вибухобезпеку, а також електромагнітну сумісність, яка визначає безпеку роботи приладів, обладнання та єдність вимірювань.

Документом, що засвідчує відповідність об'єкта вимогам технічних регламентів, положенням стандартів або умовам договорів, є **сертифікат відповідності**.

Сертифікація іноземного електротехнічного обладнання в Україні є важливим етапом для забезпечення відповідності обладнання національним стандартам безпеки та якості.

Основні етапи отримання сертифікату відповідності для електротехнічної продукції:

1. Вибір акредитованого органу сертифікації.

Іноземний виробник або імпортер електротехнічного обладнання повинен звернутися до акредитованого органу сертифікації в Україні. Основними органами сертифікації для електротехнічного обладнання є:

- ДП "Укрметртестстандарт" — надає послуги з сертифікації та випробування електротехнічного обладнання.

- ДП "УкрСЕПРО" — здійснює сертифікацію продукції відповідно до національних стандартів.

2. Подання заявки та документів.

Імпортер або виробник подає заявку на сертифікацію разом з такими документами:

- опис електротехнічного обладнання (технічні характеристики, інструкції з експлуатації);
- наявні міжнародні сертифікати, такі як СЕ (Conformité Européenne);
- технічна документація, що містить результати випробувань, проведених за кордоном.

3. Надання зразків обладнання.

Для сертифікації потрібно надати зразки обладнання, які будуть перевірятися на відповідність національним стандартам. Зразки повинні відповідати тим, що буде постачатися на український ринок.

4. Проведення випробувань.

В органі сертифікації проводяться випробування обладнання. Це може включати перевірку на відповідність до таких стандартів:

- ДСТУ ІЕС 60034 — для електричних машин і двигунів;
- ДСТУ EN 61439— для комплектних розподільчих установок низької напруги;

- випробування можуть включати перевірку безпеки, енергоефективності, функціональності, стійкості до перегріву, електромагнітної сумісності (ЕМС) тощо.

5. Оцінка відповідності.

Фахівці органу сертифікації оцінюють результати випробувань і перевіряють технічну документацію. Якщо обладнання відповідає всім вимогам, готується позитивний висновок.

6. Видача сертифіката відповідності.

Після успішного проходження всіх етапів сертифікації орган сертифікації видає сертифікат відповідності. Цей документ підтверджує, що електротехнічне обладнання відповідає українським стандартам та технічним регламентам.

7. Маркування продукції.

Після отримання сертифіката відповідності обладнання може бути марковане знаком відповідності, що дозволяє його легальний продаж на території України.

8. Контроль та моніторинг.

Органи контролю можуть проводити періодичні перевірки та моніторинг, щоб забезпечити відповідність обладнання протягом його експлуатації. Це допомагає виявити можливі відхилення від стандартів та забезпечити безпеку користувачів.

Процес сертифікації іноземного електротехнічного обладнання в Україні забезпечує відповідність продукції національним стандартам безпеки та якості, що є критично важливим для безпеки та надійності електротехнічних систем в Україні.

2.5.3. Правові відносини в сфері інжинірингової діяльності

Інжинірингова діяльність є важливим елементом економіки, що охоплює широкий спектр технічних і технологічних рішень. Для

ефективного функціонування інжинірингових компаній та захисту їхніх інтересів необхідне дотримання законодавчих норм. Тому важливо розглянути основні правові аспекти, які регулюють діяльність інжинірингових фірм в Україні, включаючи питання ліцензування, договірних відносин, захисту інтелектуальної власності, технічного регулювання, охорони праці та екологічних вимог.

2.5.3.1. Ліцензування окремих видів діяльності в Україні

Ліцензування окремих видів діяльності в Україні є процесом, за допомогою якого державні органи контролюють та регулюють певні види діяльності, щоб забезпечити їх відповідність встановленим стандартам і вимогам. Ліцензування може включати перевірку відповідності технічним, правовим, безпековим та іншим стандартам.

Ліцензування в Україні регулюється низкою законодавчих актів, серед яких:

- Закон України "Про ліцензування видів господарської діяльності".
- Постанова Кабінету Міністрів України "Про затвердження Порядку ліцензування видів господарської діяльності".
- Закон України "Про електроенергетику".

Види діяльності, що підлягають ліцензуванню:

- Будівельні роботи — для виконання робіт з будівництва, реконструкції, капітального ремонту.
- Енергетика — виробництво, транспортування і постачання електричної енергії.
- Виробництво і постачання газу — видобуток, транспортування та постачання природного газу.
- Фармацевтична діяльність — виготовлення та продаж лікарських засобів.

- Торгівля алкоголем і тютюновими виробами — продаж алкогольних напоїв та тютюнових виробів.
- Охорона навколишнього середовища — діяльність, пов'язана з управлінням відходами, контролем забруднення.

Процедура отримання ліцензії охоплює такі етапи:

- Підготовка документів, що підтверджують відповідність вимогам для отримання ліцензії. Це можуть бути технічні паспорти, документи про кваліфікацію персоналу, договори, підтвердження фінансової спроможності тощо.
- Подання заявки на отримання ліцензії до відповідного ліцензуючого органу. Зазвичай, це робиться через онлайн-портали або безпосередньо в органах влади.
- Оцінка відповідності. Ліцензуючий орган перевіряє надані документи та проводить перевірку відповідності вимогам. Може бути проведено аудит або інспекція.
- Отримання ліцензії. Після успішної перевірки орган видає ліцензію, яка є офіційним дозволом на ведення зазначеного виду діяльності. Ліцензія має певний термін дії, після якого її необхідно продовжити.

Обов'язки ліцензіата:

- Дотримання вимог. Ліцензіат повинен дотримуватися всіх вимог і стандартів, передбачених ліцензією.
- Звітність. Ліцензіат може бути зобов'язаний подавати регулярні звіти або відомості до ліцензуючого органу.
- Оновлення інформації. У разі змін у діяльності, ліцензіат повинен інформувати ліцензуючий орган та, за необхідності, вносити зміни до ліцензії.

Відповідальність за порушення.

Ліцензіати, які порушують умови ліцензії або законодавство, можуть бути притягнені до відповідальності, у тому числі штрафами, анулюванням ліцензії та іншими санкціями.

2.5.3.2. Договірні відносини в інжиніринговій діяльності

Інжинірингова діяльність вимагає укладення різноманітних договорів, які визначають права та обов'язки сторін, зобов'язання щодо виконання робіт і послуг.

Основні типи договорів, що використовуються в інжиніринговій діяльності:

1. **Договір підряду.** Основний тип договору, який укладається між замовником і підрядником на виконання певних робіт. Наприклад, договір на проєктування, будівельні роботи, електромонтажні роботи. У договорі підряду визначаються обсяг і характер робіт, строки виконання, якість і вимоги до результату, вартість робіт.

2. **Договір надання послуг.** Використовується для укладання угод на консалтингові, інжинірингові, технічні послуги. Наприклад, це може бути договір надання послуг з технічного нагляду, управління проєктами, аудиту, енергоаудиту, розробки програмного забезпечення.

3. **Договір субпідряду.** Використовується для залучення сторонніх підрядників для виконання окремих видів робіт у рамках основного договору підряду. Наприклад, генеральний підрядник може укласти договір субпідряду з іншими компаніями для виконання спеціалізованих робіт (електромонтажні роботи, системи автоматизації).

4. **Договір постачання.** Укладається для забезпечення інжинірингового проєкту необхідними матеріалами, обладнанням, комплектуючими. Умови договору визначають терміни постачання, вартість, якість продукції, відповідальність за недотримання умов постачання.

5. **Ліцензійні договори.** Використовуються для надання права на використання технологій, програмного забезпечення, патентів, промислових зразків, які є об'єктами інтелектуальної власності.

Для успішного виконання інжинірингових проєктів і запобігання можливих конфліктів між сторонами, договори повинні включати такі *основні положення*:

- предмет договору - чітке визначення обсягу і змісту робіт або послуг, які повинні бути виконані; вказуються конкретні завдання, вимоги до результату, використання спеціального обладнання або технологій;
- строки виконання - визначення термінів початку і завершення робіт, проміжних етапів (міжсесійних звітів, перевірок); вказуються дати, до яких повинні бути виконані ключові етапи проєкту, можуть включати графік виконання робіт;
- вартість і порядок оплати - визначення загальної вартості робіт або послуг, способу і термінів оплати; можуть бути передбачені авансові платежі, оплата за етапами виконання робіт, остаточний розрахунок після приймання результатів;
- гарантії якості - умови щодо якості виконаних робіт або наданих послуг; можуть включати вимоги до використання сертифікованих матеріалів, дотримання стандартів якості, проведення тестувань і випробувань;
- порядок приймання робіт - визначення процедури перевірки і приймання виконаних робіт; може включати вимоги до документального оформлення результатів робіт (акти виконаних робіт, технічні звіти, сертифікати відповідності);
- відповідальність сторін - умови щодо відповідальності за недотримання умов договору; наприклад, неякісне виконання робіт, порушення строків, недотримання вимог безпеки; визначаються штрафні санкції, порядок вирішення спорів.
- форс-мажорні обставини - визначення умов, за яких сторони звільняються від відповідальності за невиконання зобов'язань через непередбачені обставини (стихійні лиха, війна, страйки); включають порядок дій сторін у випадку виникнення форс-мажору;
- права інтелектуальної власності - умови щодо прав на результати інтелектуальної діяльності, створені в рамках договору; визначаються права на використання технологій, програмного забезпечення, винаходів;

- порядок вирішення спорів - визначення механізму вирішення конфліктів і суперечок між сторонами; можуть бути передбачені способи досудового врегулювання спорів (медіація, переговори), арбітражні або судові процедури.

Для складання договорів в інжиніринговій діяльності важливо забезпечити їх правову та технічну експертизу, щоб вони відповідали законодавству та технічним стандартам, уникаючи юридичних ризиків і порушень. Договори мають бути складені чітко і деталізовано, з точними формулюваннями, щоб уникнути неоднозначностей і конфліктів. Крім того, важлива їх гнучкість і можливість адаптації до змін, таких як зміна умов проєкту чи фінансових параметрів, з дотриманням необхідних процедурних норм.

2.5.3.3. Правові відносини на ринку інтелектуальної власності

Захист інтелектуальної власності є критично важливим аспектом для інжинірингових фірм, оскільки їхні досягнення, інновації та результати діяльності часто стають об'єктами інтелектуальної власності. Ефективний захист інтелектуальної власності забезпечує компаніям конкурентні переваги, сприяє розвитку нових технологій і стимулює інноваційний розвиток.

В Україні захист інтелектуальної власності для інжинірингових фірм регламентується такими основними нормативними документами: Цивільний кодекс України, який визначає загальні принципи прав на об'єкти інтелектуальної власності, Закони України "Про охорону прав на винаходи і корисні моделі", "Про охорону прав на промислові зразки", "Про охорону прав на знаки для товарів і послуг", та "Про авторське право і суміжні права", що регулюють права на патенти, промислові зразки, торговельні марки та авторські права. Також важливим є Закон "Про комерційну таємницю", який охоплює захист конфіденційної інформації. Доповнюють національне

законодавство міжнародні угоди, такі як Паризька конвенція та Угода ТРІПС, а також постанови Кабінету Міністрів України, які деталізують порядок реалізації прав на об'єкти інтелектуальної власності.

В інжиніринговій діяльності можуть використовуватися різні види інтелектуальної власності, включаючи:

1. **Патенти** захищають технічні винаходи, нові методи, процеси, машини або пристрої, що мають новизну, неочевидність і промислову придатність. Патенти надають виключне право власнику на використання винаходу та заборону іншим особам його використовувати без дозволу.

2. **Авторські права** захищають творчі роботи, такі як програмне забезпечення, технічна документація, креслення, технічні звіти, наукові статті. Авторські права автоматично виникають з моменту створення твору і надають автору право контролювати використання свого твору.

3. **Торгові марки** захищають бренди, логотипи, назви компаній, що ідентифікують товари або послуги на ринку. Торгові марки допомагають споживачам розпізнавати продукти фірми та забезпечують захист від недобросовісної конкуренції.

4. **Комерційна таємниця** захищає конфіденційну інформацію, яка має комерційну цінність і не є загальнодоступною, наприклад, бізнес-стратегії, технічні ноу-хау, дані про клієнтів, маркетингові плани. Комерційна таємниця захищається шляхом збереження її конфіденційності.

Стратегії захисту інтелектуальної власності для інжинірингових фірм включають реєстрацію прав у Державній службі інтелектуальної власності України, що надає офіційний захист і можливість захищати права в суді; укладення договорів про конфіденційність з партнерами, підрядниками та працівниками для захисту комерційних таємниць; ліцензування інтелектуальної власності, яке дозволяє контролювати її використання та отримувати прибуток; моніторинг ринку для виявлення порушень прав ІВ та оперативне вживання заходів захисту, включаючи судові позови; а також

навчання співробітників щодо важливості захисту інтелектуальної власності та дотримання конфіденційності.

Для ефективного захисту інтелектуальної власності інжинірингові фірми можуть залучати юридичних фахівців, які спеціалізуються на питаннях ІВ. Це може включати послуги патентних повірених, адвокатів, спеціалістів з авторських прав і комерційної таємниці. Вони допоможуть скласти договори, подати заявки на реєстрацію прав ІВ, представляти інтереси компанії в судових спорах і переговорах.

2.5.4. Організаційна структура підприємства

Організаційні структури компаній відіграють важливу роль у реалізації проєктів і забезпечують ефективну взаємодію між різними підрозділами та командами. Права та обов'язки керівників і працівників встановлюються на основі організаційної структури. Крім того, типи організаційної структури впливають на ключові ролі для досягнення загальних бізнес-цілей.

Під час реалізації проєктів, інжинірингові компанії встановлюють механізми внутрішньої комунікації та координації між підрозділами. Це може включати проведення регулярних зустрічей, використання спеціалізованих програмних засобів для обміну інформацією, встановлення процедур звітності та моніторингу прогресу проєкту. Гнучкість і швидка комунікація між всіма рівнями організації є важливою для реагування на зміни, вирішення проблем і забезпечення виконання поставлених цілей.

Крім того, при реалізації проєктів, інжинірингові компанії часто співпрацюють з замовниками, підрядниками, партнерами та іншими сторонами. Така зовнішня взаємодія вимагає встановлення механізмів комунікації, узгодження вимог і ресурсів, контролю якості та вирішення конфліктів. Це може включати укладання угод, встановлення процедур спільної роботи, проведення спільних зустрічей та оцінку виконання зобов'язань.

Можна виділити такі основні типи організаційних структур підприємства:

1. Функціональна структура.

Цей тип структури базується на розподілі працівників за функціональними обов'язками, такими як проєктування, маркетинг, фінанси, виробництво і т.д. Кожен відділ має свого керівника, який відповідає за ефективне виконання відповідних функцій.

- **Переваги:** Спеціалізація працівників, покращення кваліфікації в межах однієї функції, ясність ролей та обов'язків.
- **Недоліки:** Можлива відсутність координації між відділами, що може ускладнювати роботу над міжфункціональними проєктами.

Приклад: Компанія може мати окремі відділи для проєктування, досліджень і розробок, управління проєктами, закупівель та фінансів.

2. Проєктна структура.

В проєктній структурі акцент робиться на проєктах. Співробітники з різних функціональних областей об'єднуються в команди для роботи над конкретними проєктами, і кожен проєкт має свого керівника.

- **Переваги:** Гнучкість у розподілі ресурсів, фокус на досягненні конкретних цілей проєкту, поліпшення координації.
- **Недоліки:** Можливий конфлікт ресурсів між проєктами, складність в управлінні багатьма проєктами одночасно.

Приклад: Інжинірингова фірма, яка займається будівництвом, може мати окремі команди для кожного проєкту (наприклад, будівництво мостів, доріг або будівель), де кожна команда складається з інженерів, дизайнерів, менеджерів проєктів і фінансистів.

3. Матрична структура.

Це комбінація функціональної та проєктної структур, де співробітники мають два керівника: функціонального керівника і керівника проєкту. Співробітники можуть працювати над кількома проєктами, що дозволяє ефективно використовувати ресурси.

- **Переваги:** Оптимальне використання ресурсів, краща координація між функціями та проктеами, покращення інновацій.
- **Недоліки:** Складність в управлінні, можливі конфлікти між керівниками проєктів і функціональними керівниками.

Приклад: Велика міжнародна інжинірингова компанія, така як АВВ, може використовувати матричну структуру, де інженери і технічні спеціалісти працюють над різними міжнародними проєктами, підпорядковуючись як місцевим функціональним менеджерам, так і глобальним менеджерам проєктів.

4. Географічна структура.

Цей тип структури організований за географічними регіонами, що дозволяє інжиніринговим фірмам краще задовольняти потреби клієнтів у різних регіонах і адаптуватися до місцевих умов.

- **Переваги:** Легкість управління в регіональних умовах, краще розуміння місцевих ринків і клієнтів, швидше прийняття рішень.
- **Недоліки:** Можливі труднощі з узгодженням стандартів і процедур між різними регіонами, дублювання функцій.

Приклад: Компанія, яка має глобальний бізнес, наприклад Siemens, може мати регіональні підрозділи в Європі, Азії, Америці, які керують проєктами та операціями у відповідних регіонах.

5. Мережева структура.

Ця структура полягає в координації діяльності через мережу незалежних підрозділів або партнерських організацій. Вона часто використовується для зменшення витрат і підвищення гнучкості.

- **Переваги:** Висока гнучкість, легкість адаптації до змін, швидкий доступ до нових технологій і ринків.
- **Недоліки:** Складність координації, залежність від надійності партнерів.

Приклад: Інжинірингова фірма може співпрацювати з різними субпідрядниками, постачальниками і партнерськими організаціями для реалізації різних частин проєкту.

Вибір організаційної структури інжинірингової фірми залежить від багатьох факторів, включаючи розмір компанії, характер проєктів, галузь, ринки та стратегію розвитку. Правильно вибрана структура сприяє підвищенню ефективності, покращенню комунікації і досягненню стратегічних цілей компанії.

Запитання для самоконтролю

1. *Що таке системний інжиніринг?*
2. *Назвіть основні сфери застосування системного інжинірингу.*
3. *Назвіть основних учасників життєвого циклу системного інжинірингу.*
4. *Назвіть основні методи стандартизації.*
5. *Які сфери діяльності охоплює електротехнічний інжиніринг?*
6. *Що охоплює інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем?*
7. *Назвіть основні підходи до модернізації існуючого обладнання.*
8. *Назвіть основні підходи до вибору оптимального варіанту системи.*
9. *Що в собі містить поняття «бізнес-план»?*
10. *Що в собі містить поняття «маркетингові дослідження»?*
11. *Назвіть основні міжнародні стандарти, пов'язані з інжиніринговою діяльністю.*
12. *Назвіть основну мету стандартизації в Україні.*
13. *Назвіть основні стандарти, що забезпечують інжинірингову діяльність в Україні.*
14. *Назвіть основні методи сертифікації.*
15. *Що в собі містить поняття «ліцензування»?*

16. *Назвіть основні типи договорів.*
17. *Назвіть основні види інтелектуальної власності.*
18. *Назвіть основні види організаційної структури підприємства.*

РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

- Основні стадії проєктування. Технічне завдання
- Техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень
- Вибір електрообладнання
- Забезпечення електромагнітної сумісності та надійності електрообладнання
- Запитання для самоконтролю

3.1. Основні стадії проєктування. Технічне завдання

3.1.1. Стадії проєктування і склад проєктів

Проектування електромехатронних систем є складним процесом, який поєднує електричні, механічні та програмні компоненти для створення інтегрованих систем, здатних виконувати певні функції або завдання. Мехатронні системи широко використовуються в різних галузях, включаючи промислову автоматизацію, автомобілебудування, робототехніку, медичні пристрої, побутову електроніку та багато інших.

Основні етапи проєктування електромехатронних систем.

1. Визначення вимог і цілей системи:

- Визначення функціональних і технічних вимог, які система повинна виконувати.
- Аналіз робочого середовища та умов експлуатації.
- Визначення обмежень, таких як вартість, енергоспоживання, розмір, вага тощо.

2. Концептуальне проєктування:

- Розробка концептуальної моделі системи.
- Ідентифікація основних компонентів системи: датчики, виконавчі механізми, контролери, інтерфейси.
- Вибір типу приводу (електричний, гідравлічний, пневматичний) та інших ключових компонентів.

3. Системне проєктування:

- Розробка архітектури системи, визначення структури підсистем і їхньої взаємодії.
- Вибір типу сенсорів для отримання необхідних даних (наприклад, температури, тиску, положення).
- Вибір виконавчих механізмів для здійснення механічних дій (наприклад, двигуни, соленоїди).

4. Електричне проєктування:

- Розробка схем електричних ланцюгів і вибір електричних компонентів, таких як резистори, конденсатори, трансформатори.
- Вибір мікроконтролерів або програмованих логічних контролерів (PLC) для управління системою.
- Проєктування живлення і системи захисту (наприклад, від перенапруги або короткого замикання).

5. Механічне проєктування:

- Розробка механічних компонентів системи, таких як шасі, корпуси, кріплення.
- Використання програм для тривимірного моделювання (CAD) для створення креслень і візуалізації компонентів.
- Проєктування рухомих частин і визначення типу механічної передачі (редуктори, ремені, зубчасті передачі).

6. Програмне забезпечення:

- Розробка алгоритмів управління системою, включаючи регулювання, обробку сигналів і прийняття рішень.
- Написання програмного забезпечення для мікроконтролерів або PLC, яке реалізує функції управління системою.
- Впровадження інтерфейсу користувача (якщо необхідно), який дозволяє взаємодіяти з системою.

7. Інтеграція і тестування:

- Інтеграція всіх компонентів системи і проведення тестування на відповідність вимогам.
- Тестування на реальних або змодельованих умовах роботи для перевірки функціональності, надійності та безпеки.
- Виявлення і усунення недоліків або помилок.

8. Оптимізація та вдосконалення:

- Аналіз результатів тестування і проведення оптимізації компонентів і алгоритмів.

- Внесення необхідних змін для підвищення ефективності, зменшення споживання енергії або покращення інших характеристик.

9. Документація:

- Створення технічної документації, включаючи схеми, креслення, специфікації, інструкції з експлуатації та технічного обслуговування.

- Документація повинна бути повною і зрозумілою, щоб полегшити підтримку і майбутні модернізації системи.

Стадії проєктування - це послідовні етапи, через які проходить процес розробки проєкту з метою створення нового продукту, системи чи послуги. Кожна стадія має свої особливості і завдання, і вони виконуються послідовно з початку до кінця проєктування. Розробка проєкту повинна пройти через ці стадії для досягнення успішного та ефективного результату.

Відповідно до ДБН А.2.2.-3-2014 «Склад та зміст проєктної документації на будівництво» розрізняють такі стадії проєктування [13]:

- техніко-економічне обґрунтування (ТЕО);
- техніко-економічний розрахунок (ТЕР);
- ескізний проєкт (ЕП);
- проєкт (П);
- робочий проєкт (РП);
- робоча документація (Р).

Техніко-економічне обґрунтування розробляється на основі вихідних даних для об'єктів, що використовуються у виробничих процесах або є частинами інженерно-транспортної інфраструктури. Це рішення передбачає детальне обґрунтування відповідних варіантів та оцінку доцільності будівництва такого об'єкту.

Техніко-економічний розрахунок - це аналітичний процес, який охоплює оцінку технічних та економічних параметрів проєкту або інвестиційного рішення. Його метою є визначення ефективності та доцільності реалізації проєкту з точки зору його технічних характеристик та фінансової вигоди.

Ескізний проєкт розробляється на основі вихідних даних з метою визначення вимог до містобудівних, архітектурних, художніх, екологічних та функціональних рішень. Його основні завдання - підтвердити можливість створення невиробничого об'єкта, визначити його приблизну вартість і провести інженерно-технічні розробки та створення схеми інженерного забезпечення.

Проект розробляється з метою визначення містобудівних, архітектурних, художніх, екологічних, технічних, технологічних і інженерних рішень для об'єкта. Що охоплює розробку плану містобудування, архітектурних концепцій, проєктування інженерних мереж та систем, врахування екологічних аспектів проєкту, визначення потрібних технологічних процесів та оцінку кошторисної вартості будівництва об'єкта. Мета проєкту - побудувати стратегію та наблизити проєкт до реалізації, враховуючи всі необхідні аспекти його реалізації.

Робочий проєкт розробляється для об'єктів, які мають низький рівень технічної складності, а також для об'єктів, де використовуються проєкти (проєктні рішення) з попередніх етапів, що були ухвалені на попередній стадії двостадійного проєктування. Робочий проєкт розробляється на основі вихідних даних та враховує затверджені рішення попередньої стадії проєктування. Цей етап проєкту передбачає деталізацію та конкретизацію технічних деталей, розробку документації, яка необхідна для безпосередньої реалізації проєкту.

Робоча документація - це набір документів і матеріалів, що містять докладні технічні і функціональні вказівки, специфікації, креслення, схеми, розрахунки, ескізи та іншу інформацію, необхідну для безпосередньої реалізації проєкту. Робоча документація розробляється на основі результатів попередніх етапів проєктування і слугує основою для будівництва, виробництва або впровадження проєктного об'єкта.

Робочу документацію систем автоматизації виконують відповідно до вимог ДСТУ Б А.2.4-3:2009, ДСТУ Б А.2.4-4:2009 та інших взаємопов'язаних стандартів та Єдиної системи конструкторської документації (ЄСКД).

До складу робочої документації систем автоматизації включають:

- робочі креслення, що призначені для виконання робіт з монтажу технічних засобів автоматизації;
- креслення загальних видів нетипових деталей, конструкцій та пристроїв, що призначені для встановлення приладів, у т.ч. щитів та пультів;
- специфікацію обладнання, виробів і матеріалів згідно з ДСТУ Б А.2.4-10;
- відомість потреби в матеріалах згідно з ДСТУ Б А.2.4-10**;
- відомість обсягів будівельних і монтажних робіт згідно з ДСТУ Б А.2.4-10***.

Робоча конструкторська документація є сукупністю документів, що містять конструкторські вказівки, необхідні для виготовлення та випробування дослідного зразка або партії виробу. Основними компонентами робочої документації є креслення виробу, включаючи габаритні та пакувальні креслення, технічні умови та інші документи.

У складі робочої конструкторської документації на будь-якій стадії проєктування обов'язково присутня відомість проєкту. Вона містить перелік всіх розроблених конструкторських документів, які становлять комплект документації для даного проєкту. Ця відомість є важливим елементом для систематизації та зручного пошуку необхідних документів.

Стадії проєктування виконуються:

1. Для об'єктів I та II категорій складності проєктування (категорія складності та клас наслідків (відповідальності) об'єкта будівництва визначаються відповідно до вимог ДБН В.1.2-14 та ДСТУ-НБ В.1.2-16) здійснюється:

- 1) в одну стадію - РП;

2) у дві стадії - для об'єктів невиробничого призначення –ЕП, а для об'єктів виробничого призначення та лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури - ТЕР та для обох - РП.

2. Для об'єктів III категорії складності проектування здійснюється в дві стадії:

1) П;

2) Р.

3. Для об'єктів IV та V категорій складності проектування виконується в три стадії:

1) для об'єктів невиробничого – ЕП або, за відповідним обґрунтуванням, ТЕО, а для об'єктів виробничого призначення та лінійних об'єктів інженерно-транспортної інфраструктури - ТЕО;

2) П;

3) Р.

При капітальному ремонті об'єктів допускається здійснювати проектування в одну стадію – РП [13].

3.1.2. Технічні завдання, вимоги і умови

Технічне завдання (ТЗ) - це документ, який містить докладний опис вимог і вказівок щодо розробки, виготовлення або впровадження конкретного об'єкта, системи, продукту або послуги. ТЗ встановлює технічні умови, функціональні вимоги, характеристики та вимоги до якості, термінів виконання, бюджету та інших факторів, що впливають на процес розробки або виготовлення.

У ТЗ зазвичай міститься опис мети і обсягу проєкту, вимоги до виконавця, технічні вимоги до конструкції, функціональні можливості, характеристики, вимоги до експлуатації та обслуговування, тестування, безпеки, стандартизації, документації тощо. ТЗ може бути розроблено замовником проєкту або інженерами, а також може служити основою для подальшого проєктування, виготовлення або реалізації об'єкта.

ТЗ є важливим документом, який дозволяє забезпечити взаєморозуміння і однозначність вимог між замовником і виконавцем проєкту, а також служить основою для контролю якості та ефективності виконання робіт чи проєкту.

В процесі проєктування ТЗ може коригуватися і уточнюватися.

Загальні правила складання ТЗ розглянемо на прикладі проєктування автоматизована система керування виробництвом олії маслоекстракційного заводу.

Дане ТЗ призначене для визначення основних вимог, логіки та попереднього вигляду загального екрану візуалізації системи диспетчерського управління та збору даних (далі SCADA) виробництва олії маслоекстракційного заводу.

ТЗ складається з описової частини та частини блок-схем відповідно до етапів технологічного процесу виробництва.

ТЗ описує функціональні особливості та алгоритми, які необхідно реалізувати у програмному забезпеченні (далі ПЗ) логічного обладнання, та відобразити на візуальній частині SCADA-системи.

В якості основної платформи розробки ПЗ системи автоматизації використовується середовище розробки TIA PORTAL від виробника SIEMENS, на момент складання ТЗ, версії 17. При оновленні версії середовища розробки TIA PORTAL можливе внесення змін. В даному середовищі розробки містяться програмні рішення для логічного обладнання, візуалізація SCADA-системи для ділянок (секцій) виробництва, налаштування електроприводів технологічних механізмів.

Зміст технічного завдання:

1. Загальні положення (містять інформацію про інтеграцію із системами автоматизованого керування інших підрядників, звітність відносно сировини, що надійшла та переробленої, загальний вигляд цеху підготовки, загальний вигляд цеху екстракції).

Попередній варіант загального екрану візуалізації SCADA-системи цеху підготовки показано на рис. 3.1.

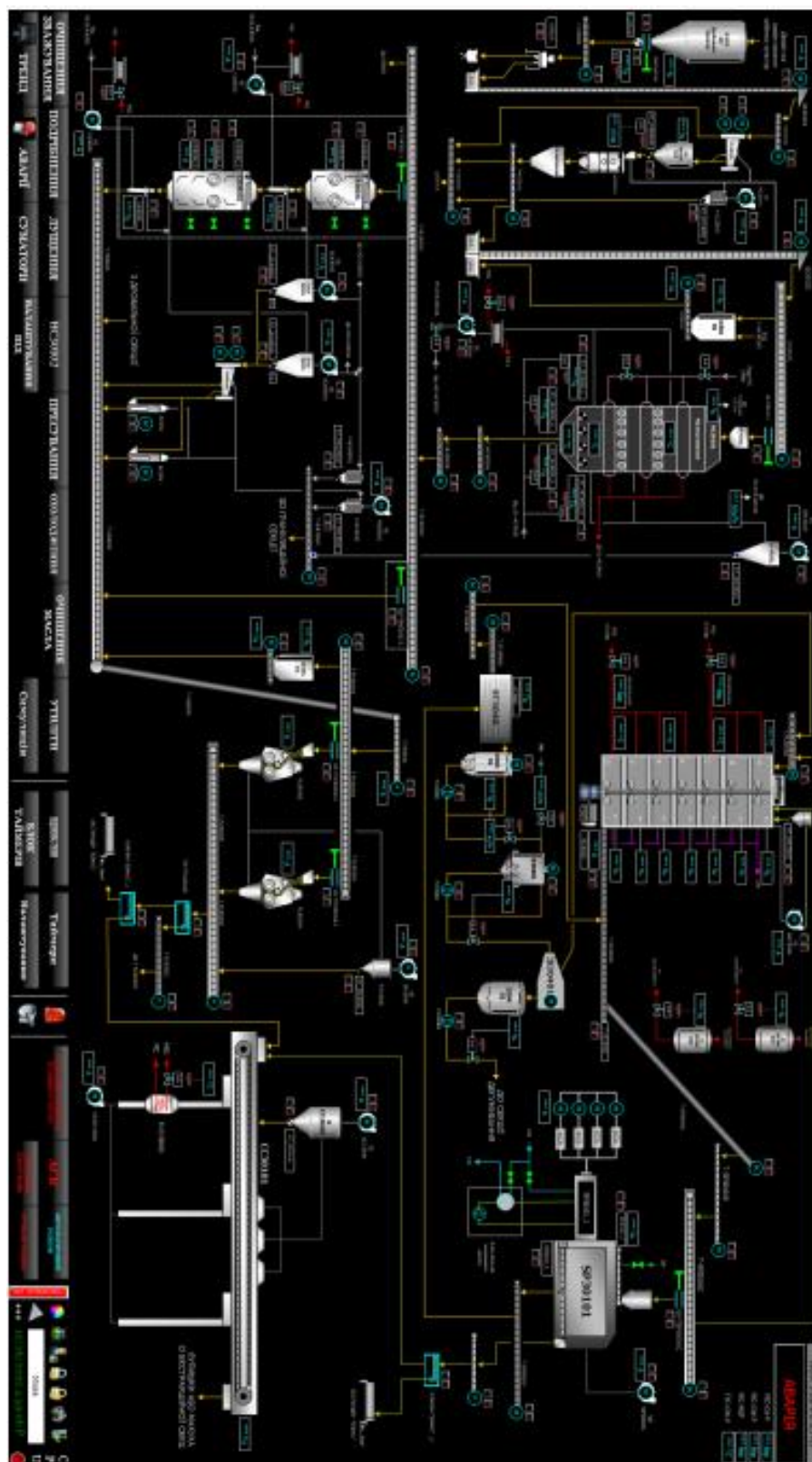


Рис. 3.1. Попередній загальний вигляд SCADA-системи цеху підготовки

Попередній варіант загального екрану візуалізації SCADA-системи цеху екстракції показано на рис. 3.2.

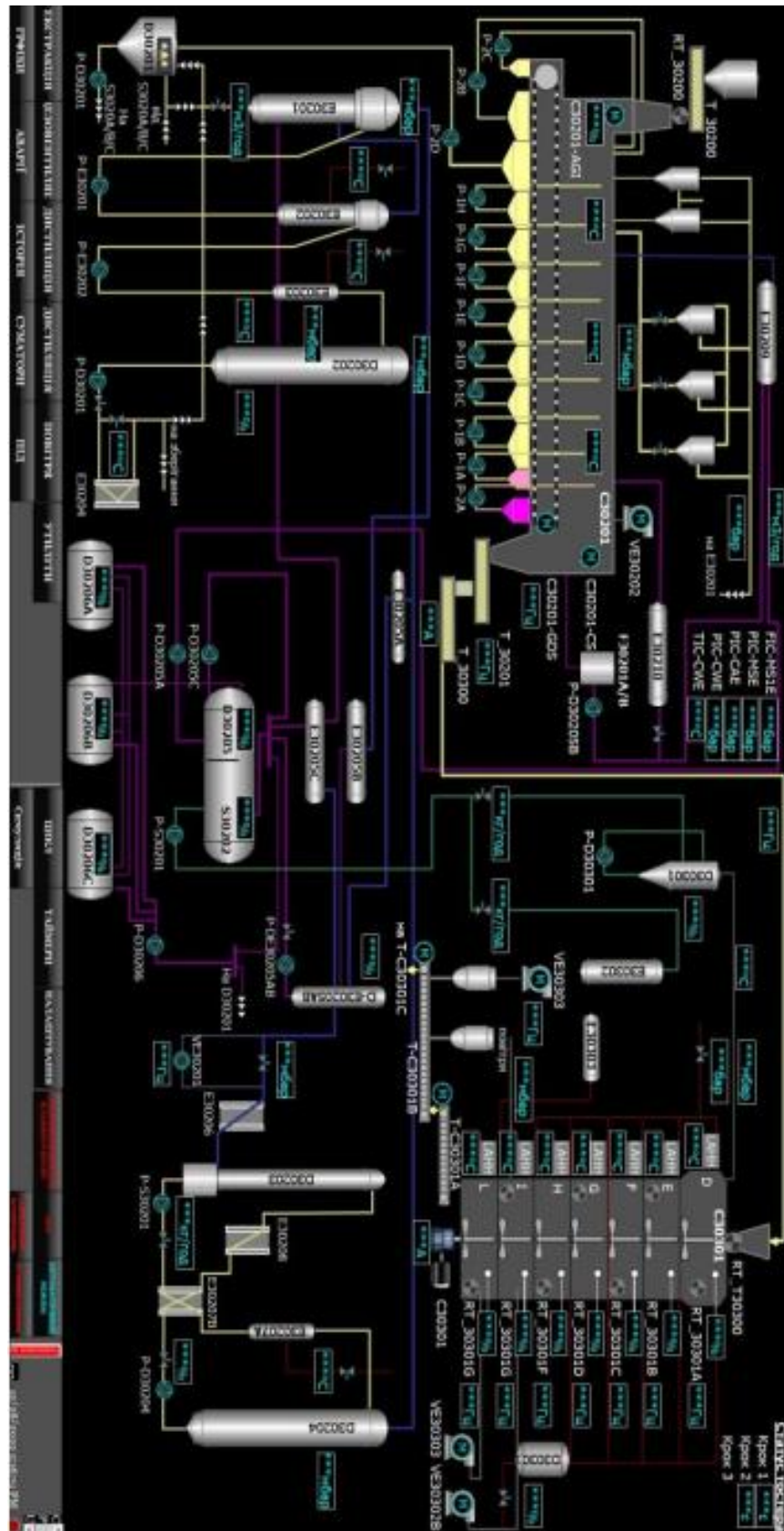


Рис. 3.2. Попередній загальний вигляд SCADA-системи цеху екстракції

2. Визначення режимів роботи обладнання (аналоговий датчик, механізм без частотного приводу, механізм з частотним приводом).

3. Опис технологічного процесу запуску і роботи заводу. Блок-схеми (розписані алгоритми запуску і роботи заводу у вигляді блок-схем, для подальшого програмування контролерів).

Загальна блок схема запуску заводу показана на рис. 3.3.

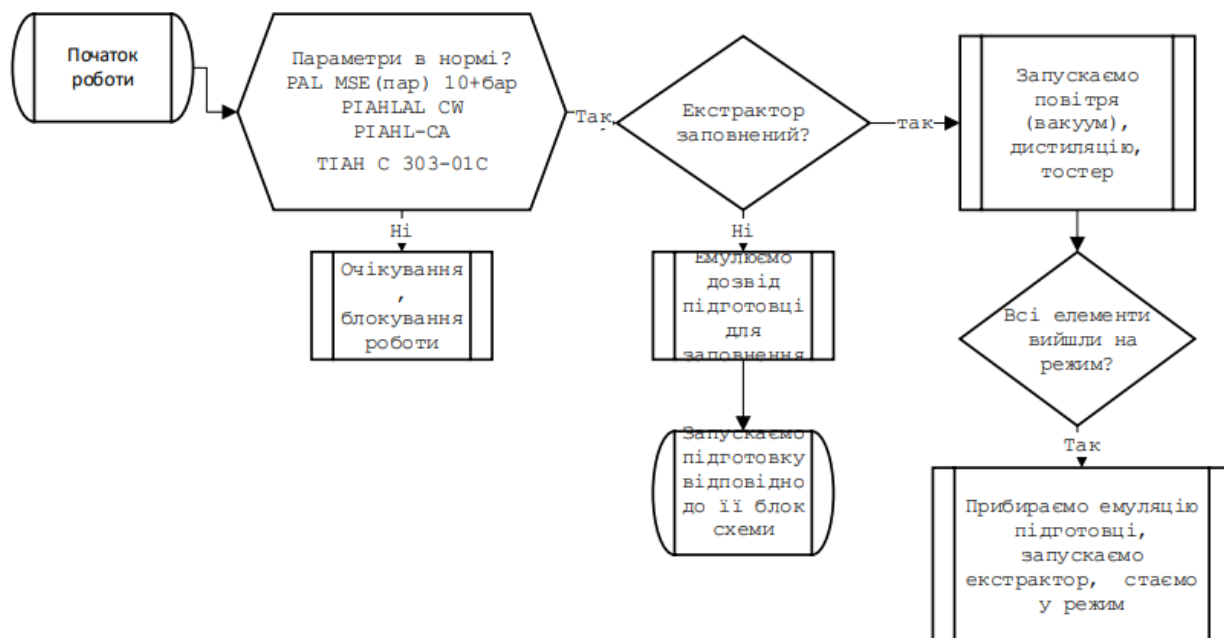


Рис. 3.3. Загальна блок-схема запуску заводу

4. Блокування обладнання (описується алгоритм роботи обладнання при аварійному сигналі).

5. Зупинка заводу (розглядається планова, короткострокова/аварійна та повна зупинки).

6. Права та рівні користувачів (особливістю даного виробництва, є те що воно має підвищену безпеку, тому обмеження прав і рівнів доступу є необхідним).

7. Сигнали входів і виходів логічного обладнання (таблиця входів і виходів, наведена відповідно до невідповідностей проєкту по цехам та виробничим ділянкам та додається окремим документом).

Технічні умови (ТУ) є невід'ємною частиною комплексу технічної документації та визначають вимоги і вказівки для реалізації конкретного проєкту. ТУ включають в себе детальний опис вимог до об'єкта, системи, продукту або послуги, які потрібно враховувати під час розробки, виготовлення або впровадження.

У ТУ зазвичай вказуються технічні характеристики, функціональні можливості, параметри, вимоги до якості, безпеки, надійності, стандартів, екологічних аспектів та інших технічних вимог, пов'язаних з проєктом. Технічні умови можуть бути розроблені замовником проєкту, відповідними регуляторними органами, стандартними громадськими організаціями або інженерно-технічними спеціалістами.

3.2. Техніко-економічне обґрунтування проєктних рішень

Техніко-економічне обґрунтування (ТЕО) — це важливий документ, який використовується в процесі проєктування для оцінки економічної доцільності та технічної здійсненності реалізації проєкту. ТЕО дає змогу проаналізувати, чи варто інвестувати в проєкт з огляду на технічні аспекти, економічні показники та можливі ризики.

Основні цілі ТЕО:

1. **Оцінка економічної доцільності** - аналіз витрат і вигід, які очікуються від реалізації проєкту. Визначення, чи є проєкт прибутковим або економічно виправданим.
2. **Аналіз технічної здійсненності** - оцінка можливості реалізації проєкту з технічної точки зору. Містить аналіз доступності технологій, необхідних матеріалів, ресурсів та кваліфікованого персоналу.
3. **Ідентифікація та оцінка ризиків** - визначення потенційних ризиків, які можуть виникнути під час реалізації проєкту, і розробка стратегій для їхнього зменшення або уникнення.
4. **Визначення оптимальних варіантів** - розробка декількох варіантів реалізації проєкту і порівняння їх за технічними та економічними параметрами для вибору найкращого рішення.

Техніко-економічне обґрунтування зазвичай складається з таких основних розділів:

1. **Вступ:**
 - Опис мети і завдань ТЕО.

- Коротка характеристика проєкту.
- Обґрунтування необхідності реалізації проєкту.

2. Аналіз ринку:

- Дослідження ринку, на якому буде реалізований проєкт.
- Оцінка попиту і пропозиції.
- Аналіз конкурентного середовища.
- Визначення цільової аудиторії та потенційних споживачів.

3. Технічний аналіз:

○ Опис технологічних рішень і процесів, що плануються для реалізації проєкту.

- Аналіз доступності та ефективності запропонованих технологій.
- Вимоги до інфраструктури, обладнання, матеріалів.
- Аналіз необхідних ресурсів, включаючи трудові, матеріальні і

енергетичні.

4. Економічний аналіз:

○ Оцінка витрат на реалізацію проєкту, включаючи капітальні вкладення, експлуатаційні витрати, витрати на обслуговування і ремонт.

○ Розрахунок фінансових показників, таких як чиста приведена вартість (NPV), внутрішня норма доходності (IRR), термін окупності інвестицій (PBP).

- Оцінка потенційних доходів і прибутків від реалізації проєкту.
- Аналіз рентабельності проєкту.

5. Аналіз ризиків:

○ Ідентифікація основних ризиків, пов'язаних з технічними, економічними, екологічними та соціальними аспектами проєкту.

○ Оцінка ймовірності виникнення ризиків і їхнього впливу на проєкт.

○ Розробка стратегій управління ризиками, включаючи запобіжні заходи і план дій на випадок настання ризикових подій.

6. Правове та екологічне обґрунтування:

- Визначення правових вимог і регуляцій, що застосовуються до проєкту.
- Оцінка впливу проєкту на навколишнє середовище і розробка заходів з мінімізації негативного впливу.

- Необхідність отримання ліцензій, дозволів і погоджень.

7. Висновки і рекомендації:

- Підсумковий аналіз отриманих результатів.
- Рекомендації щодо подальших дій.
- Вибір оптимального варіанту реалізації проєкту або прийняття рішення про його відхилення.

3.2.1. Економічний аналіз ефективності проєктних рішень

Успішне виконання проєктів може стимулювати економічний розвиток, створювати нові робочі місця, забезпечувати розвиток інноваційних технологій та сприяти розширенню підприємництва. Однак, реалізація проєктів також супроводжується ризиками, які потрібно враховувати та ефективно управляти. До таких ризиків входять фінансові ризики, зміни установчого середовища, валютні коливання, непередбачені події та інші фактори, що можуть вплинути на досягнення поставлених цілей проєкту.

Важливим етапом є оцінка рентабельності проєкту, яка охоплює розрахунок внутрішньої норми дохідності (ВНД), чистого приведенного доходу (ЧПД), строку відновлення і інших фінансових показників. Це допомагає інвесторам прийняти розсудливе рішення щодо вкладення коштів в проєкт.

Для більш комплексного розрахунку ефективності проєкту, який містить фактори часу, ризику та дисконтування грошових потоків, можна використовувати такі методи і показники:

1. ВНД вимірює доходність проєкту та вказує на відсоток, за яким поточні та майбутні грошові потоки є рівнозначні вартості вкладених коштів

[14]. Формула розрахунку ВНД містить суму грошових потоків (CF), які отримує проєкт протягом певного періоду, та початкову вартість інвестицій (Co):

$$ВНД=(CF_0+CF_1/(1+i)+CF_2/(1+i)^2+...+CF_n/(1+i)^n)-C_0 \quad (3.1)$$

де: $CF_0, CF_1, CF_2, \dots, CF_n$ - грошові потоки, які отримує проєкт протягом періодів 0, 1, 2, ..., n; i - внутрішня норма доходності, за якого сума чистих грошових потоків дорівнює 0; C_0 - початкова вартість інвестицій.

Ця формула використовує дисконтування грошових потоків, де кожен грошовий потік розділяється на відповідне дисконтування через $(1+i)^n$, де n - період, в якому отримується грошовий потік.

Результат ВНД може бути позитивним, негативним або дорівнювати нулю. Позитивне значення ВНД вказує на прибутковість проєкту, негативне значення - на нерентабельність проєкту, а ВНД, що дорівнює нулю, свідчить про те, що проєкт неприбутковий, але витрати і доходи збалансовані.

2. ЧПВ - це метод дисконтування грошових потоків, який враховує часову вартість грошей і обчислює суму чистих грошових потоків приведену до поточного часу за допомогою певної дисконтної ставки. ЧПВ дозволяє порівнювати проєкти з різними розмірами та тривалістю.

$$ЧПВ=\sum CF_t/(1+r)^t-C_0, \quad (3.2)$$

де CF_t - чистий грошовий потік в періоді t ; r - ставка дисконту; t - період часу; C_0 - початкові витрати чи інвестиції.

3. Показник повернення інвестицій (ППІ). Цей показник визначає, за який період часу інвестиції повертаються за рахунок грошових потоків. Використовується для оцінки швидкості відновлення інвестицій і прийняття рішень про вкладення коштів.

$$ППІ= C_0 / \sum CF_t, \quad (3.3)$$

де C_0 - початкові витрати чи інвестиції; CF_t - чистий грошовий потік в періоді t .

4. Економічна рентабельність (EP). Цей показник визначає відношення суми річного результату проекту до суми інвестицій. EP використовується для оцінки ефективності проекту з погляду доходності, окремо від розміру і тривалості проекту.

$$EP = \sum C F_t / C_0, \quad (3.4)$$

де $C F_t$ - чистий грошовий потік в періоді t ; C_0 - початкові витрати чи інвестиції

5. Індекс рентабельності (IP). Цей показник враховує часову вартість грошей і визначає відношення дисконтованої суми грошових потоків (з урахуванням внутрішньої норми доходності) до початкових витрат. IP використовується для порівняння різних проектів та вибору найбільш ефективного.

$$IP = \sum C F_t / (1+r)^t / C_0, \quad (3.5)$$

де $C F_t$ - чистий грошовий потік в періоді t ; r - ставка дисконту; t - період часу; C_0 - початкові витрати чи інвестиції.

Ці методи та показники є лише деякими засобами оцінки ефективності проекту і належать до загально прийнятих фінансових інструментів. При їх використанні важливо враховувати всі ризики та особливості конкретного проекту, а також встановити відповідні показники дисконтування, які відображають затримки часу та ризики.

На рисунку 3.4 представлена залежність чистої приведеної вартості від норми доходу.

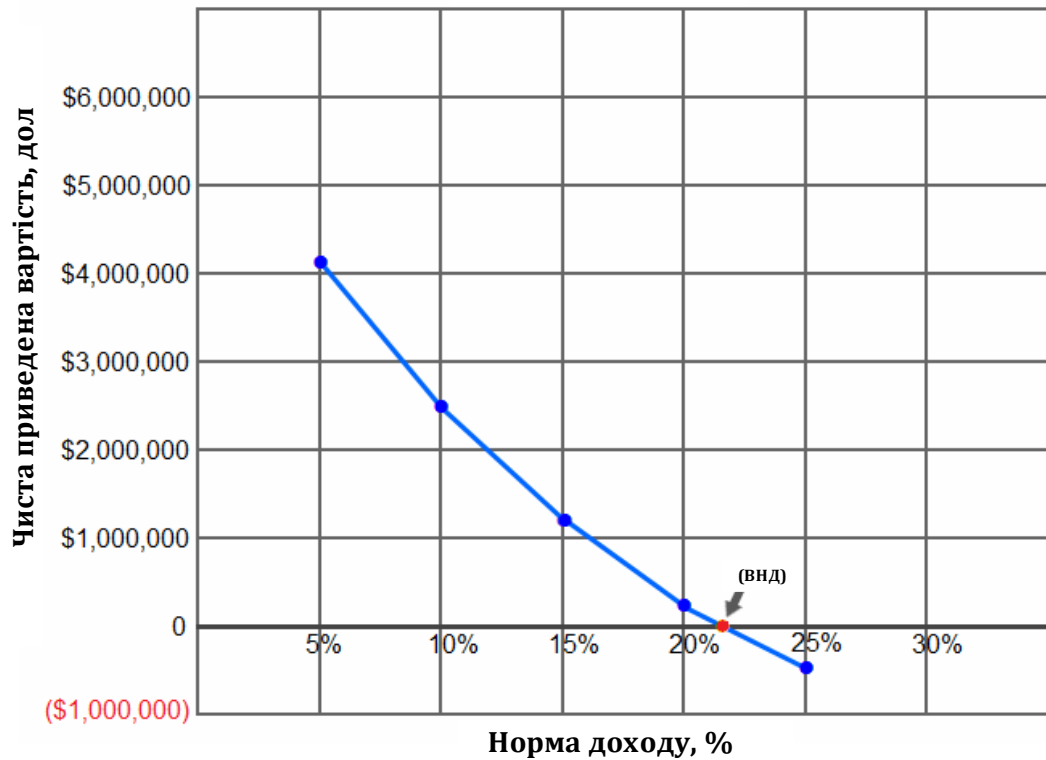


Рис. 3.4. Залежність ЧПД проекту від норми доходу

Коли ВНД перевищує або дорівнює нормі доходу на капітал, необхідної для інвестора, інвестиції в даний проект вважаються виправданими.

Термін окупності - це показник, що визначає період часу, необхідний для повного відновлення вкладених коштів або досягнення рівня прибутковості, який дозволяє покрити витрати проекту чи інвестиції.

У контексті бізнесу або інвестицій, термін окупності вимірюється у часових одиницях, наприклад, у роках або місяцях. Це важливий показник, який допомагає визначити, як швидко проект або інвестиція будуть здатні забезпечити повернення вкладених коштів і почати приносити прибуток.

Термін окупності може бути розрахований як відношення початкових витрат або інвестицій до середньорічного чи періодичного прибутку (або вигоди), що генеруються проектом або інвестицією.

На рис. 3.5. представлено життєвий цикл інвестицій.

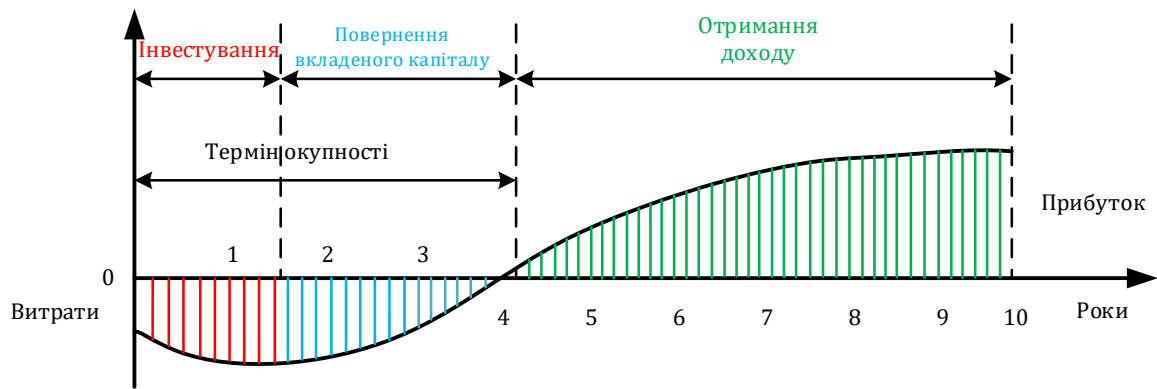


Рис. 3.5. Життєвий цикл інвестицій

Досягнення економічного ефекту для автоматизованого електроприводу можливе наступними засобами:

1. Встановлення енергоефективних приводів та систем управління, які зменшують енергоспоживання. Технології, такі як частотні перетворювачі, можуть регулювати швидкість обертання двигуна відповідно до потреб процесу, що допомагає уникнути непотрібного споживання електроенергії.

2. Налаштування електроприводів на оптимальні режими роботи, шляхом збільшення точності регулювання, зменшення часу реакції та покращення координації між приводами.

3. Використання систем моніторингу та діагностики стану обладнання для попередження непередбачених відмов та планування раціонального обслуговування допоможе зменшити витрати на ремонт та уникнути зупинок виробництва через відмову обладнання.

4. Оптимальне використання ресурсів, таких як сировина, роботи чи час.

Вибір конкретних стратегій економічного ефекту для автоматизованого електроприводу залежить від конкретних контекстуальних факторів, типу процесу та ваших цілей.

3.3. Вибір електрообладнання

Вибір електрообладнання є важливим завданням, яке потребує ретельного аналізу та уваги до деталей. При здійсненні такого вибору необхідно враховувати різні фактори, включаючи технічні вимоги, якість та надійність, енергоефективність, технічну підтримку та сервіс, а також фінансові аспекти. Підхід, який базується на дослідженні, зіставленні та аналізі різних альтернатив, а також залученні фахівців, допоможе забезпечити правильний вибір електрообладнання, що відповідає конкретним потребам та вимогам користувача.

3.3.1. Вибір електрообладнання відповідно до умов експлуатації

Вибір електрообладнання відповідно до умов експлуатації є важливим етапом проєктування та впровадження будь-якої електротехнічної системи. Підбір правильного обладнання забезпечує його безпечну, ефективну та тривалу роботу, а також зменшує ризики виходу з ладу або аварійних ситуацій.

Основні фактори вибору електрообладнання:

1. Температурні умови експлуатації:

- Електрообладнання повинне бути розраховане на роботу в межах певного діапазону температур. Наприклад, в холодних умовах або при екстремально високих температурах слід використовувати пристрої з відповідними класами захисту.

- **Класи температурних режимів** (зазначені у технічній документації) визначають, за яких температур пристрій може працювати без ризику перегріву або пошкоджень. Наприклад, обладнання для зовнішнього застосування може мати температурний діапазон від -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

2. Вологість і вологозахист:

- Якщо електрообладнання працює в умовах високої вологості (наприклад, на відкритому повітрі або у приміщеннях з підвищеною

вологістю, таких як котельні чи водоочисні станції), важливо вибрати пристрій з високим ступенем вологозахисту.

- **Ступінь захисту IP (Ingress Protection)** визначає, наскільки обладнання захищене від проникнення води та пилу. Наприклад, IP65 означає, що пристрій повністю захищений від пилу та водяних струменів.

3. Пилозахист і забруднення:

- В умовах сильної запиленості (кар'єри, цементні заводи, лісопилки) необхідно використовувати обладнання з підвищеним ступенем захисту від пилу та твердих частинок.

- Вибір пристроїв з класами захисту IP67 або IP68 може забезпечити надійний захист у таких умовах.

4. Хімічна агресивність середовища:

- У середовищах з високим вмістом агресивних речовин (кислот, лугів, солей) електрообладнання повинно бути захищеним від корозії та хімічних пошкоджень.

- Використовуються спеціальні матеріали для корпусів (нержавіюча сталь, пластик із хімічно стійкими покриттями) та ізоляція, яка стійка до хімічних впливів.

5. Механічні впливи (вібрації, удари):

- В умовах високих вібрацій (наприклад, на заводах важкого машинобудування або транспортних платформах) необхідно використовувати обладнання, яке може витримувати такі навантаження без втрати функціональності.

- Обладнання часто маркується за ступенем стійкості до вібрацій і ударів (стандарти MIL-STD або ГОСТ).

6. Електричні характеристики:

- Напруга та струм є важливими параметрами при виборі електрообладнання. Обладнання повинно відповідати номінальній напрузі мережі та бути здатним витримувати пікові навантаження без перегріву чи аварійного вимкнення.

- Також важливо враховувати можливі коливання напруги в мережі, обираючи обладнання з функціями захисту від перенапруги або з ширшим діапазоном допустимих напруг.

7. Вимоги до безпеки (вибухонебезпечні середовища):

- У середовищах із підвищеним ризиком вибуху (нафтогазова промисловість, хімічні заводи, зерносховища) слід використовувати **вибухозахищене** обладнання. Це обладнання спеціально розроблене так, щоб унеможливити виникнення іскор або підвищеної температури, що можуть викликати вибух.

- Обладнання для вибухонебезпечних зон маркується відповідно до стандартів ATEX або IECEx.

8. Енергоспоживання та енергоефективність:

- Для зниження експлуатаційних витрат важливо вибирати обладнання з високою енергоефективністю. Наприклад, використання електродвигунів класу енергоефективності IE3 або IE4 дозволяє значно знизити споживання електроенергії.

- Енергоефективні системи керування електрообладнанням також допомагають оптимізувати споживання енергії та продовжити термін служби обладнання.

9. Габарити та вага:

- Якщо обладнання встановлюється в обмеженому просторі (наприклад, у шафах автоматизації або невеликих технологічних приміщеннях), важливо враховувати його розміри та вагу, щоб забезпечити правильне монтажне рішення.

Приклад.

Електродвигуни, які відповідають міжнародним стандартам ІЕС, використовують маркування відповідно до цього стандарту. Приклад маркування:

Приклад маркування: IE3-132M-4

IE3 – клас енергоефективності. IE3 – це високий рівень енергоефективності, який відповідає вимогам сучасних стандартів щодо зниження споживання енергії.

132 – висота осі обертання (мм).

M – довжина корпусу (M – середня, за стандартами IEC).

4 – кількість полюсів (для 4 полюсів частота обертання ≈ 1500 об/хв при 50 Гц).

Додаткова інформація:

Напруга – 400/690 В (може використовуватися для з'єднання "зіркою" або "трикутником").

Частота – 50/60 Гц.

Клас захисту – IP55 (захист від пилу та водяних струменів).

Вибухозахищені двигуни використовуються в середовищах з підвищеною небезпекою вибуху, таких як хімічні заводи, нафтопереробні підприємства тощо.

Приклад маркування: ВАО2-112М4

ВАО2 – серія вибухозахищених двигунів.

112 – висота осі обертання (мм).

M – довжина корпусу.

4 – кількість полюсів (частота обертання ≈ 1500 об/хв при 50 Гц).

Додаткова інформація:

Маркування вибухозахисту: Наприклад, Exd ІІВ Т4, що означає вибухозахист типу "Exd" (вибухонепроникний корпус), підходить для зон з підвищеним ризиком вибуху (категорія ІІВ), температурний клас Т4 (максимальна температура поверхні – 135°C).

Клас захисту – IP66 (захист від пилу та сильних водяних струменів).

3.4. *Забезпечення електромагнітної сумісності електрообладнання*

3.4.1. *Вищі гармоніки в кривих струмів і напруг. Їх вплив на електрообладнання*

Електромагнітна сумісність (ЕМС) електрообладнання стає особливо важливою в сучасних умовах через зростання використання силових напівпровідникових перетворювачів та мікропроцесорного управління в системах електроприводу й автоматизації. Це викликає проблеми забезпечення перешкодозахищеності та збереження заданих режимів роботи при впливі потужних імпульсних електромагнітних сигналів.

Вимоги до електромагнітної сумісності (ЕМС) і методи випробувань для напівпровідникових перетворювачів визначені міжнародним стандартом ІЕС 61800-3. Цей стандарт поділяє електромагнітні завади на категорії від С1 до С4. Наразі цей стандарт повністю замінив EN 55011.

У контексті електромагнітної сумісності, важливим є забезпечення одночасної роботи різних видів електрообладнання, та можливість їхнього одночасного функціонування без перешкод та порушень у заданих технічних та експлуатаційних режимах. Це означає, що системи повинні бути захищені від небажаних електромагнітних перешкод та вміти відновлювати свою роботу після виникнення деяких впливів.

Таким чином, електромагнітна сумісність електрообладнання, зокрема силових напівпровідникових перетворювачів та систем електроприводу, має на меті забезпечити безперебійну роботу та захист від електромагнітних перешкод. Це досягається шляхом використання спеціального електромагнітного дизайну, екранування, фільтрації та проведення електромагнітних тестів для перевірки та вдосконалення перешкодозахищеності систем.

Виробники напівпровідникових перетворювачів, наприклад компанія Yaskawa, пропонують фільтри електромагнітної сумісності, які при встановленні згідно з інструкціями та використанні разом із перетворювачем

частоти і двигуном утворюють систему електроприводу, яка відповідає вимогам категорії C1 або C2.

ІЕС 61800-3 визначає різні вимоги залежно від місця встановлення приводу, позначеного як перше та друге середовище.

Середовище першого рівня охоплює домашні/житлові приміщення та установи, підключені безпосередньо без проміжних трансформаторів до мережі електропостачання низької напруги. До прикладів середовищ першого рівня включають будинки, квартири, комерційні приміщення або офіси в житловому будинку.

Середовище другого рівня охоплює всі установи, окрім тих, які безпосередньо підключені до низьковольтної електромережі, яка живить побутові приміщення. До середовищ другого рівня включають промислові зони та технічні зони будь-якої будівлі, що живиться від спеціального трансформатора.

При цьому відмінності між цими категоріями для систем електроприводу з номінальною напругою до 1000 В представлені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Відповідність категорій і класів електромагнітної сумісності

ІЕС 61800-3	
Категорія C1	Системи приводу для номінальної напруги < 1000 В для необмеженого використання в середовищі першого рівня.
Категорія C2	Стаціонарні системи приводу для номінальної напруги < 1000 В для використання у середовищі другого рівня. Використання в середовищі першого рівня можливе, якщо система приводу експлуатується та встановлюється кваліфікованим персоналом. Необхідно дотримуватися попереджувальної інформації та інструкцій зі встановлення, наданих виробником.
Категорія C3	Системи приводу для номінальної напруги < 1000 В виключно для використання у середовищі другого рівня.
Категорія C4	Системи приводу для номінальної напруги ≥ 1000 В, для номінального струму ≥ 400 А або системи живлення ІТ для використання в складних системах у середовищі другого рівня.

Наприклад, система електроприводу, що є частиною підключеної прибиральної машини, яка використовуватиметься в житловому будинку,

повинна відповідати вимогам категорії С1. Однак нерухома система електроприводу (наприклад, на насосній станції чи елеваторі), встановлена фахівцем у тій самій будівлі, повинна відповідати лише вимогам категорії С2.

Будь-яка установка із системою електроприводу в промисловій зоні, яка не має прямого зв'язку з побутовими приміщеннями, може бути використана, якщо вона відповідає вимогам категорії С3.

Розглянемо загальну схему електричної мережі рис. 3.6. Вплив об'єктів електричної мережі один на одного показано стрілками.

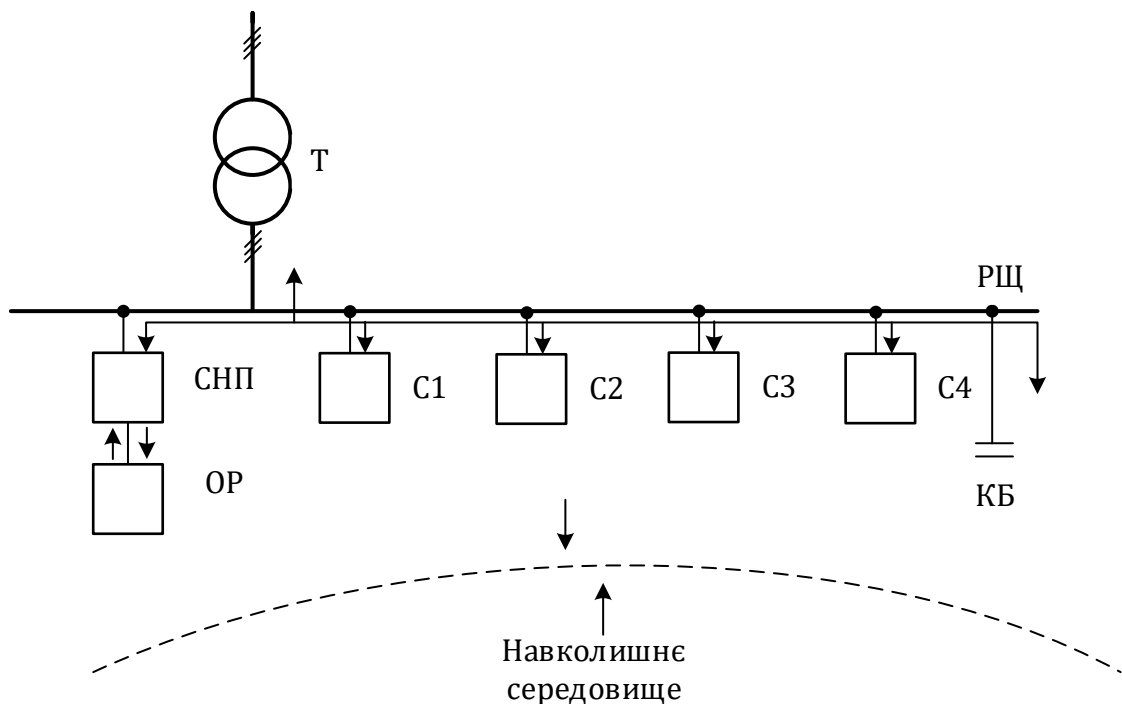


Рис. 3.6. Загальна схема електричної мережі

Схема електричної мережі містить в загальному випадку:

СНП - силовий напівпровідниковий перетворювач;

ОР - об'єкт регулювання;

РЩ - розподільний щит (забезпечує підведення живлення);

КБ – система компенсації реактивної потужності із використанням конденсаторних батарей;

Т – понижуючий силовий трансформатор;

С1, С2 - група споживачів, нечутливих до спотворень кривої напруги;

С3, С4 - група споживачів, чутливих до спотворень кривої напруги;

Основною проблемою електромагнітної сумісності є генерація силовими перетворювачами вищих гармонік струму та напруги, які можуть негативно впливати на якість електроенергії.

Допустимі відхилення напруги на затискачах силових електроприймачів вказані в таблиці 3.2 [22].

Таблиця 3.2. Допустимі відхилення напруги на затискачах силових електроприймачів

Тип електроприймача та режим роботи	Відхилення від номінальної напруги, %	
	зниження	підвищення
Електродвигуни:	5	5
а) тривала робота в сталому режимі – нормальна розрахункова величина;		
б) тривала робота в сталому режимі – для окремих особливо віддалених електродвигунів:		
1) за номінальних умов	8-10	-
2) за аварійних умов;	10-12	-
в) короткочасна робота в сталому режимі (наприклад, під час пуску сусіднього великого двигуна);	20-30	-
г) на затискачах електродвигуна під час його пуску:		
1) за частих пусків;	10	
2) за рідких пусків	15 ^{*)}	
Електроплити:	5	5
тривала робота – нормальна розрахункова величина		
Зварювальні апарати	8-10	-
*) Більший відхилення може бути допущений тільки після перевірки розрахунком можливості пуску електродвигунів		

СОУ НЕК 03.120.4-14:2021 “Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго” визначає кількісні значення характеристик напруги електропостачання щодо:

- а) частоти;
- б) рівня напруги;
- в) форми кривої;

г) симетрії.

Ці характеристики зазнають змін під час нормальної роботи системи передачі внаслідок коливання потужності навантаження, наявності збурень, які генерують певні типи обладнання, а також під час аварій, які спричинено переважно зовнішніми подіями.

Відхилення значення основної частоти напруги від номінальної частоти напруги не повинно перевищувати $\pm 0,2$ Гц (нормально допустиме значення) [23] протягом 99,5% часу інтервалу в один тиждень і $\pm 0,8$ Гц (гранично допустиме значення) [23] протягом 100% часу всіх вимірних інтервалів.

Відхилення напруги в мережах низької та середньої напруги не повинні перевищувати $\pm 10\%$ від номінального або погодженого значення напруги протягом 100% часу інтервалу в 7 діб. Значення напруги більші та менші номінального або погодженого значення напруги усереднюють в мережах низької та середньої напруги на десятихвилинному проміжку.

Сумарний коефіцієнт гармонічних спотворень (СКГС) в мережах низької, середньої та високої напруги (враховуючи всі гармоніки до 40-ї включно) не повинні перевищувати кожного тижневого періоду 8% усереднених значень на десятихвилинному проміжку протягом 100% часу. СКГС для мереж надвисокої напруги не встановлюється. СКГС обчислюється за формулою:

$$СКГС = \sqrt{\sum_{h=2}^{40} (U_h)^2}, \quad (3.6)$$

де U_h - відносна амплітуда напруги окремої гармоніки, що віднесена до напруги основного складника U_1 ; (h - порядок гармоніки).

Стандартні показники відхилень гармонічних коливань представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3. Стандартні показники відхилень гармонічних коливань [24]

Непарні гармоніки								Парні гармоніки			
Не кратні 3 для $U_{ном}$, кВ				Кратні 3** для $U_{ном}$, кВ							
п*	0,38	6-10	35	п*	0,38	6-10	35	п*	0,38	6-10	35
5	6,0%	4,0%	3,0%	3	5%	3,0%	%	2	2,0%	1,5%	1,0%
7	5,0%	3,0%	2,5%	9	1,5%	1,0%	%	4	1,0%	0,7%	0,5%
11	3,5%	2,0%	2%	15	0,3%	0,3%	%	6	0,5%	0,3%	0,3%
13	3,0%	2,0%	1,5%	21	0,2%	0,2%	%	8	0,5%	0,3%	0,3%
17	2,0%	1,5%	1%					10	0,5%	0,3%	0,3%
19	1,5%	1%	1%					12	0,2%	0,2%	0,2%
23	1,5%	1%	1%								
25	1,5%	1%	1%								

*п – номер гармонічної складової напруги.

** Нормально допустимі значення, приведені для п, рівних 3 та 9, відносяться до однофазних електричних мереж. В трифазній трьохпровідній електричній мережі ці значення приймають вдвічі меншими від приведених в таблиці.

При вимірах показників якості електроенергії треба дотримуватися вимог ДСТУ ІЕС 61000-4-30 для класів А і S (клас S передбачає проведення обов'язкових замірів кожні 10 періодів струму з об'єднанням результатів в 10-хвилинні проміжки і можливим об'єднанням в 1-годинні проміжки), а межі допустимих основних похибок вимірювань не повинні перевищувати значень у відповідних діапазонах вимірювань.

Основні показники, які мають вплив на якість електричної енергії, діапазон їх вимірювань і межі допустимої основної похибки вимірювань наведені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4. Діапазони вимірювань і межі допустимої основної похибки вимірювань показників якості електроенергії [20]

Показник якості електричної енергії	Клас характеристик процесу вимірювання	Діапазон вимірювань	Межі основної допустимої похибки (форма виразу похибки)	Примітка
Середньоквадратичне значення напруги ¹⁾	A	$0,1 \cdot U_{ном} - 1,5 \cdot U_{ном}$	$\pm 0,1\% (\gamma)$	
	S	$0,2 \cdot U_{ном} - 1,2 \cdot U_{ном}$	$\pm 0,5\% (\gamma)$	
Негативне відхилення напруги $\delta U_{(-)}$	A	0% – 90%	$\pm 0,1\% (\Delta)$	
	S	0% – 80%	$\pm 0,5\% (\Delta)$	
Позитивне відхилення напруги $\delta U_{(+)}$	A	0% – 50%	$\pm 0,1\% (\Delta)$	
	S	0% – 20%	$\pm 0,5\% (\Delta)$	
Усталене відхилення напруги δU_y : $\Delta U_{уст} = 100 \cdot (U_{факт} - U_{ном}) / U_{ном}$	A	-20% – 20%	$\pm 0,2\% (\Delta)$	
	S		$\pm 0,5\% (\Delta)$	
Частота f	A	42,5 Гц – 57,5 Гц	$\pm 0,01\text{Гц} (\Delta)$	
	S		$\pm 0,05\text{Гц} (\Delta)$	
Відхилення частоти Δf : $\Delta f_{уст} = 100 \cdot (f_{факт} - f_{ном}) / f_{ном}$;	A	-7,5 Гц – 7,5 Гц	$\pm 0,01\text{Гц} (\Delta)$	
	S		$\pm 0,05\text{Гц} (\Delta)$	
Коефіцієнт небалансу напруги за зворотною послідовністю K_{2U}	A	0,5% – 5%	$\pm 0,15\% (\Delta)$	
	S	1,0% – 5%	$\pm 0,3\% (\Delta)$	
Коефіцієнт небалансу напруги за нульовою послідовністю K_{0U}	A	0,5% – 5%	$\pm 0,15\% (\Delta)$	
	S	1,0% – 5%	$\pm 0,3\% (\Delta)$	
Коефіцієнт n -ої гармонійної складової напруги $K_{U(n)}$ ²⁾	A	10% – 200% ³⁾	$\pm 0,05 \cdot U_{ном}/U_{(1)}\% (\Delta)$	$K_{U(n)} < U_{ном}/U_{(1)}$
			$\pm 5\% (\delta)$	$K_{U(n)} \geq U_{ном}/U_{(1)}$
	S	10% – 100% ³⁾	$\pm 0,15 \cdot U_{ном}/U_{(1)}\% (\Delta)$	$K_{U(n)} < 3 \cdot U_{ном}/U_{(1)}$
			$\pm 5\% (\delta)$	$K_{U(n)} \geq 3 \cdot U_{ном}/U_{(1)}$
СКГС	A	10% – 200% ³⁾	$\pm 0,1 \cdot U_{ном}/U_{(1)}\% (\Delta)$	$K_U < U_{ном}/U_{(1)}$
			$\pm 10\% (\delta)$	$K_U \geq U_{ном}/U_{(1)}$
	S	10% – 100% ³⁾	$\pm 0,15 \cdot U_{ном}/U_{(1)}\% (\Delta)$	$K_U < 3 \cdot U_{ном}/U_{(1)}$
			$\pm 10\% (\delta)$	$K_U \geq 3 \cdot U_{ном}/U_{(1)}$

¹⁾ Середньоквадратичне значення напруги з урахуванням гармонік, інтергармонік, інформаційних сигналів U і середньоквадратичне значення напруги основної частоти $U_{(1)}$.

²⁾ Вимоги до меж допустимої похибки вимірювань коефіцієнта n -ої гармонійної складової напруги відповідають вимогам ДСТУ ІЕС 61000-4-7 до точності вимірювань гармонійних складових напруги ($U_{sg(n)}$), для класу «S» допускається використовувати $U_{g(n)}$). Для приладів класу А відповідно до ДСТУ ІЕС 61000-4-30 та ДСТУ ІЕС 61000-4-7 межі допустимої похибки при вимірюванні напруги гармонійної підгрупи при $U_{sg(n)} < 0,01 \cdot U_{ном}$ складають $\pm 0,05\%$ (γ) та при $U_{sg(n)} \geq 0,01 \cdot U_{ном}$ складають $\pm 5\%$ (δ). Для приладів класу S відповідно до ДСТУ ІЕС 61000-4-30 та ДСТУ ІЕС 61000-4-7 межі допустимої похибки при вимірюванні напруги гармонійної підгрупи (групи) при $U_{sg(n)} < 0,03 \cdot U_{ном}$ ($U_{g(n)} < 0,03 \cdot U_{ном}$) складають $\pm 0,15\%$ (γ) та при $U_{g(n)} \geq 0,03 \cdot U_{ном}$ ($U_{g(n)} \geq 0,03 \cdot U_{ном}$) складають $\pm 5\%$ (δ). 3) Для класу 3 електромагнітної обстановки відповідно до ДСТУ EN 61000-2-4.

Δ – абсолютна похибка;

Δ – відносна похибка;

$U_{ном}$ – номінальне значення напруги.

Розглянемо **гармонійний склад** струму, який споживають перетворювачі з мережі.

Особливістю роботи будь-якого напівпровідникового перетворювача є постійне перемикання (комутація) вентилів (тиристорів, транзисторів, діодів). Для всіх схем перетворювачів такий процес викликає споживання з мережі несинусоїдального струму, що призводить до спотворення форми кривої напруги мережі.

Гармонійний ряд струму, споживаного перетворювачем з мережі можна представити таким чином:

- $n = 1$ – основна гармоніка, частота якої дорівнює частоті мережі;
- $m = f_{\text{пул}} / f_{\text{мережі}}$ – число тактів конкретної схеми перетворювача;
- $n = k m \pm 1$ – вищі гармонійні складові ($k = 1, 2, 3, \dots$).

Приклад. Мостова схема (шість вентилів – $m = 6$).

Порядок вищих гармонік: 5, 7, 11, 13, 17, 19,

Такі гармоніки отримали назву канонічні.

Гармоніки струму зростають зі збільшенням потужності перетворювача, а також зі збільшенням діапазону регулювання напруги на його виході.

Збільшення індуктивності вхідного трансформатора або реактора зменшує амплітуду гармонік струму, але при цьому зростають втрати, що знижують енергетичні показники.

Розглянемо гармонійний склад напруги перетворювача в режимах випрямляча і автономного інвертора.

Криві випрямленої напруги на виході перетворювачів являють собою періодичні функції і можуть бути розкладені в ряд Фур'є:

$$U_d(\omega t) = U_{d\text{сер}} + \sum U_{n\text{max}} \sin(nm\omega t + \varphi_n), \quad (3.7)$$

де $U_{d\text{сер}} = f(U_{d0}, \cos \alpha)$ – середнє значення випрямленої напруги; U_{d0} – середнє значення випрямленої напруги при куті регулювання $\alpha = 0$; $U_{n\text{max}}$ – амплітудне значення n -ї гармоніки напруги; φ_n – кут зсуву щодо нульового значення.

Відносна амплітуда n -ої гармоніки:

$$U_{n\text{max}}^* = U_{n\text{max}} / U_{d0} = 2 \cos \alpha [1 + (nm \operatorname{tg} \alpha)^2]^{0.5} / [(nm)^2 - 1]. \quad (3.8)$$

З наведеного виразу випливає, що амплітуди вищих гармонік напруги зростають зі збільшенням кута α , тобто при зменшенні величини випрямленої напруги.

Напруга на виході перетворювачів частоти з автономними інверторами напруги (АІН) і синусоїдальної широтно-імпульсною модуляцією також являє собою сукупність основної і набору вищих гармонік напруги.

Порядок вищих гармонійних складових для трифазного мостового автономного інвертора визначається виразом $n = 6k \pm 1$ ($k = 1, 2, 3, \dots$).

Слід зазначити, що амплітудні значення гармонік напруги залежать не тільки від напруги на вході інвертора і від номера гармоніки, а й від кількості імпульсів комутації вентилів на періоді основної гармоніки.

Наявність вищих гармонік в кривій напруги знижує надійність і якість роботи електрообладнання технологічних установок.

У загальному випадку техніко-економічні збитки від вищих гармонік напруги, можна представити у вигляді декількох складових:

$$TE = TE_{ек} + TE_{он} + TE_{зв}, \quad (3.9)$$

де TE - загальні техніко-економічні збитки; $TE_{ек}$ - експлуатаційні збитки, пов'язані з підвищеним споживанням електроенергії та надмірним нагріванням обладнання; $TE_{оп}$ - операційні збитки, що виникають через перевантаження та проблеми з надійністю мережевого обладнання; $TE_{зв}$ - зворотний вплив техніко-економічних збитків на інші аспекти діяльності, наприклад, збитки від недопущеного виробництва.

Варто відзначити, що збиток зростає разом із збільшенням несинусоїдальності напруги.

Несинусоїдна напруга в мережі живлення призводить до посилення похибок в системах захисту, індукційних лічильниках, системах імпульсно-фазового управління, погіршення роботи телемеханічних пристроїв та інших систем. Застосування додаткових технічних засобів, таких як фільтри та автономні джерела живлення, для захисту цих систем призводить до збільшення витрат.

Вищі гармоніки також ускладнюють використання силових кабелів в якості каналів зв'язку для телемеханічних систем. Це вимагає додаткових витрат на організацію спеціальних зв'язкових каналів та, у деяких випадках, використання більш дорогих пристроїв телемеханіки.

3.4.2. Методи забезпечення електромагнітної сумісності

Забезпечення електромагнітної сумісності напряму пов'язане зі зменшенням впливу вищих гармонік напруги та струму, зниженням рівня високочастотних коливань напруги, зменшенням завад в каналі керування перетворювачем. Всі ці методи напряму пов'язані з підвищенням якості електроенергії в мережі і їх можна розділити на три категорії:

- ✓ використання фільтруючих пристроїв;
- ✓ застосування схемотехнічних рішень у проектуванні перетворювачів, зокрема впровадження спеціальних алгоритмів керування;
- ✓ прийняття особливих конструктивних рішень під час розробки електричних машин.

На практиці для забезпечення електромагнітної сумісності широко використовуються як *пасивні*, так і *активні фільтри*. Пасивні фільтри використовуються для фільтрації електричних сигналів певних частот без підсилення, тоді як активні фільтри дозволяють програмовано керувати сигналами з можливістю зміни амплітуди і фази, що робить їх високоефективними при роботі із складними сигналами і небажаними перешкодами.

Пасивні фільтри гармонік, що містять конденсатори, індуктивності та/або резистори, можна поділити на дві категорії: настроюванні та фільтри високих частот. Ці фільтри встановлюються паралельно до нелінійних навантажень, таких як діодні/тиристорні випрямлячі, електродугові печі та інші пристрої. У роботі з потужним трифазним тиристорним випрямлячем використовується комбінація чотирьох однополюсних фільтрів, налаштованих на частоти 5, 7 11-ї та 13-ї гармонік, а також другорядний фільтр високих частот, налаштований на частоту 17-ї гармоніки, що можна побачити на схемах у відповідних діаграмах.

На рис. 3.7 та 3.8 представлені пасивні фільтри на однофазній основі.

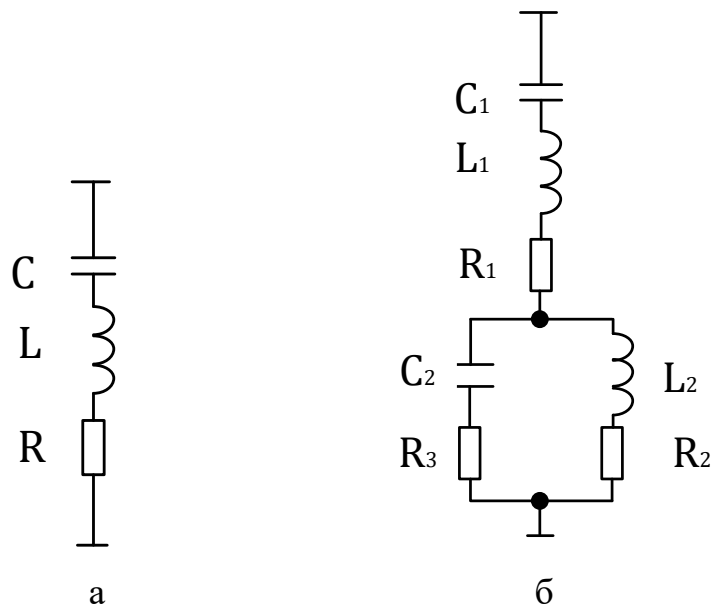


Рис. 3.7. Пасивні фільтри: (а) - одинарно налаштовані; (б) - подвійно налаштовані

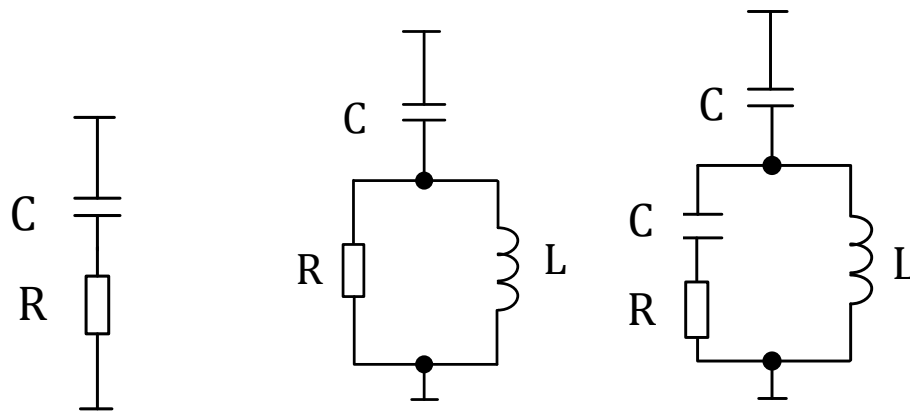


Рис. 3.8. Пасивні фільтри: (а) - перший порядок; (б) - другий порядок; (в) - третій порядок

Активні фільтри— це електронні схеми, які складаються з активних елементів, таких як операційні підсилювачі, а також пасивних елементів, таких як резистори і конденсатори.

Активні фільтри в основному класифікуються на наступні чотири типи на основі діапазону частот, які вони дозволяють або відхиляють:

- активний фільтр низьких частот;
- активний фільтр високих частот;
- активний смуговий фільтр;
- режекторний фільтр.

Найпоширенішим і легко зрозумілим активним фільтром є **активний фільтр низьких частот**. Його принцип роботи полягає в тому, що він використовує операційний підсилювач для підсилення та регулювання посилення. Найпростіша форма активного фільтра низьких частот полягає в тому, щоб підключити інвертуючий або неінвертуючий підсилювач до базової схеми фільтра низьких частот RC, як показано на рис. 3.9.

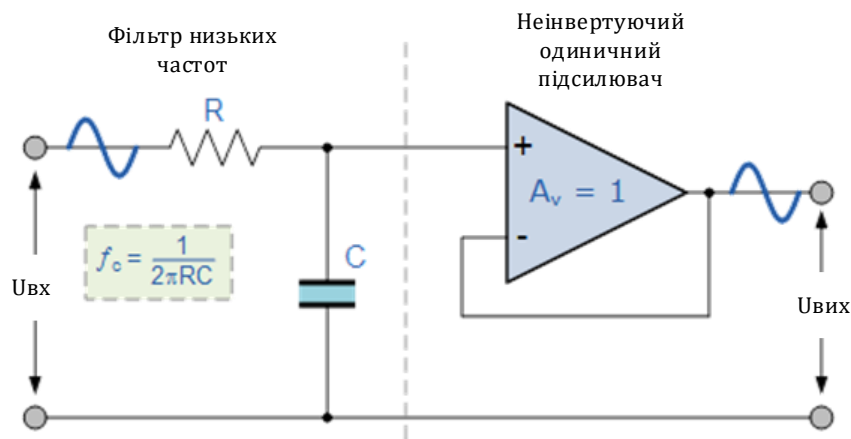


Рис. 3.9. Активний фільтр низьких частот [21]

Цей активний фільтр низьких частот першого порядку складається просто з каскаду пасивного RC-фільтра, що забезпечує низькочастотний шлях до входу неінвертуючого операційного підсилювача. Підсилювач налаштований як повторювач напруги (буфер), що дає йому коефіцієнт посилення постійного струму одиниці, $A_v = +1$ або одиничний коефіцієнт.

Перевага цієї конфігурації полягає в тому, що високий вхідний опір операційних підсилювачів запобігає надмірному навантаженню на виході фільтрів, а його низький вихідний опір запобігає впливу змін імпедансу навантаження на граничну частоту фільтрів. Для підсилення напруги більше одиниці використовується активний фільтр низьких частот з підсиленням (рис. 3.10).

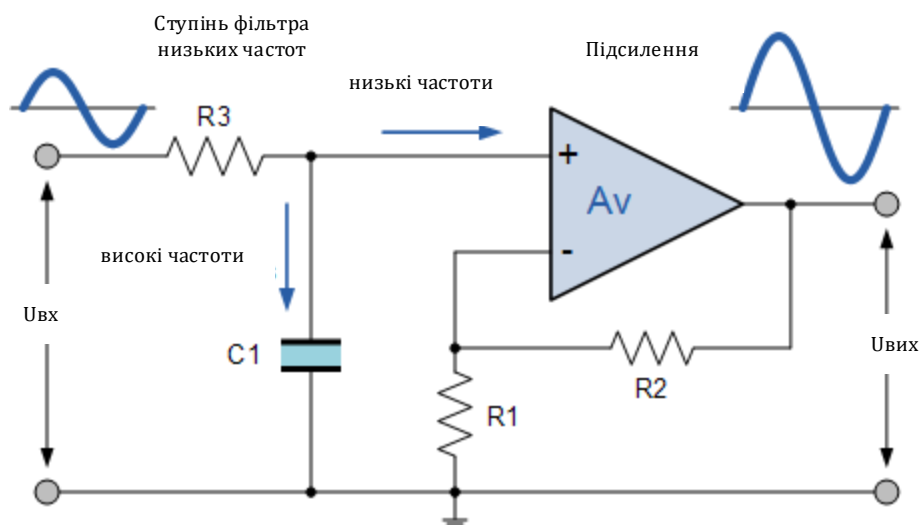


Рис. 3.10. Активний фільтр низьких частот з підсиленням [21]

Таким чином, **активний фільтр низьких частот** має постійне посилення A_F від 0 Гц до точки зрізу високої частоти, f_C . При f_C коефіцієнт підсилення становить $0,707 A_F$, а після f_C він зменшується з постійною швидкістю зі збільшенням частоти. Тобто, коли частота збільшується в десять разів (одна декада), посилення напруги ділиться на 10.

Іншими словами, підсилення зменшується на 20 дБ ($= 20 \cdot \log(10)$) кожного разу, коли частота збільшується на 10.

Де:

- A_F = посилення смуги пропускання фільтра, $(1 + R_2/R_1)$
- f = частота вхідного сигналу в Герцах, (Гц)
- f_C = гранична частота в герцах, (Гц)

Активний фільтр високих частот може бути створений шляхом поєднання мережі пасивного RC-фільтра з операційним підсилювачем для отримання фільтра високих частот із підсиленням (рис. 3.11).

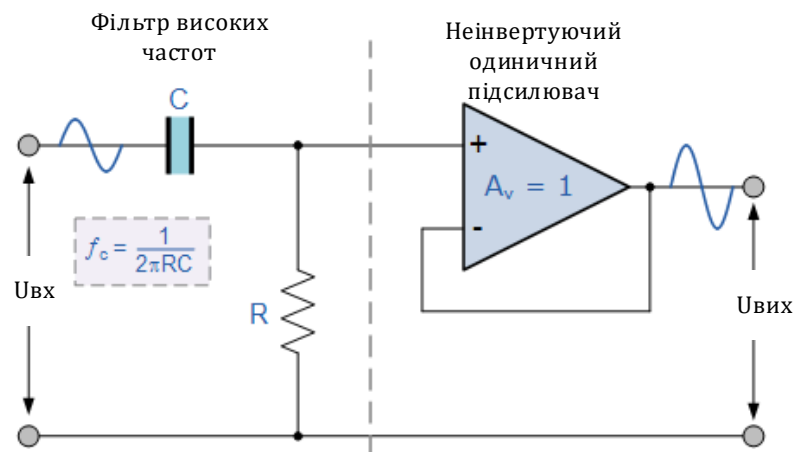


Рис. 3.11. Активний фільтр високих частот [21]

Якщо потрібне підсилення напруги більше одиниці, використовують наступну схему фільтра (рис. 3.12).

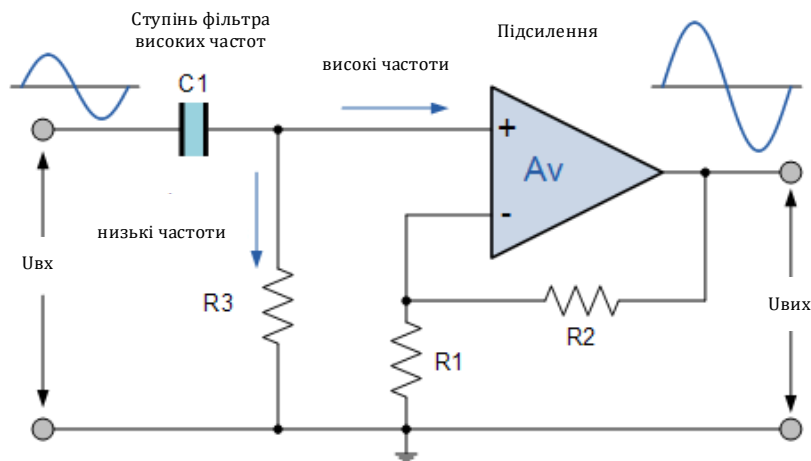


Рис. 3.12. Активний фільтр високих частот з підсиленням [21]

Тоді **активний фільтр високих частот** має посилення A_F , яке збільшується від 0 Гц до точки зрізу низької частоти, f_c на 20 дБ/декаду зі збільшенням частоти. При f_c коефіцієнт підсилення становить $0,707 \cdot A_F$, а після f_c усі частоти є частотами смуги пропускання, тому фільтр має постійне підсилення A_F , причому найвища частота визначається смугою пропускання замкнутого циклу операційного підсилювача.

Де:

- A_F = посилення смуги пропускання фільтра, $(1 + R2/R1)$
- f = частота вхідного сигналу в Герцах, (Гц)
- f_c = гранична частота в герцах, (Гц)

Основною характеристикою **активного смугового фільтра** або будь-якого іншого фільтра є його здатність пропускати частоти відносно незатухаючими у визначеній смузі або діапазоні частот, що називається «смугою пропускання». Один із способів створення дуже простого активного смугового фільтра полягає в тому, щоб підключити базові пасивні фільтри високих і низьких частот до схеми підсилювального операційного підсилювача, як показано на рис. 3.13.

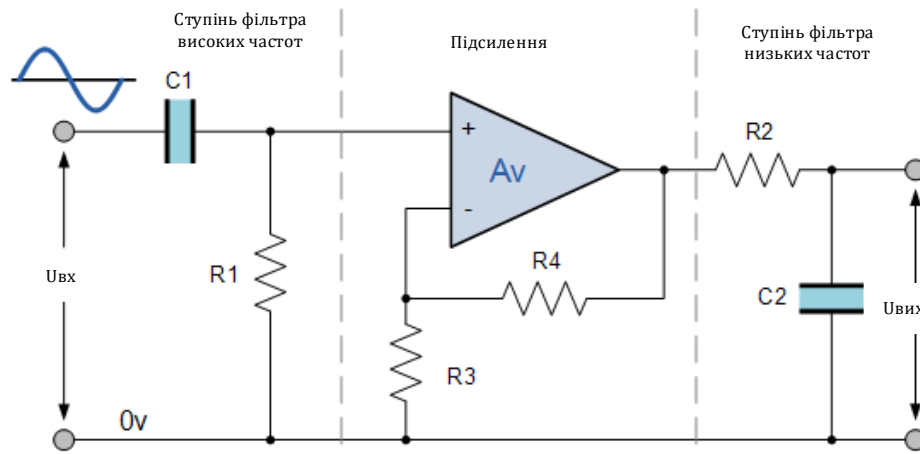


Рис. 3.13. Активний смуговий фільтр [21]

Це каскадування окремих пасивних фільтрів низьких і високих частот створює схему фільтра з низьким коефіцієнтом добротності, яка має широку смугу пропускання. Першим етапом фільтра буде високочастотний каскад, який використовує конденсатор для блокування будь-якого зміщення постійного струму від джерела.

Смуговий стоп-фільтр, відомий також як **режекторний фільтр**, блокує та відхиляє частоти, які лежать між двома його частотними точками зрізу (смуга затримки), пропускаючи всі ці частоти по обидві сторони цього діапазону.

Якщо ця смуга затримки дуже вузька та сильно ослаблена протягом кількох герц, то смуговий фільтр зазвичай називають *режекторним фільтром*, оскільки його частотна характеристика показує, що глибокий режектор має високу вибірковість (крива з крутим боком). а не сплюснена широка смуга.

Крім того, смуговий фільтр (режекторний) є фільтром другого порядку (двополюсним), який має дві частоти зрізу, широко відомі як -3 дБ або точки половинної потужності, що створює широка смуга пропускання між цими двома точками -3 дБ.

Додавання фільтрів верхніх і нижніх частот означає, що їхні частотні характеристики не перекриваються, на відміну від смугового фільтра. Це пов'язано з тим, що їх початкова та кінцева частоти знаходяться в різних

частотних точках. Наприклад, припустимо, що у нас є фільтр низьких частот першого порядку з частотою зрізу f_L 200 Гц, з'єднаний паралельно з фільтром високих частот першого порядку з частотою зрізу f_H 800 Гц. Оскільки два фільтри з'єднані паралельно, вхідний сигнал подається на обидва фільтри одночасно, як показано на рис. 3.14.

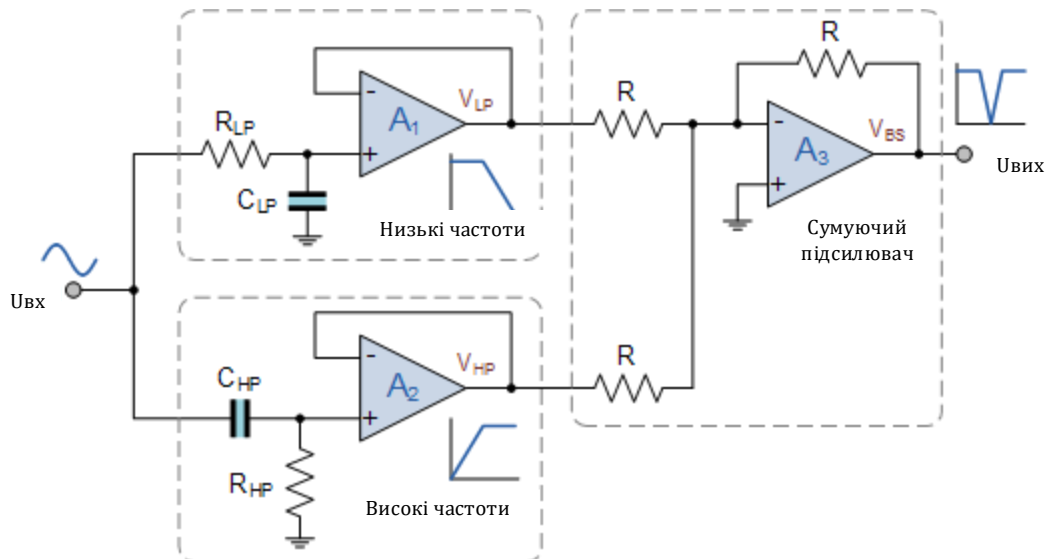


Рис. 3.14. Активний режекторний фільтр [21]

Використання операційних підсилювачів у конструкції смугового фільтра також дозволяє ввести підсилення напруги в основну схему фільтра.

При проектуванні перетворювачів схемотехнічні рішення відіграють ключову роль у підвищенні ефективності та надійності систем електроживлення. Наприклад, застосування широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) у системах управління дозволяє точно регулювати напругу та струм, оптимізувати роботу пристроїв та зменшувати електромагнітні завади. Цей метод допомагає мінімізувати гармонічні викривлення, забезпечуючи ефективну роботу перетворювачів.

Для забезпечення сумісності електромеханічного обладнання в системі електроприводу на основі автономного інвертора з широтно-імпульсною модуляцією, рекомендується встановлювати якомога вищу частоту модуляції. Це допоможе збільшити частоти вищих гармонік, які не суттєво впливатимуть на появу пульсуючих електромагнітних моментів. При цьому додаткові потужні втрати від вищих гармонік в двигуні

зменшуватимуться разом зі збільшенням їхньої частоти. На жаль, при зростанні частоти модуляції у перетворювачах також збільшуються втрати на комутацію в ключах і в ланках комутації.

При проєктуванні регульованих електроприводів з інверторами, що оперують за принципом широтно-імпульсної модуляції, важливо підібрати оптимальну частоту модуляції для мінімізації загальних електроприводних втрат. У цьому контексті вирішення завдання забезпечення електромеханічної сумісності між двигунами та перетворювачами повинно виконуватися у взаємодії з метою досягнення високої ефективності приводу. Сучасні перетворювачі зазвичай працюють з частотою модуляції у діапазоні 4...20 кГц.

Додатково, використання спеціальних алгоритмів керування, зокрема на основі ПД-регуляторів, може допомогти зменшити вплив високочастотних коливань напруги в інверторах. Ці алгоритми дозволяють підтримувати стабільність роботи системи у широкому діапазоні умов та завдань, забезпечуючи оптимальну якість електропостачання. Такі технічні рішення сприяють покращенню продуктивності та забезпечують ефективне функціонування електронних систем, особливо у вимогливих застосуваннях, де важлива висока якість електропостачання та надійність у роботі перетворювачів.

Прийняття спеціальних конструктивних рішень в процесі розробки електричних машин відіграє ключову роль у поліпшенні їхньої продуктивності та надійності. Наприклад, виробництво асинхронних двигунів із вбудованими екранами для захисту від електромагнітного випромінювання відіграє важливу роль у зменшенні впливу зовнішніх перешкод на роботу двигуна, забезпечуючи стійку та надійну роботу в різних умовах експлуатації.

Крім того, оптимізація конструкції обмоток у трансформаторах для зменшення втрат через вищі гармоніки напруги відіграє критичне значення у забезпеченні ефективної роботи трансформаторів. Цей підхід

використовують для уникнення додаткових енергетичних втрат та забезпечення стабільної та ефективної трансформації електроенергії. Такі технічні рішення сприяють покращенню продуктивності та забезпечують оптимальну ефективність електричних машин, підвищуючи їхню надійність та довговічність у різних умовах використання.

Запитання для самоконтролю

1. Назвіть основні стадії проєктування.
2. Назвіть основний склад та зміст проєктної документації.
3. Що входить до складу робочої документації систем автоматизації?
4. Що в собі містить поняття «технічне завдання»?
5. Розкрийте поняття «технічні умови»
5. Чим техніко-економічне обґрунтування відрізняється від техніко-економічного розрахунку?
6. Що в собі містить аналіз ефективності проєктних рішень?
7. Які показники можна використовувати при розрахунку ефективності проєкту?
8. Що в собі містить поняття «термін окупності»?
9. Назвіть основні фактори вибору електрообладнання відповідно від умов експлуатації.
10. Що визначає термін «електромагнітна сумісність»?
11. Які існують категорії та класи електромагнітної сумісності?
12. Які основні нормативні документи визначають вимоги до електромагнітної сумісності?
13. Які пристрої в електричних мережах є найбільшими джерелами електромагнітних завад?
14. Назвіть основні методи забезпечення електромагнітної сумісності.

РОЗДІЛ 4. ОГЛЯД ТЕХНІЧНИХ ТА ПРОГРАМНИХ ЗАСОБІВ ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

- Технічні засоби систем автоматизованих електроприводів
- Розрахунок режимів роботи та вибір автоматизованих електроприводів
- Програмні засоби електротехнічних систем
- Вибір технічних та програмних засобів систем автоматизації
- Запитання для самоконтролю

4.1. Технічні засоби систем автоматизованих електроприводів

4.1.1. Керовані перетворювачі для низьковольтних систем електроприводів

Перетворювач частоти, також відомий як частотний перетворювач або інвертор, є пристроєм, який змінює вхідну частоту електричного струму на вихідну частоту з використанням електронних керуючих елементів. Вхідна частота може бути постійна або змінюватися, а вихідна частота може бути вибрана за бажанням або підлаштована для конкретних потреб.

Перетворювачі частоти використовуються в різних промислових та комерційних застосуваннях. Основні області застосування включають приводи для електричних двигунів, системи керування кондиціонуванням повітря та опаленням, системи автоматизації, напівпровідникове виробництво, сонячні енергетичні установки та багато інших.

Основними перевагами використання перетворювачів частоти є:

1. Перетворювачі частоти дозволяють точне налаштування вихідної частоти для оптимального контролю швидкості, потужності або інших параметрів системи.
2. Використання перетворювачів частоти може допомогти знизити споживання електроенергії шляхом регулювання швидкості роботи електродвигуна або іншого споживача енергії із змінною швидкістю.
3. Завдяки перетворювачам частоти можна забезпечити точний контроль і регулювання параметрів системи, що покращує продуктивність, ефективність та якість роботи.
4. Деякі перетворювачі частоти мають вбудовану функцію захисту, яка дозволяє виявити та запобігти перевантаженням і несправностям.

На сьогодні виробляються два основних типи перетворювачів змінного струму:

1. Перетворювачі частоти, які отримують живлення від змінної трифазної напруги мережі (прямі перетворювачі частоти).

2. Автономні інвертори напруги, які отримують живлення від постійної напруги мережі (перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму).

Перетворювачі частоти другого типу включають в себе блок силового випрямляча, ланку постійного струму та автономний інвертор напруги.

Наразі, частотно-регульовані електроприводи змінного струму застосовуються в різних галузях, включаючи промисловість, сільське господарство і військову сферу. В залежності від конкретних потреб, провідні компанії, що виробляють перетворювальну техніку, пропонують спеціалізовані серії електроприводів, часто називаючи їх об'єктно-орієнтованими приводами.

Для автоматизації простих виробничих механізмів та типових об'єктів міського, житлово-комунального господарства, застосовують загальні, стандартні приводи. У цьому сегменті ринку попитом користуються великі електротехнічні корпорації, такі як Siemens, ABB, Schneider Electric, Danfoss Mitsubishi Electric та Lenze. Це пояснюється їх здатністю до зниження вартості продукції через великі обсяги виробництва й доступ до міжнародних ринків збуту.

Окрім параметрів потужності, струму, напруги живлення периферійних можливостей провідні виробники перетворювачів частоти дають змогу споживачам електротехнічної продукції замовляти наступні опції:

1. Конструктивне виконання радіатора перетворювача частоти:
 - стандартне виконання (радіатор є нез'ємним);
 - технологія Cold-Plate (радіатор відсутній, для відводу тепла використовується сама металева шафа керування, в яку встановлюється перетворювач);
 - технологія Push-throught (радіатор механічно може бути від'єднаний від перетворювача для встановлення ззовні шафи керування, при

цьому IP шафи не знижується, а тепловиділення відбувається поза шафи управління).

2. Умови навколишнього середовища:

- стандартне виконання;
- виконання для роботи в умовах підвищеної вологості з утворенням конденсату (забезпечується за рахунок додаткового лакового покриття внутрішніх плат перетворювача).

3. Конфігурація додаткових опцій:

1. Наявність додаткового модуля безпеки:

- модуль безпеки відсутній;
- підключено модуль безпечного відключення моменту (STO);
- модуль безпечної зупинки по траєкторії (SS1,SS2).

Модуль STO забезпечує підвищений захист людини і обладнання від ураження електричним струмом та некоректної роботи ПЧ при неправильному управлінні. Забезпечує відключення живлення модулів оптичної розв'язки, що використовуються між виводами мікроконтролера перетворювача і вводами керування транзисторами силового модуля.

Модулі безпечної зупинки по траєкторії забезпечують гарантовану зупинку за відведений час з подальшим відключенням моменту (SS1) та гарантовану зупинку двигуна за відведений час із подальшим утриманням валу (SS2).

2. Наявність модуля зв'язку із зовнішньою системою автоматизації.

3. Наявність модуля для підключення датчика зворотного зв'язку за швидкістю.

Приводи, які відносять до класу високодинамічних, застосовують для вирішення досить складних задач автоматизації виробничих механізмів і технологічних комплексів. Як правило, такі приводи характеризуються програмованою гнучкою системою управління, можуть оснащуватися датчиками зворотного зв'язку за швидкістю двигуна, мають в стандартній

комплектації широкий набір дискретних і аналогових входів / виходів і дозволяють розширювати функції за рахунок додаткових плат.

Останнім часом розширюється сфера застосування так званих сервоприводів для механізмів, де потрібно забезпечити виконання точних рухів.

Розглянемо загальну типову структуру системи управління сервоприводом (рис.4.1).

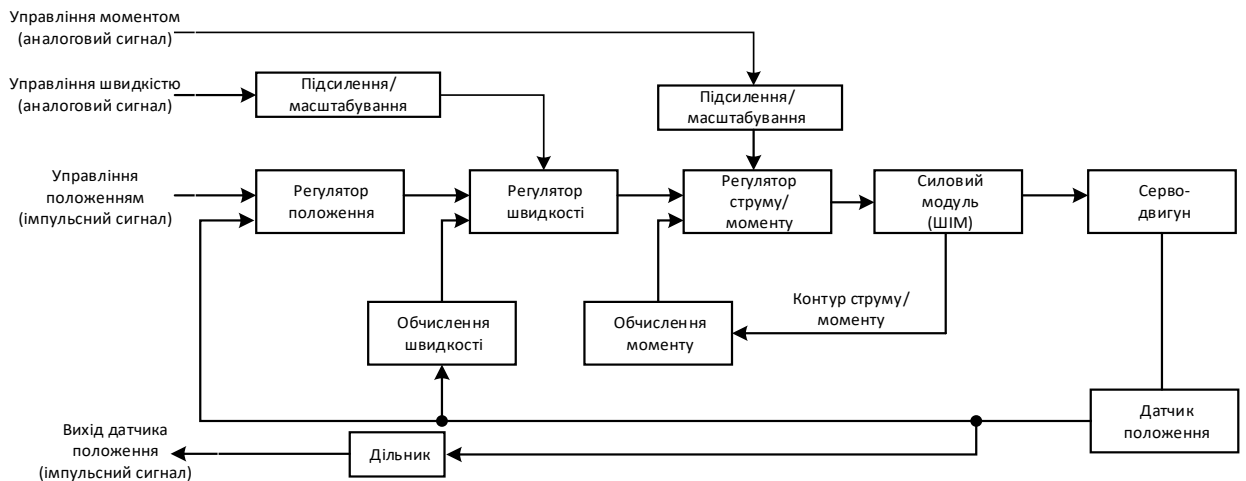


Рис. 4.1. Загальна типова структура системи управління сервоприводом

В звичайному сервоприводі може бути до трьох контурів регулювання:

- контур струму / моменту;
- контур швидкості;
- контур положення або кута повороту валу двигуна.

Залежно від технологічної задачі сигнал керування відповідною координатою електроприводу може бути поданий в необхідний контур від зовнішньої системи управління (наприклад, від системи числового програмного керування (ЧПК) в контур регулювання швидкості, або від програмованого контролера керування натягом паперу в контур регулювання моментом).

4.1.2. Високовольтні електроприводи

Високовольтні приводи застосовуються в різних галузях. Основні області їх застосування включають:

- ✓ насосні станції і системи теплопостачання будівель і споруд, включаючи подачу та розподіл питної води та циркуляцію теплоносія;
- ✓ нафтова і газова промисловість (привод насосів та компресорів);
- ✓ машинобудування (привод вентиляторів, насосів та приводи з постійним моментом навантаження);
- ✓ харчова промисловість (приводи насосів, тістомісильних машин та млинів);
- ✓ суднобудування (приводи головних і допоміжних гребних гвинтів, а також підрулюючих пристроїв);
- ✓ цементна промисловість (приводи стрічкових транспортерів, повітродувок та дробарок);
- ✓ кар'єрні установки (стрічкові конвеєри, екскаватори та дробарки);
- ✓ підземні гірничі виробки (приводи транспортерних машин та рудничних вентиляторів);
- ✓ силові установки підприємств енергопостачання (насоси, вентилятори та вугледробарки);
- ✓ паперова промисловість (приводи млинів та насосів).

Електродвигуни змінного струму, зокрема асинхронні і синхронні двигуни, є широко використовуваними у багатьох галузях, включаючи промисловість, транспорт, будівництво та побутові пристрої. Вони забезпечують ефективну роботу зі значними навантаженнями, гнучкість в регулюванні швидкості і широкий діапазон потужностей. Зазвичай вони виконуються на велику потужність, отже високовольтні перетворювачі частоти до них виконуються в шкафному конструктиві. На рисунку 4.2 показано зовнішній вигляд перетворювача частоти серії MVW01 від компанії WEG.



Рис. 4.2. Зовнішній вигляд високовольтного перетворювача частоти

На ринку регульованих високовольтних електроприводів представлені кілька типових схем реалізації системи ПЧ-АД на 6,0 кВ. Загальна структура перетворення енергії є типовою і представлена на рисунку 4.3.

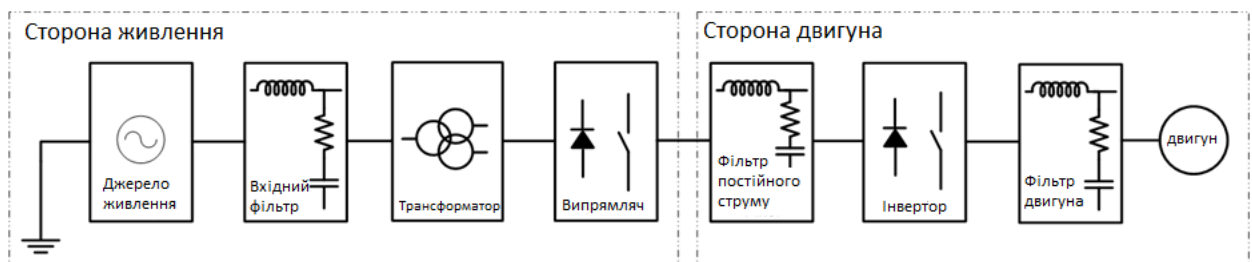


Рис. 4.3. Загальна схема високовольтного перетворювача частоти

Наприклад, розглянемо електропривод фірми WEG за схемою: 12-пульсний випрямляч - проміжна ланка постійного струму - інвертор напруги. Вихідний інвертор напруги реалізований на базі високовольтних IGBT-транзисторів.

Система містить наступні компоненти:

- силовий вимикач середньої напруги, керований від перетворювача частоти;
- вхідний узгоджувальний триобмотковий трансформатор з вторинними обмотками, зсунутими один щодо одного на кут 30 електричних градусів;

- 12-пульсний некерований випрямляч, що складається з двох діодних 6-пульсних мостів;
- ланка постійної напруги зі згладжувальними конденсаторами і вимірювальним перетворювачем (датчиком) постійної напруги;
- автономний інвертор з вимірювальними перетворювачами (датчиками) вихідного струму і напруги інвертора;
- високовольтний асинхронний двигун.

12-пульсний випрямляч використовується для перетворення вхідного змінного струму в постійний струм. Він має 12 діодів, які мають спеціальну конфігурацію, що дозволяє компенсувати деякі небажані гармоніки у вихідному струмі, забезпечуючи більш чисту постійну напругу у проміжній ланці.

Проміжна ланка постійного струму використовує електролітичні конденсатори або інші пристрої для збереження енергії постійного струму. Вона має за мету стабілізувати напругу, зберігати енергію та забезпечувати струм для живлення інвертора напруги.

Інвертор напруги є останнім етапом схеми і використовується для зміни струму постійного струму на змінний струм з бажаною частотою і напругою. Інвертор здатний керувати швидкістю, обертовим моментом та напрямком руху електроприводу, надаючи потрібні характеристики для конкретного застосування.

Така схема електроприводу на основі 12-пульсного випрямляча, проміжної ланки постійного струму і інвертора напруги використовується для контролю швидкості та потужності електричних двигунів. Вона забезпечує ефективне та точне керування, а також можливість регулювання різних параметрів, що робить її популярним в індустрії та автоматизації процесів.

Можлива комплектація 18-пульсним блоком вхідного випрямляча.

Система управління перетворювача забезпечує стійке регулювання вихідної частоти в діапазоні 10:1 у скалярному і векторному режимах.

Програш в якості регулювання швидкості на низьких швидкостях зумовлений вкрай складною процедурою визначення активного опору обмотки статора двигуна й, відповідно, реалізації алгоритму векторного керування для двигунів великої потужності.

У стандартному виконанні максимальна вихідна частота перетворювача складає 100 Гц.

Широке поширення отримали високовольтні перетворювачі частоти з інверторами напруги на базі замикаючих тиристорів GTO, IGCT.

Найбільш сучасною і зручною в експлуатації вважається наступна схема побудови високовольтного перетворювача від компанії Yaskawa: вхідний трансформатор, багаторівневий інвертор із використанням комірків із низьковольтними модулями випрямлячів, ланками постійного струму та силовими транзисторами.

У схемі використаний спеціальний трансформатор, який перетворює вхідну напругу 3 фази, 6 кВ в вихідну напругу 18 фаз, 578 В. Ця напруга після випрямлення живить осередки інвертора.

Основною особливістю такого трансформатора є те, що його вторинні обмотки розділені на три групи по шість обмоток в кожній. Фазовий зсув між сусідніми обмотками в групі становить 10° , а між першою і шостою обмотками групи - 50° . Кожна вихідна обмотка трансформатора навантажена на випрямляч свого осередку інвертування.

Схема високовольтного перетворювача від компанії Yaskawa серії MV1000, що реалізує таку схему, представлена на рисунку 4.4.

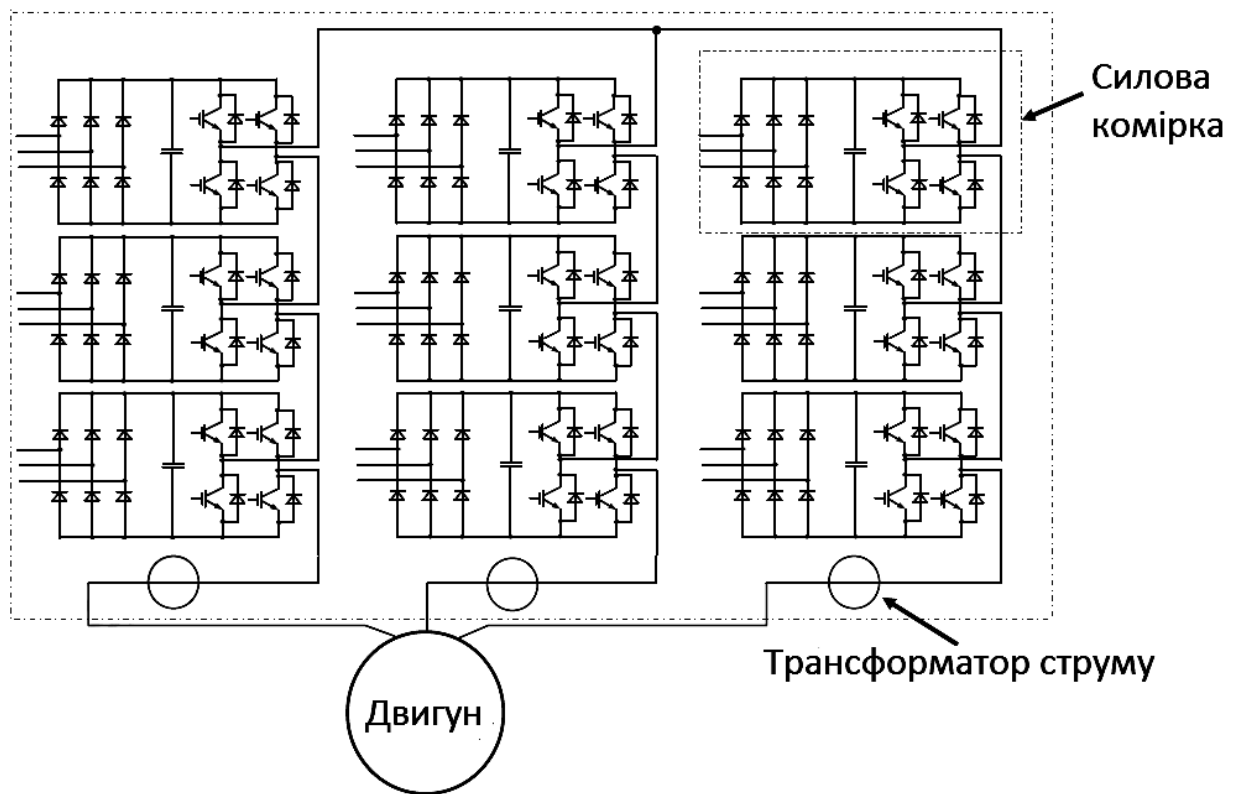


Рис. 4.4. Схема високовольного перетворювача частоти Yaskawa

Перевагою такого рішення є плавність зміни напруги на виході перетворювача частоти.

Істотним недоліком розглянутих двох схем високовольних електроприводів є їх велика вартість.

Альтернативним рішенням до таких схем є застосування двохтрансформаторної схеми: понижуючий трансформатор - випрямляч - ланка постійного струму з фільтром – низьковольтний автономний інвертор - підвищувальний трансформатор - високовольтний двигун.

Двотрансформаторні перетворювачі відрізняють відносна дешевизна і простота практичної реалізації, внаслідок використання низьковольтного інвертора, тому вони часто застосовуються для управління високовольтними електродвигунами в діапазоні потужностей до 1,5 МВт.

Основними недоліками двотрансформаторних перетворювачів є високі масогабаритні характеристики, а також менші в порівнянні з іншими схемами ККД (93 ... 96%) і надійність. Крім того, за рахунок збільшення

насичення сердечника трансформатора при зниженні частоти, діапазон регулювання швидкості обмежений до 2:1.

Також для уникнення подачі високовольтних імпульсів на вхід підвищувального трансформатора в більшості випадків виникає необхідність застосування вихідного синусоїдального фільтру, що в свою чергу також призводить до підвищення вартості обладнання в цілому.

4.1.3. Електродвигуни і мотор-редуктори

Електродвигуни. В електроприводах змінного струму найбільш розповсюджені низьковольтні асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Вони мають високу надійність, прості в експлуатації, порівняно низької вартості і мають якісні регульовальні властивості при роботі від транзисторного перетворювача частоти.

В стандартному виконанні асинхронний двигун постачається виробником без додаткових опцій із вентилятором, що встановлений безпосередньо на валу двигуна. Проте багато застосувань, в свою чергу, вимагають встановлення додаткових пристроїв для забезпечення безпеки та надійності експлуатації обладнання. До опцій, що можуть бути реалізовані провідними виробниками двигунів відносяться:

1. Кількість виводів у клемній коробці.

Для виключення можливої експлуатації двигуна за технологією 87 Гц виробник виводить в клемну коробку лише 3 виводи без можливості перемикання замовником схеми підключення «зірка/трикутник».

2. Тип вихідного валу.

Вал постачається від виробника із шпонкою або суцільним. Суцільний вал двигуна зазвичай використовують для високоточних задач, де є недопустимим вплив люфту, що зазвичай має місце при використанні шпонки.

3. Наявність і тип фланцю з боку відбору потужності:
 - без фланця;

- різьбове з'єднання;
 - наскрізний отвір.
4. Положення клемної коробки двигуна.
 5. Спосіб підключення кабелю живлення:
 - стандартна клемна коробка із гвинтовим підключенням;
 - з штекерним з'єднанням для швидкого підключення.
 6. Тип та колір покриття:
 - ґрунтова фарба;
 - лакове покриття;
 - фарба кольору стандарту RAL.

Стандарт RAL визначає таблицю кольорів, розробленої в Німеччині у 1927 році Державним комітетом з торгових стандартів, що зазвичай використовується в сучасній промисловості. Приклад фарб з таблиці стандарту RAL представлений на рисунку 4.5.



Рис. 4.5. Приклад таблиці стандарту RAL

7. Клас корозійної активності:
 - Клас корозійної активності відсутній;
 - C1 (може використовуватися в опалювальних приміщеннях з чистою атмосферою);
 - C2 (може використовуватися у сільській місцевості або в неопалювальних приміщеннях, де може з'явитися волога);

- СЗ (використовується у прибережних територіях із низьким рівнем солоності або приміщеннях з високим ступенем вологості).

8. Наявність захисного кожуха для вентилятора самостійного або незалежного охолодження.

9. Тестування двигуна на заводі відповідно до стандартів перевірки відповідності двигуна заявленим характеристикам.

У багатьох приводних системах, використовуваних для позиціонування робочого органу, двигун повинен бути оснащений додатковим механічним гальмівним пристроєм. Двигуни з гальмом застосовуються і в тих випадках, коли необхідна висока ступінь безпеки. Наприклад, в підйомних пристроях, коли двигун електричним способом зупиняється при певному положенні приводу, для його надійної фіксації накладаються гальма. Подібні вимоги до безпеки дійсні і для систем, чутливих до відмови електромережі. У цьому випадку механічне гальмо двигуна забезпечує екстрену зупинку. При подачі напруги на котушку гальма він звільняється (відпускається) електромагнітним способом, при знятті напруги гальмо автоматично накладається зусиллям пружин.

Можливі параметри при замовленні гальмівного пристрою:

1. Напруга живлення котушки гальма:

- 24 В постійного струму (використовується із швидкодіючими серводвигунами);

- 180 В постійного струму;

- 205 В постійного струму;

- 230В змінного струму (модуль випрямлення напруги встановлюється виробником двигуна в клемну коробку);

- 400В змінного струму (модуль випрямлення напруги встановлюється виробником двигуна в клемну коробку).

2. Наявність модуля випрямлення напруги:

- модуль відсутній (опція неможлива при виборі змінної напруги живлення для котушки двигуна);

- встановлюється модуль з вбудованим фільтром перешкод.
- 3. Наявність важеля ручного розгальмовування.
- 4. Наявність ротора для зовнішнього гідродинамічного сповільнювача.
- 5. Наявність запобіжного кільця на гальмі.
- 6. Підключення інформаційного сигналу про спрацювання гальма:
 - клемна коробка;
 - штекерне з'єднання.
- 7. Вбудований тепловий захист двигуна:
 - термоконтакт ТКО (нормально – закритий контакт, що розмикається при перевищенні температури, допустимої для визначеного класу ізоляції);
 - напівпровідниковий аналоговий датчик КТУ83-110 або КТУ84-130 (застарілий стандарт датчиків для визначення поточного значення температури двигунів);
 - напівпровідниковий датчик РТС з пороговим спрацюванням по перевищенню температури (РТС – позитивний температурний коефіцієнт);
 - термоопір Pt100 (сучасний стандарт датчиків температури двигунів для визначення поточного значення температури).

Для особливо відповідальних застосувань використовуються комбінації аналогового та порогового датчиків, наприклад ТКО та КТУ83-110. При цьому ТКО налаштовується на гарантоване відключення двигуна, а аналоговий датчик КТУ83-110 використовується системою керування для формування попереджень.

Слід відзначити, що останнім часом в світі має місце тенденція до застосування синхронних двигунів з постійними магнітами, однак в Україні цей тип двигунів ще не знаходить широкого використання.

Мотор-редуктори. Складаються з електродвигуна і понижуючого редуктора, що утворюють єдину конструкцію. Область застосування мотор-редукторів, як правило, обмежена потужністю 200 кВт. Більш потужні редуктори виготовляються на замовлення.

Мотор-редуктори використовуються в різних промислових і комерційних застосуваннях. Вони забезпечують ефективний передачу потужності і контроль над рухом механізмів. Деякі приклади використання мотор-редукторів включають транспортні системи, конвеєри, ліфти, розсувні ворота, машини для продовольчої та виробничої галузей, і багато інших. Їх конструкція і характеристики можуть бути налаштованими під конкретні вимоги та потреби виробничого процесу.

Основними типами мотор-редукторів є:

1. Циліндричні мотор-редуктори - має циліндричну форму корпусу та пару зубчастих коліс. Цей тип забезпечує ефективну передачу приводу та зазвичай використовується в промислових застосуваннях.

2. Конічні мотор-редуктори - має конічну форму корпусу та конічні зубчасті колеса. Вони використовуються в процесах, коли потрібна висока надійність та стійкість до великих навантажень.

3. Гвинтові мотор-редуктори - використовують гвинтовий механізм передачі для створення великих обертових моментів. Цей тип зазвичай використовується в засувних механізмах, розсувних воротах та інших пристроях, де потрібен великий обертовий момент.

4. Планетарні мотор-редуктори - складаються з внутрішньої зубчастого колеса, зовнішньої зубчастої корони та одного або кількох сателітних коліс, що обертаються навколо власних осей. Планетарні мотор-редуктори забезпечують високу площину передачі, компактні розміри і високу ефективність, тому вони широко використовуються в промислових роботах, автомобільній техніці та інших застосуваннях, де потрібна висока точність та надійність передачі механічної енергії.

5. Конічно-циліндрична комбінація - цей тип мотор-редуктора поєднує конічні та циліндричні зубчасті колеса для забезпечення оптимальної передачі обертового моменту та швидкості. Вони часто використовуються в важких промислових умовах, де потрібна висока потужність та витривалість.

Вибір конкретного типу мотор-редуктора залежить від потрібних характеристик, вимог до приводу та умов застосування.

4.1.4. Комутаційна і захисна апаратура, дроселі та фільтри

Комутаційна апаратура використовується для керування, перемикання і захисту електричних колів, дозволяючи ефективно включати і відключати електричні пристрої. Вона може включати контактори, реле, автоматичні вимикачі та інші електричні комутаційні пристрої.

Захисна апаратура призначена для забезпечення безпеки електричних систем, включаючи захист від перевантаження, короткого замикання, замикання на землю та інших небезпечних умов. Вона може включати розподільні пристрої, пристрої захисту від току перевантаження, реле диференційного струму та інші компоненти.

Дроселі використовуються для обмеження струму, розподілу струму або стабілізації напруги в електричних системах. Вони допомагають зменшити флуктуації струму або напруги, що можуть виникати внаслідок різних факторів, таких як реактивна потужність, імпульси струму тощо.

Фільтри використовуються для покращення якості електричного сигналу шляхом фільтрації небажаних шумів, спотворень або перешкод. Вони можуть використовуватись в електроніці, телекомунікаціях, аудіо- та відеообладнанні для покращення якості сигналу, попередження перешкод або захисту пристроїв від зовнішніх впливів.

Загальна схема підключення комутаційної і захисної апаратури, дроселів і фільтрів для частотно - регульованого електроприводу має вигляд представлений на рис. 4.6.

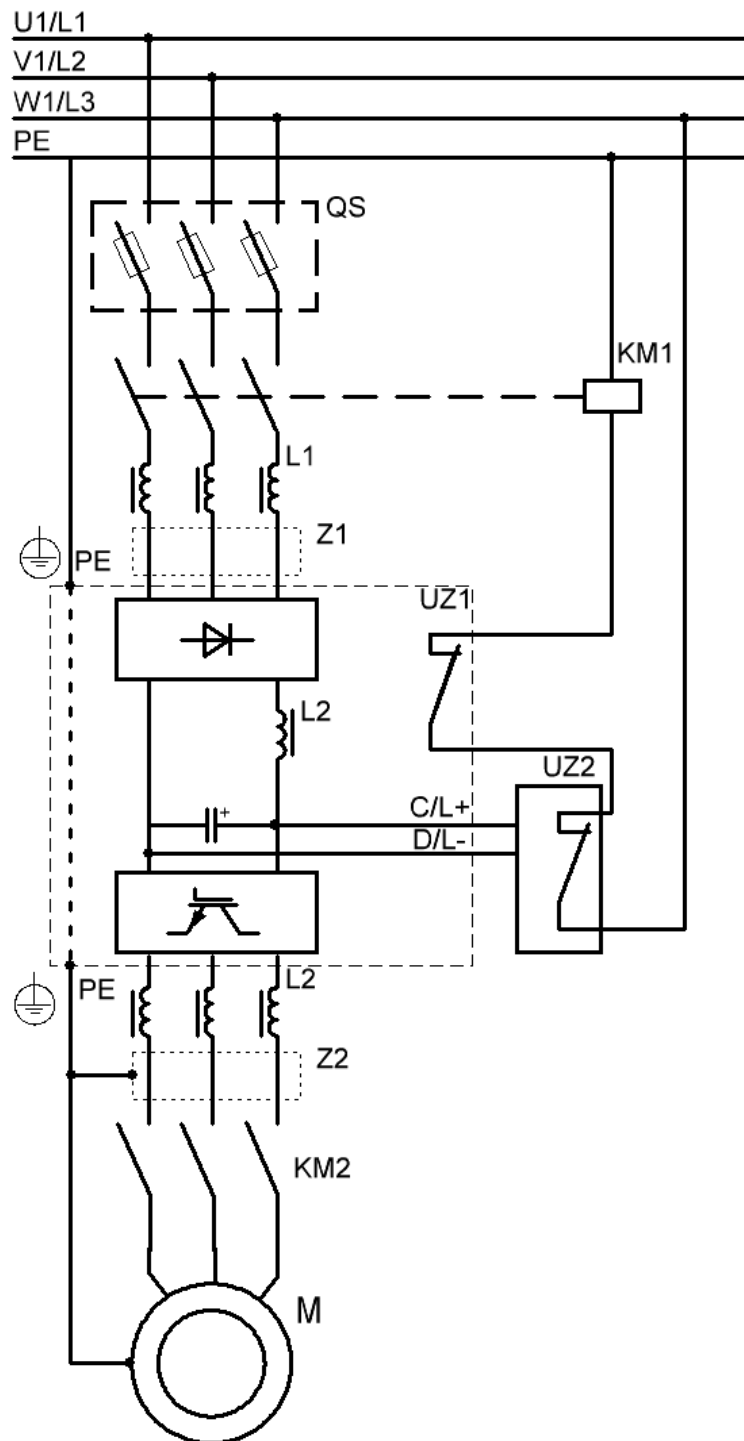


Рис. 4.6. Загальна схема підключення комутаційної і захисної апаратури, дроселів і фільтрів для частотно-регульованого електроприводу

Вибір апаратів захисту для перетворювачів частоти **UZ1** визначається їх номінальним входним струмом. Як правило, рекомендовані апарати захисту вказані в каталогах за вибором перетворювачів. При відсутності

таких даних вибір автоматичного вимикача визначається максимально можливим перевантаженням перетворювача, яка в загальному випадку становить близько 150% його номінального вхідного струму протягом 60 с.

QS - триполюсний роз'єднувач з трьома запобіжниками, зазвичай швидкодіючими, які захищають систему від коротких замикань та перевантажень.

Мережевий контактор **KM1** забезпечує функцію безпечного відключення перетворювача частоти від живлення. Вибір мережевого контактора здійснюється за номінальним вхідним струмом перетворювача. Не рекомендується використовувати контактор для управління пуском / зупинкою приводу під навантаженням. Це призведе до небажаного зносу контактора, перевантаження вузлів зарядку та розряду конденсаторів ланки постійного струму. Також збільшиться час запуску приводу за рахунок процедури його ініціалізації при подачі силового живлення. Для управління пуском / зупинкою слід використовувати сигнальні ланцюги перетворювача.

Мережевий дросель **L1** знижує гармоніки струму, які виробляє перетворювач. Ефект застосування дроселя залежить від відношення потужності короткого замикання (КЗ) живильної мережі до потужності приводу (рекомендоване значення цього відношення більше 33:1). Мережевий дросель також знижує викиди струму, викликані стрибками напруги в мережі.

Дросель ланки постійного струму **L2** також знижує гармоніки струму, які виробляє перетворювач, зазвичай є вбудованим для перетворювачів частоти більше 100кВт.

Z1, Z2 – перешкодопригнічувальні фільтри (вхідні та вихідні) зменшують напругу перешкод перетворювача. Існують перешкодопригнічувальні фільтри з номінальними струмом до 2500 А і напругою до 690 В для різних типів промислових мереж.

Ланка постійного струму живить інвертор постійною напругою, і, в свою чергу живиться від блоку випрямлення або блоку рекуперації.

Вихідні дроселі **L2** компенсують ємнісні струми в довгих кабелях. При дуже великій довжині кабелю (більше 200 метрів) вихідні дроселі об'єднуються в єдиний конструктив із перешкодопригнічувальним фільтром **Z2**.

Максимальна довжина кабелю живлення двигуна, що підключається до стандартного перетворювача без вихідного дроселя, і при використанні вихідного дроселя вказана в каталогах. Якщо до перетворювача частоти підключено кілька двигунів, ємнісні струми їх кабелів складаються, і рекомендується обов'язкове використання вихідного дроселя.

Контактор **KM2** забезпечує безпосередньо підключення двигуна до перетворювача частоти (за наявності вимог щодо безпечного відключення моменту двигуна), в яких немає вбудованої функції безпечного відключення силових транзисторів.

Блок гальмування **UZ2** слугує для скидання надлишкової енергії гальмування із ланки постійного струму на гальмівний резистор, або в мережу живлення.

Типова схема електричного підключення інвертора напруги до ланки постійного струму має вигляд представлений на рис. 4.7.

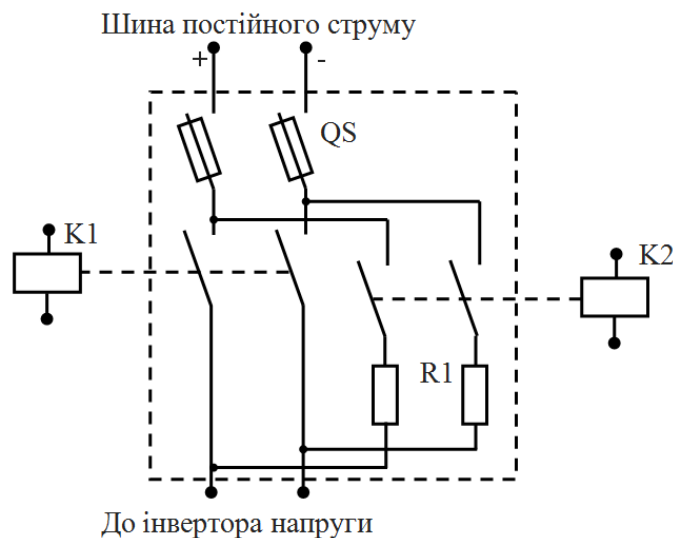


Рис. 4.7. Типова схема електричного підключення інвертора до ланки постійного струму

На схемі позначено:

QS – двополюсний роз'єднувач з двома запобіжниками;

R – два опори для попереднього заряду конденсаторного фільтра;

K1 – з'єднувальний контактор для підключення інвертора напруги до ланки постійного струму;

K2 – з'єднувальний контактор для підключення інвертора напруги через опори попереднього заряду.

У більшості перетворювачів частоти, що орієнтовані для роботи від ланки постійного струму з'єднувальним контактором можна керувати за допомогою електроніки інвертора. Відповідно, можна включити або відключити інвертор, коли ланка постійного струму знаходиться під напругою. При включенні і відключенні вихідні ключі інвертора напруги заблоковані, тобто перемикання відбувається не під струмом.

Модулі гальмування і гальмівні опори використовуються в тих випадках, коли процеси гальмування приводу з виділенням енергії на ланці постійного струму відбуваються рідко і мають короткочасний характер, наприклад при аварійному гальмуванні механізму. Для малих потужностей модуль гальмування зазвичай вбудований в перетворювач частоти і потребує підключення лише зовнішнього резистора. Для потужностей більше 45кВт зазвичай використовується зовнішній модуль гальмування й окремі гальмівні резистори. Для дуже великих потужностей, коли енергія гальмування перевищує 10 кВт, наприклад для кранових електроприводів використовуються ящики резисторів. Необхідний розрахунковий опір та розсіювана потужність навантаження забезпечується за рахунок послідовно – паралельного з'єднання резисторів всередині ящика.

Варіант схеми підключення модуля гальмування і гальмівного опору до перетворювача частоти компанії Yaskawa має вигляд представлений на рис. 4.8.

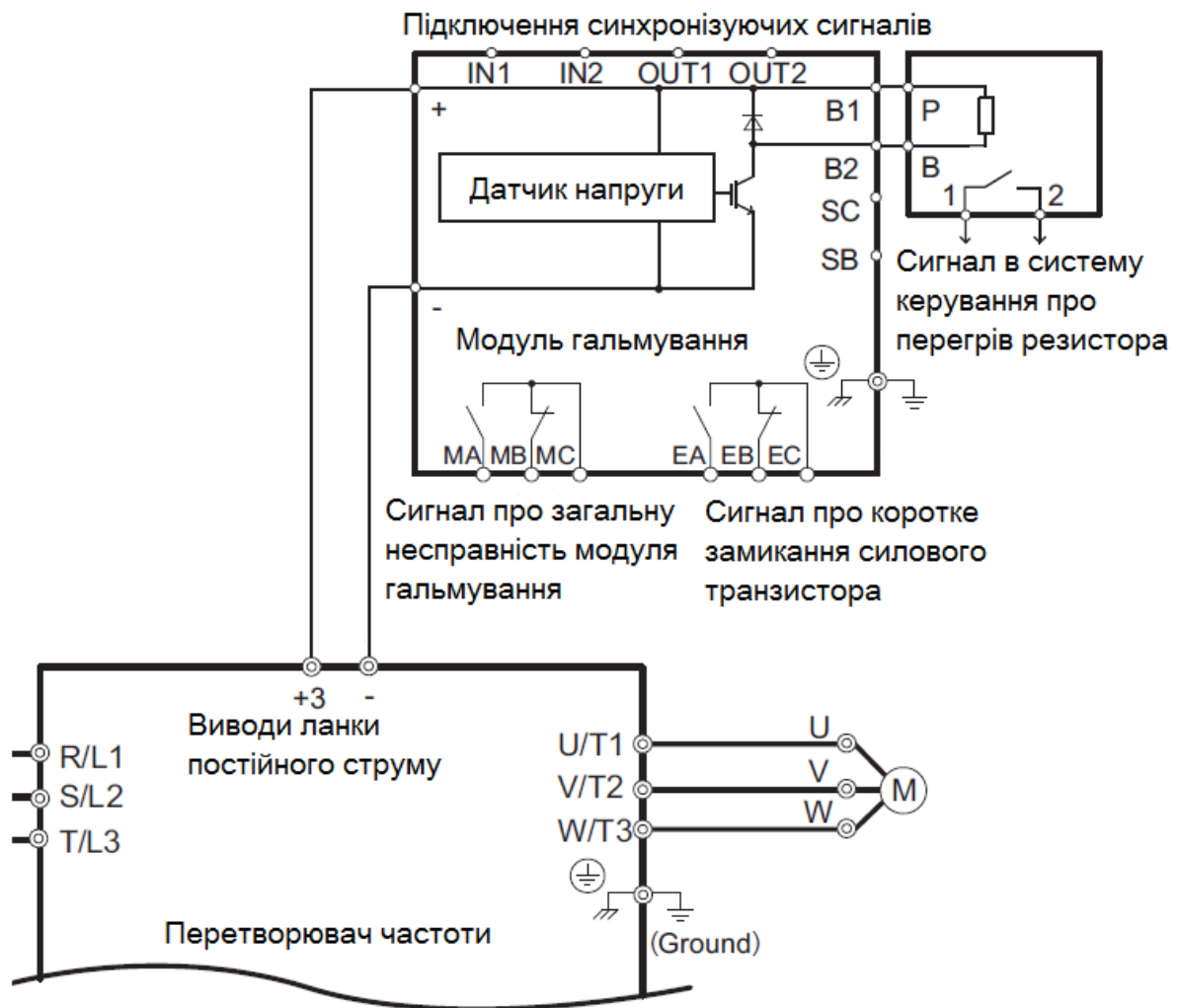


Рис. 4.8. Схема підключення гальмівного блоку і гальмівного опору до перетворювача частоти

4.1.5. Пристрої плавного пуску і гальмування асинхронних двигунів

Пристрій плавного пуску і гальмування (ППП) є електронним пристроєм, який використовується для забезпечення плавного пуску і зупинки трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Він є альтернативою традиційним методам пуску, таким як перемикання зірка/трикутник, автотрансформаторний пуск або із використанням додаткових опорів в колі статора. За допомогою тиристорного регулювання напруги на статорних обмотках, PPP забезпечує безступінчатий пуск і

зупинку двигуна, захист механізмів і двигунів, а також взаємодію з системами автоматизації.

Застосування ППП є економічно вигідним, оскільки забезпечує зниження вартості експлуатації механізмів шляхом зменшення механічного навантаження та покращення готовності обладнання до роботи. Крім того, знижується вплив на електричну мережу при пуску двигунів, забезпечується обмеження перепадів струму та провалів напруги.

Найчастіше ППП використовуються для запуску вентиляторів, насосів, компресорів та конвеєрів. Більшість компаній-виробників електроприводів і систем автоматизації пропонують ППП в своєму асортименті (ABB, Siemens, Schneider Electric, WEG Electric, Danfoss, Allen-Bradley).

Класифікація пристроїв плавного пуску:

1. За рівнем напруги:
 - низьковольтні пристроїв плавного пуску із напругою силового живлення 220-690В (можливість підключення двигунів із потужністю до 1,95 МВт);
 - пристрої плавного пуску середньої напруги 2,3-13,8кВ (можливість підключення двигунів потужністю до 12,2 МВт).
2. За типом виконання:
 - у вигляді окремого пристрою, що встановлюється в електротехнічній шафі (для малих і середніх потужностей);
 - шафове виконання (для великий потужностей і середніх напруг).
3. За кількістю керованих фаз:
 - однофазне керування;
 - двофазне керування;
 - трифазне керування.
4. За наявністю обхідного контактора:
 - з вбудованим контактором (зазвичай до 200 кВт);

- із можливістю підключення зовнішнього контактора (більше 200 кВт).

5. За способом завдання параметрів роботи:

- з лицьової панелі пристрою шляхом налаштування потенціометрів та DIP - перемикачів;

- з пульта оператора шляхом параметризації пристрою;

- за допомогою персонального комп'ютера за допомогою відповідного програмного забезпечення;

- за допомогою мобільного пристрою із відповідним застосунком.

6. За режимами зміни вихідної напруги:

- зміна вихідної напруги за визначеним профілем;

- зміна вихідної напруги в режимі регулювання електричних параметрів роботи двигуна;

- зміна вихідної напруги в режимі регулювання механічних параметрів роботи двигуна.

Порівняльна характеристика пристроїв плавного пуску з різною кількістю регульованих фаз зведена в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1. Порівняльна характеристика за кількістю фаз

Кількість регульованих фаз	Асиметрія фаз при пуску	Плавне гальмування	Обмеження пускового струму	Включення пристрою плавного пуску в розрив з'єднання обмоток «трикутником»	Гальмування випрямленим струмом	Обов'язкова наявність контактора між мережею живлення і двигуном
1	Так*	Ні	Ні**	Ні	Ні	Так
2	Так*	Так	Так	Ні	Ні	Так***
3	Ні	Так	Так	Так	Так	Ні

*Є дисбаланс, як за струмами, так і за напругою, що подається на двигун.

****Функція «обмеження струму» не реалізована в програмному забезпеченні, але забезпечується незначне обмеження струму через невелику напругу, що подається через одну з фаз в початковий момент запуску.**

*****Обов'язкове використання контактора обумовлено необхідністю передбачити можливість відключити всі фази мережі живлення при виникненні аварійних ситуацій.**

Вибір пристрою плавного пуску в залежності від кількості регульованих фаз багато в чому визначається характером навантаження. Наприклад, при великому моменті початкового навантаження більшість виробників пристроїв плавного пуску однозначно рекомендують схему з трьома регульованими фазами. Це, в свою чергу, призводить до суттєвого збільшення вартості обладнання в цілому. Тому в більшості випадків вибір серії пристрою плавного пуску здійснюється інженером - проєктувальником в залежності від виділених коштів на обладнання і наявного досвіду.

Пристрої плавного пуску з однією регульованою фазою.

Призначені для плавного розгону виконавчих механізмів, при яких необхідно обмежити крутний момент приводного двигуна. В першу чергу до них відносяться невеликі транспортери, вентилятори з ремінною передачею, компресори. Вони найдешевші, але на даний момент не знайшли широкого застосування в промисловості і, в більшості випадків, знімаються з виробництва.

Значною мірою це пов'язано зі зниженням вартості напівпровідникових силових елементів. Зовнішній вигляд пристрою плавного пуску для однофазного компресора має вигляд, представлений на рисунку 4.9.



Рис. 4.9. Зовнішній вигляд пристрою плавного пуску з однією регульованою фазою

Зазвичай такі пристрої плавного пуску не мають налаштувань і вибираються за потужністю.

Схема силовій частини таких пристроїв плавного пуску показана на рис.4.10.

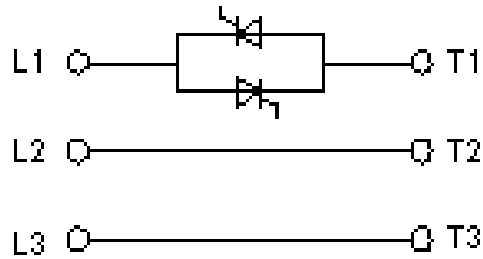


Рис. 4.10. Схема силовій частини пристрою плавного пуску з однією регульованою фазою

Істотним недоліком пристрою плавного пуску з однією керованою фазою є те, що неможливо зупинити двигун без застосування зовнішніх комутаційних елементів. Справа в тому, що при наявності двох нерегульованих фаз, незалежно від стану третьої, мотор буде обертатися в однофазному режимі зі зниженням крутного моменту. На практиці при виявленні аварійної ситуації (перегрів, асиметрія напруги живлення) такий пристрій подає сигнал на зовнішню систему управління, а від неї надходить сигнал на відключення силового контактора або ввідного автоматичного вимикача. Також до недоліків такого пристрою плавного пуску можна віднести значний перегрів обмоток нерегульованих фаз під час пуску електродвигуна.

Пристрої плавного пуску з двома регульованими фазами.

При двофазному управлінні також спостерігається асиметрія струмів і напруги живлення для двигуна, але їх вплив значно менше, ніж у випадку з однофазним регулюванням. При низьких напругах живлення на вихідних клеммах пристрою плавного пуску в обмотках статора виникає паразитна складова постійного струму. Вона створює додатковий гальмівний момент і погіршує пускові характеристики системи в цілому.

Схема силовій частини пристроїв плавного пуску з двома змінними фазами показана на рис.4.11.

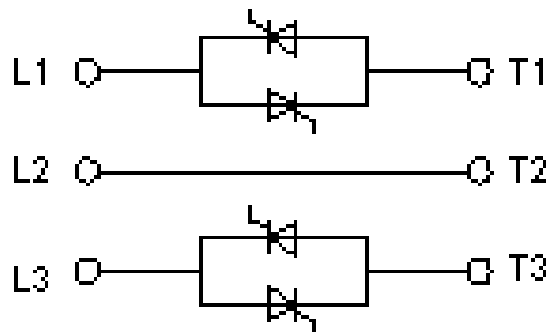


Рис. 4.11. Схема силовій частини пристрою плавного пуску з двома регульованими фазами

Більшість застосувань такої схеми орієнтовані в першу чергу на зменшення механічних ударів в системі, наприклад, насосах і вентиляторах. У той же час багато пристроїв плавного пуску з двома керованими фазами, такі як SSW08 від компанії WEG Electric, забезпечують режим обмеження струму, в якому струми в двох фазах контролюються прямим вимірюванням, а струм в третій фазі розраховується за першим законом Кірхгофа:

$$I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} = 0, \quad (4.1)$$

де I_{L1} , I_{L2} , I_{L3} - струми, споживані кожною з фаз напруги живлення.

Слід зазначити, що режим обмеження струму статора реалізований не у всіх пристроях плавного пуску і, в основному, для запуску двигуна використовується режим роботи з лінійною зміною вихідної напруги.

Пристрої плавного пуску з трьома керованими фазами.

Забезпечує симетричне регулювання напруги і струмів двигуна. За рахунок цього усувається постійна складова струму статора при пуску, поліпшуються пускові характеристики електродвигуна.

Схема силовій частини пристроїв плавного пуску з трьома змінними фазами показана на рис. 4.12.

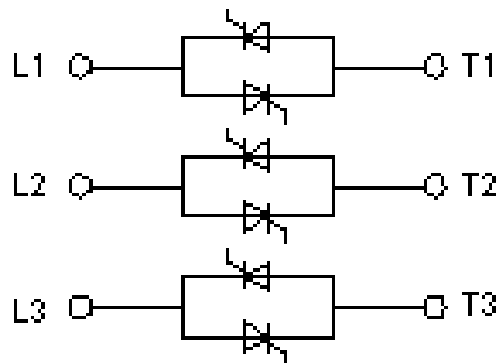


Рис. 4.12. Схема силової частини пристрою плавного пуску з трьома регульованими фазами

При використанні пристрою плавного пуску із трьома регульованими фазами можуть бути реалізовані всі існуючі алгоритми керування вихідною напругою як для пуску, так і ефективної зупинки двигунів.

Чи не єдиним, але істотним мінусом є значна вартість таких пристроїв. Адже, крім апаратного ускладнення за рахунок додавання третьої регульованої фази, ускладняється і мікропроцесорна система управління, яка забезпечує всі перераховані вище режими роботи пристрою.

Наявність обхідного контактора дозволяє суттєво підвищити надійність та енергоефективність пристрою плавного пуску в цілому.

Особливістю роботи напівпровідникових ключів є підвищене виділення тепла під час роботи. Це пов'язано з проходженням струму і падінням напруги на них, що потребує встановлення великих охолоджувачів та забезпечення належних кліматичних умов для роботи пристрою плавного пуску.

Слід також мати на увазі, що такий режим роботи ключів не є ефективним, оскільки скорочується кількість можливих пусків за годину. Крім того, при повторних пусках зменшується перевантажувальна здатність тиристорів, оскільки вони постійно знаходяться в нагрітому стані.

Для того щоб запобігти підвищеному зношуванню тиристорів при роботі двигуна в усталеному режимі, використовуються так звані обхідні контакти. Вони встановлюються паралельно силовим вимикачам пристрою

плавного пуску і замикаються при досягненні електродвигуном номінальної частоти обертання, як це представлено на рисунку 4.13. При цьому струм статора починає протікати шляхом найменшого опору, тобто через обхідні контакти, незалежно від стану напівпровідникових перемикачів.

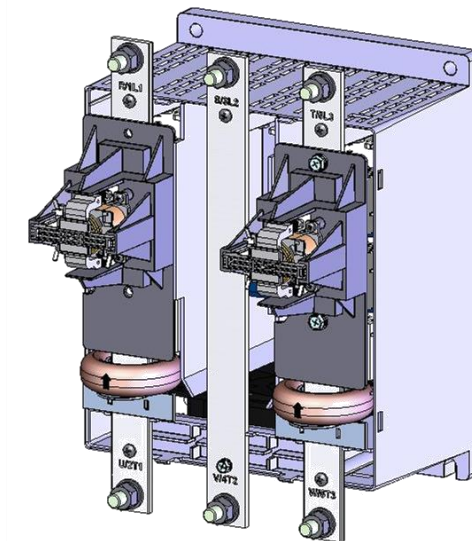


Рис. 4.13. Зовнішній вигляд силової частини пристрою плавного пуску із обхідними контакторами

Особливістю обхідних контакторів є те, що вони розраховані на роботу в режимі АС1, оскільки підключають напругу живлення до вже працюючого двигуна.

Також важливо пам'ятати, що при переході на вбудований обхідний контактор трансформатори струму продовжують вимірювати струм споживання електродвигуна. Якщо використовується зовнішній обхідний контактор, необхідно також підключити зовнішній блок вимірювання струмів.

Режими зміни вихідної напруги.

Найбільш популярним режимом керування вихідною напругою в пристроях плавного пуску є «Voltage ramp», тобто лінійне наростання напруги за заданий час.

Графік зміни напруги при цьому має вигляд, представлений на рисунку 4.14.

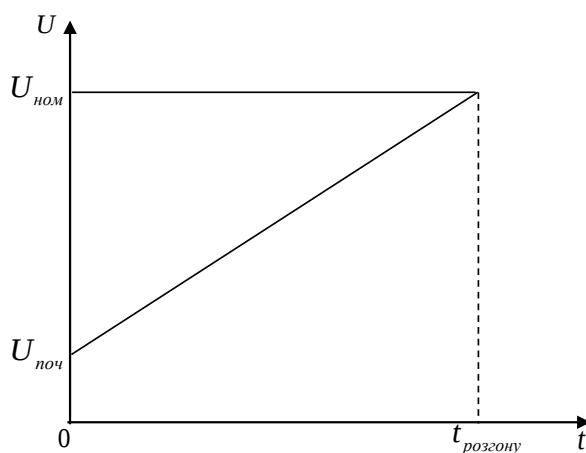


Рис. 4.14. Діаграма вихідної напруги пристрою плавного пуску при лінійному наростанні напруги

При такому режимі роботи мають бути налаштовані параметри:

Суттєвим недоліком такого способу пуску є неможливість плавного запуску механізму із великим початковим моментом. Для часткової компенсації цього недоліку використовується функція подачі ударної напруги «Kick start», що формує короткочасний імпульс напруги під час пуску двигуна. Це дозволяє зсунути механізм з місця і потім забезпечити плавний розгін.

Графік зміни напруги на виході пристрою плавного пуску із реалізацією функції «Kick start», представлений на рисунку 4.15.

Для роботи цієї функції повинні бути налаштовані наступні параметри:

- час розгону $t_{розгону}$, що визначає час зміни напруги;
- початкове значення напруги $U_{поч}$,
- амплітуда ударної напруги $U_{удар}$;
- час подачі ударної напруги $t_{удар}$.

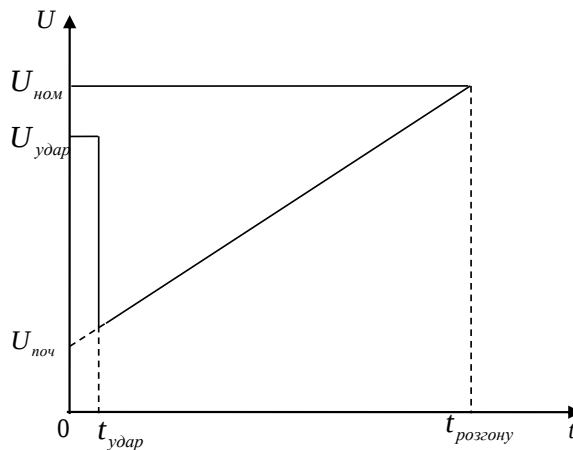


Рис. 4.15. Зміна вихідної напруги пристрою плавного пуску з функцією «Kick start»

Окрім зміни вихідної напруги за певною програмою, досить часто використовуються замкнені системи керування електричними та механічними параметрами двигуна під час пуску.

В якості регульованого електричного параметру зазвичай використовується значення струму статора.

При цьому можливі наступні алгоритми зміни струму статора під час пуску двигуна:

- обмеження струму на заданому рівні;
- обмеження струму з формуванням початкового ударного струму;
- лінійне зміна струму статора;
- лінійна зміна струму статора з формуванням початкового ударного струму.

При активації цієї функції пристрій плавного пуску виконує роль трифазного тиристорного регулятора напруги зі зворотним зв'язком за струмом статора. При цьому із збільшенням вихідної напруги виміряне значення струму порівнюється із заданим значенням I_{max} . Якщо воно стає рівним або більшим за встановлений струм, напруга фіксується доти, поки струм статора не впаде нижче певного рівня, після чого збільшення напруги продовжується.

Функціональна схема пристрою плавного пуску, що працює в режимі керування напругою, в залежності від струму статора, представлена на рисунку 4.16.

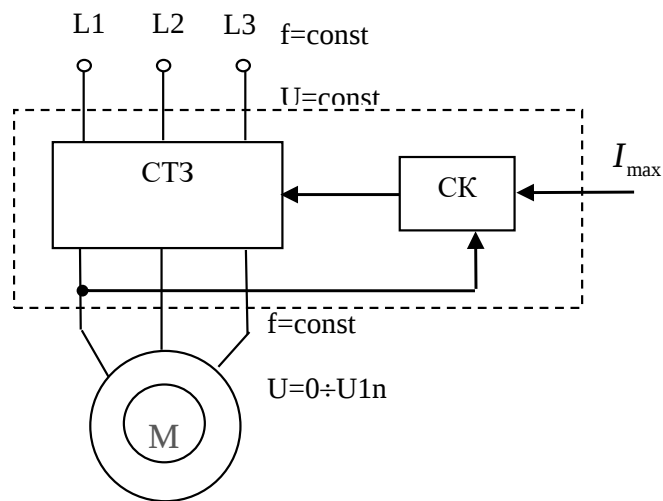


Рис. 4.16. Функціональна схема пристрою плавного пуску при обмеженому струмі статора

На рисунку 4.16 представлені наступні позначення: СТЗ – силові тиристорні збірки; СК – система керування тиристорами; $I_{\max}$ - максимально допустимий струм статора.

Розглянемо докладніше режим стабілізації струму статора. Пусковий струм стабілізується на заданому рівні при розгоні майже до номінальної частоти обертання двигуна. Близьче до кінця розгону струм статора падає близько до номінального значення, при цьому вихідна напруга пристрою плавного пуску стає максимальним.

Для контролю запуску в пристрої плавного пуску реалізовано програмний таймер. Якщо струм статора не повертається до номінального значення за заданий проміжок часу, система керування визначає, що пуск не відбувся і відключає тиристори.

Такий підхід ефективний в першу чергу для захисту двигуна від заклинювання виконавчого механізму, так як навіть при гальмуванні ротора струм статора не буде перевищувати гранично допустиме значення.

Режим стабілізації струму ефективний для механізмів з високим моментом інерції і механізмів, в яких пусковий момент не змінюється.

Коли пристрій плавного пуску працює в режимі лінійного збільшення струму, система керування працює аналогічним чином. Відмінність полягає в тому, що встановлене значення струму поступово збільшується від початкового значення струму до граничного значення в кінці початкового періоду.

Для коректної роботи в цьому режимі повинні бути налаштовані такі параметри:

- початкове значення струму;
- максимальне значення струму $I_{\max}$;
- час наростання струму;
- час пуску, протягом якого напруга має досягти номінального значення.

Механічні та електромеханічні характеристики системи плавного пуску-асинхронного двигуна при обмеженні струму показані на рисунку 4.17.

Режим лінійної зміни струму використовується:

- в установках, де потрібен низький пусковий момент, наприклад, у насосних установках;
- в механізмах із змінним пусковим моментом, таких як горизонтальні конвеєри;

- при пуску електродвигунів від дизель-генераторів систем аварійного електропостачання.

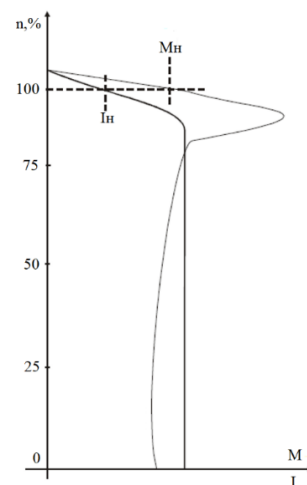


Рис. 4.17. Механічні та електромеханічні характеристики системи «плавний пуск - асинхронний двигун» в режимі обмеження струму

В якості регульованого механічного параметру найчастіше використовується обчислене значення крутного моменту двигуна.

Функція стабілізації крутного моменту доступна лише в декількох варіантах пристроїв плавного пуску, так як вимагає досить потужної мікропроцесорної системи керування, що дозволяє перерахувати параметри електродвигуна в режимі реального часу і «оцінювати» значення крутного моменту за його математичною моделлю.

Режим регулювання крутного моменту активується тільки після того, як в пам'ять пристрою плавного пуску були введені номінальні параметри двигуна. В той же час немає необхідності визначати опір і індуктивність статора, відповідно регулювання крутного моменту в пристроях плавного пуску більш чутливим до відхилень параметрів двигуна, ніж в існуючих векторно-керованих перетворювача частоти.

Слід відзначити, що в режимі регулювання крутного моменту забезпечується достатньо висока точність управління прискоренням двигуна при пуску. У пристроях плавного пуску існуючі алгоритми зміни крутного моменту співпадають з алгоритмами зміни струму статора.

Механічні та електромеханічні характеристики системи плавного пуску-асинхронного двигуна при стабілізації крутного моменту показані на рисунку 4.18.

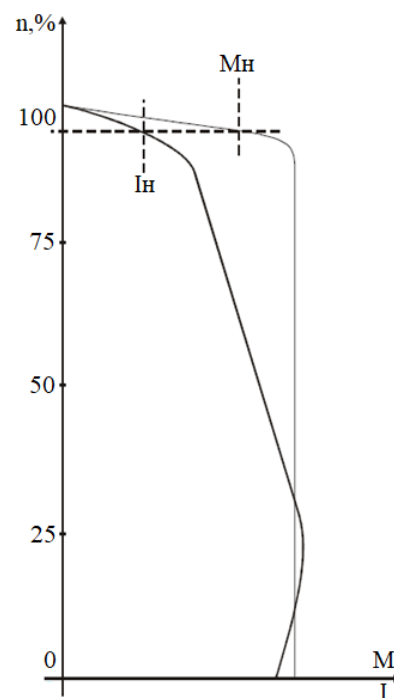


Рис. 4.18. Механічні та електромеханічні характеристики системи «плавний пуск - асинхронний двигун» зі стабілізацією крутного моменту

Способи гальмування асинхронних двигунів, реалізовані в пристроях плавного пуску

1. Вільний вибіг.

При такому способі гальмування обвідний контактор відключає обмотки двигуна від живильної мережі і кінетична енергія, накопичена в обертових частинах двигуна і механізму, витрачається на тертя в підшипниках.

Переваги:

- є найдешевшим способом гальмування.

Недоліки:

- час гальмування неконтрольоване і може досягати десятків хвилин для інерційних навантажень;

- дуже неефективний, так як енергія двигуна витрачається на тепло в підшипниках.

2. Гальмування реверсом.

При гальмуванні реверсом двигун гальмується змінною напругою зворотної полярності до 20 відсотків номінальної швидкості, після чого застосовується інші види механічного чи електричного гальмування.

Переваги:

- є ефективним способом швидкої зупинки механізмів з високим моментом інерції;

- дозволяє регулювати гальмівний момент;

- може використовуватися для з'єднання обмоток двигуна в трикутнику з внутрішнім ключовим перемиканням.

Недоліки:

- для реалізації гальмування реверсом є обов'язковим використання двох додаткових силових контакторів.

Механічні характеристики при гальмуванні реверсом представлені на рисунку 4.19.

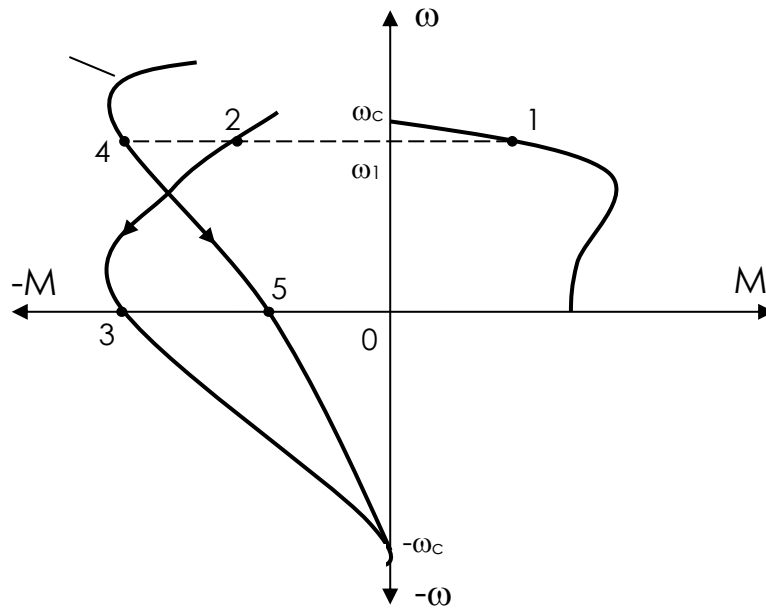


Рис. 4.19. Гальмування реверсом

За умови роботи двигуна в робочій точці 1 при отриманні сигналу гальмування реверсом, в залежності від виставленого значення моменту гальмування, двигун переходить або на характеристику 2-3, або 4-5. В точці 3 або 5 відбувається відключення вихідної напруги для запобігання реверсу.

3. Гальмування випрямленим пульсуючим струмом.

При гальмуванні випрямленим пульсуючим струмом на обмотки двигуна подається постійний струм, але не безперервно, а в моменти, коли він створює гальмівний ефект.

Переваги:

- не потрібні додаткові контактори;
- найбільш ефективний спосіб гальмування двигуном з точки зору енергозбереження;
- дозволяє регулювати гальмівний момент;
- може використовуватися для з'єднання обмоток двигуна в трикутника з внутрішнім ключовим перемиканням.

Недоліки:

- неприпустимі для навантажень з високою інерцією.

4. Гальмування постійним струмом.

Це ефективний спосіб гальмування короткозамкнених асинхронних двигунів з високим моментом інерції. При подачі команди на зупинку пристрій плавного пуску замикає між собою дві вихідні фази пристрою плавного пуску і подає постійну напругу на обмотки до повної зупинки двигуна.

Гальмування постійним струмом, організоване в пристроях плавного пуску, не настільки ефективне в порівнянні з гальмуванням, реалізованим за допомогою класичних схем подачі постійного струму на обмотки статора.

При гальмуванні постійним струмом пристрої плавного пуску включають позитивний тиристор в одній фазі і зворотний тиристор в іншій фазі з невеликим кутом відкриття в кожному циклі. Це призводить до великих пульсацій постійного струму, що протікає через обмотки двигуна, і створює нерухоме магнітне поле в статорі, яке уповільнює двигун. Відзначимо, що короткі імпульси напруги живлення також створюють синхронну складову поля крутного моменту, яка може обмежити ефективність такого зближення при швидкості, близькій до синхронної. У таких випадках використовується контактор, який замикає дві вихідні клеми електродвигуна, що призводить до збільшення періоду протікання струму і зниження частотної складової напруги живлення.

Механічні характеристики гальмування асинхронного двигуна постійним струмом показані на рисунку 4.20.

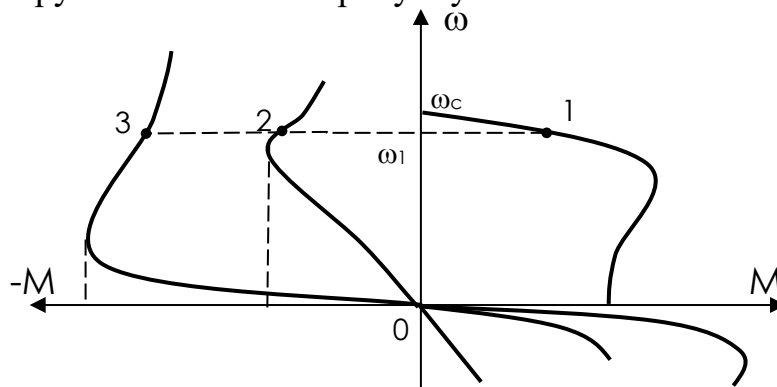


Рис. 4.20. Гальмування постійним струмом

При роботі в точці 1 при отриманні сигналу гальмування, в залежності від заданого моменту гальмування він переходить на характеристику 2-0 або 3-0. Після цього скидає швидкість при формуванні певного гальмівного моменту згідно механічної характеристики.

Переваги:

- досить ефективно для високоінерційних навантажень.

Недоліки:

- потрібен додатковий зовнішній контактор для замикання фаз на виході пристрою плавного пуску;
- неефективно при низьких швидкостях обертання;
- не можна використовувати для схеми з'єднання обмоток двигуна в трикутник з внутрішнім включенням ключів.

Сервісні функції пристроїв плавного пуску.

На додаток до основних функцій, таких як прискорення та вимкнення двигуна, захист від перегріву та перевантаження, пристрої плавного пуску мають багато додаткових функцій, які полегшують інженерам та операторам налаштування та експлуатацію. Такі функції називаються сервісними функціями і реалізуються в основному в пристроях плавного пуску, рекомендованих виробниками для реалізації всієї системи автоматизації.

Функція "JOG".

Використовується для перевірки працездатності системи «плавний пуск-асинхронний двигун» при відключенні навантаження. Коли ця функція активована, оператор може перевірити, чи обертається двигун у правильному напрямку та чи рівномірно обертається вал.

Перехід в режим JOG можливий як натисканням кнопок ручного управління на самому пристрої плавного пуску, так і зовнішніми дискретними сигналами з пульта оператора. При налаштуванні цього режиму вказується джерело сигналу активації функції, а також величина крутного моменту під час обертання двигуна. Слід пам'ятати, що в режимі JOG навіть

при формуванні крутного моменту на рівні 100% обхідні контакти не перемикаються, тобто через силові елементи плавного пуску постійно протікає струм. Це призводить до значного перегріву, особливо при підключенні мотора до виконавчого механізму. З цієї причини в пристроях плавного пуску часто активується захист тривалості двигуна в режимі JOG. Після закінчення часу, незалежно від стану дискретних входів і стану кнопок, тиристори блокуються, двигун зупиняється вільним вибігом, а на дисплеї плавного пуску виводиться повідомлення про несправність.

На практиці швидкість обертання руху в режимі JOG не перевищує $1/5$ номінальної частоти обертання електродвигуна.

Крутний момент в режимі JOG становить до 75% від номінального значення.

Важливою перевагою використання функції JOG є можливість реверсу двигуна на низьких обертах. Як правило, для реверсу електродвигуна використовуються два контактора, встановлені паралельно між живленням від мережі і входними силовими клемами пристрою плавного пуску. Також можуть застосовуватися спеціальні напівпровідникові прилади для реверсування електродвигуна, що міняють місцями будь-які дві фази напруги живлення.

При русі заднім ходом в режимі JOG не потрібні додаткові контактори або напівпровідникові прилади.

Функція реверсу асинхронного двигуна в режимі JOG може бути корисною в мішалках і екструдерах, коли мішалку заклинило і для її запуску необхідно трохи повернути вал двигуна в протилежну сторону.

На практиці швидкість зворотного обертання в режимі JOG не перевищує $1/7$ номінальної частоти обертання двигуна. Крутний момент при зворотному обертанні становить 50-75% від крутного моменту, що розвивається при обертанні вперед.

При використанні режиму JOG слід пам'ятати, що функція захисту в цьому режимі не спрацьовує, оскільки по ланцюгах живлення пристрою

плавного пуску протікає струм низької частоти, що призводить до насичення датчиків струму на основі ефекту Холла.

Запуск асинхронного двигуна з обмотками двигуна, з'єднаними з внутрішнім підключенням ключів.

Такий підхід використовується тільки в пристроях плавного пуску з трьома керованими фазами, наприклад серії SSW06 від компанії WEG (рисунок 4.21). Крім того, в клемній коробці двигуна має бути шість висновків, тобто обидві клема кожної з обмоток статора.

Одна клема обмотки підключається до вихідної клема живлення пристрою плавного пуску, а інша підключається безпосередньо до мережі живлення. Сумарний струм, споживаний двигуном під час роботи, визначається як:

$$I_{\text{номр}} = I_{\text{III}} + I_{\text{де}}, \quad (4.2)$$

де I_{III} - струм, що проходить через пристрій плавного пуску; $I_{\text{де}}$ - струм, споживаний двигуном безпосередньо від електромережі.

Автоматичний вимикач і запобіжники $F1, \dots, F3$ підбираються відповідно до номінального струму двигуна.

Струм, що протікає по силових ланцюгах пристрою плавного пуску під час роботи, складе:

$$I_{\text{III}} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{\text{спож}}. \quad (4.3)$$

Важливо пам'ятати, що при такому з'єднанні на обмотки двигуна має подаватися напруга, відповідне включенню обмоток двигуна в трикутник. У таблиці 4.2. наведено рекомендовані напруги живлення для різних номіналів напруги живлення двигуна.

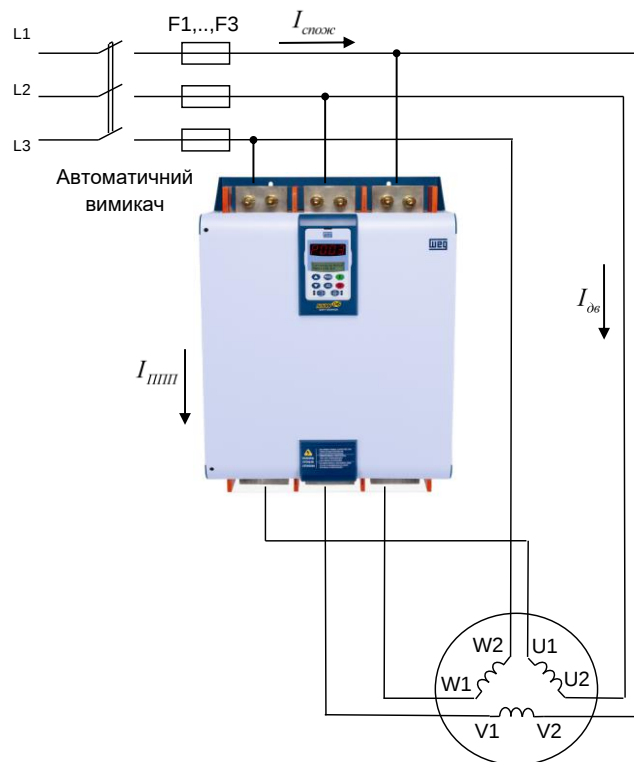


Рис. 4.21. Схема з'єднання силової частини пристрою плавного пуску SSW06 з внутрішнім підключенням вимикачів

Таблиця 4.2. Напруга при шестипроводному з'єднанні обмоток двигуна

Номинальна напруга двигуна	Напруга живлення
230 / 400В	230В
400 / 690В	400В
440 / 760В	440В
575В	575В
220 / 380 / 440 / 760В	220 / 440В

Також слід пам'ятати, що при запуску двигуна співвідношення $I_{\text{спож}}/I_{\text{ППП}} \approx 1,5$. Це пояснюється тим, що при шестипроводному з'єднанні тиристори ППП повинні пропускати через себе пусковий струм за більш короткий проміжок часу, що в свою чергу, призведе до збільшення втрат в тиристорах.

Використання такого з'єднання дозволяє запускати асинхронний двигун від пристрою плавного пуску меншої потужності. З іншого боку, якщо з'єднувальні кабелі між пристроєм плавного пуску і двигуном довгі, це може бути непрактично.

4.1.6. Засоби модернізації існуючих приводів постійного струму

Засоби модернізації існуючих приводів постійного струму використовуються для підвищення ефективності, надійності та контролю цих приводів. Такі засоби дозволяють вдосконалити функціональні можливості та характеристики приводів для оптимізації їх роботи в сучасних умовах.

Деякі засоби модернізації існуючих приводів постійного струму включають:

1. Встановлення нових і вдосконалення існуючих систем керування з заміною застарілих систем керування на сучасні, більш ефективні та точні, такі як ПЛК (програмовані логічні контролери) або ЧРП (частотно-регульовані приводи). Це дозволяє збільшити точність регулювання швидкості та обертового моменту приводу, а також забезпечити додаткові функції керування та моніторингу.

2. Впровадження сучасного електронного обладнання, що охоплює використання нових електронних компонентів, таких як сенсори, інтегровані схеми та інші елементи, що поліпшують функціональність приводу і забезпечують більш ефективну роботу.

3. Впровадження систем автоматизованого моніторингу та діагностики стану і параметрів роботи електроприводу в режимі реального часу, моніторинг витрат енергії, виявлення відхилень та потенційних проблем. Це допомагає забезпечити оперативне втручання та планування обслуговування для запобігання виникненню аварій та підвищення надійності приводу.

5. Впровадження систем регенерації енергії, що дозволяє ефективно використовувати та зберігати енергію, що вивільняється під час сповільнення або гальмування приводу. Регенеративні системи перетворюють зайву енергію на електричний струм, який може бути повторно використаний в системі.

Lenze пропонує готові технічні рішення для модернізації електромеханічних систем в існуючих промислових установках з приводами постійного струму. Таке рішення забезпечує економічно вигідний спосіб отримання сучасного електроприводу постійного струму з повним функціоналом мікропроцесорної системи керування та можливостями інтеграції в сучасні системи автоматизації. Крім секції управління силовими тиристорами напруги якоря, дані перетворювачі містять секцію із діодним мостом з для живлення обмотки збудження двигуна.

Фрагменти принципової схеми від виробника щодо підключення силових ланцюгів і ланцюгів управління представлені на рис. 4.22 та 4.23, відповідно.

правильну установку і підключення електрообладнання, що є складовою частиною системи.

Загальна схема підключення силових і слабкострумів провідників в системі електроприводу наведена на рис. 4.24.

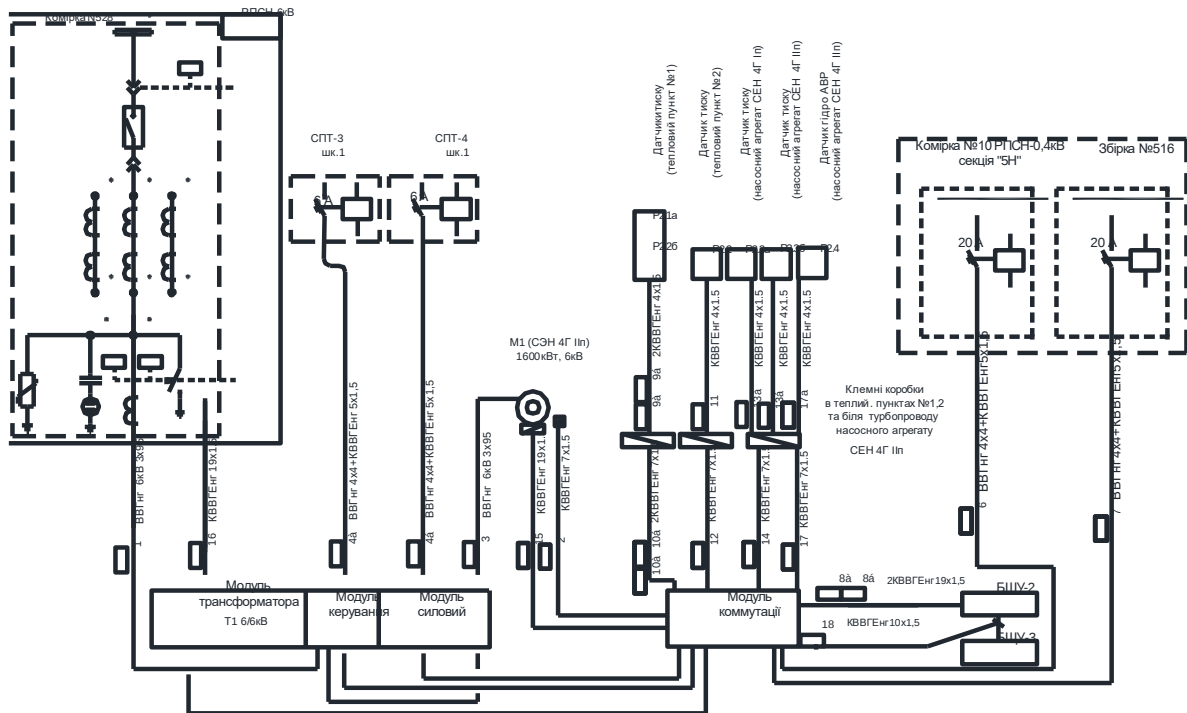


Рис. 4.24 Загальна схема підключення силових і слабкострумів провідників в системі електроприводу

4.1.8. Датчики в системах електроприводу

В електромеханічних системах існує два основних типи датчиків за функціональним призначенням:

- датчики технологічних параметрів;
- датчики координат електропривода.

Датчики технологічних параметрів використовуються для побудови замкнених систем керування процесами, оптимізації режимів роботи систем, контролю роботи установок в цілому, передачі інформації операторові. До таких датчиків найчастіше відносяться датчики температури, тиску, вологості.

До датчиків координат електропривода відносяться датчики положення й швидкості обертання валу двигуна, датчики струмів і напруги. Такі датчики використовуються для поліпшення якості регулювання координат, підвищення швидкодії, збільшення надійності електромеханічної системи в цілому.

Датчики струму і напруги зазвичай є компонентами напівпровідниковими перетворювачів електричних параметрів (напруги, частоти) і в процесі проєктування електромеханічних систем окремо не вибираються. В той же час датчики швидкості й положення є вузлами, що можуть вибиратися окремо, так і бути опціями при виборі серводвигунів. Тому, більше уваги приділимо вибору й особливостям саме цих типів датчиків.

Датчики швидкості.

В якості датчиків швидкості, які не можуть формувати одночасно й сигнал за положенням, є лише аналогові тахогенератори.

Тахогенератор – це електрична машина малої потужності, за допомогою якої, зміна механічного переміщення (обертання валу) перетворюється у електричний сигнал за напругою.

За родом струму відрізняють тахогенератори змінного і постійного струму. Наразі в якості датчиків швидкості використовують лише тахогенератори постійного струму з постійними магнітами, хоча раніше також застосовували із обмоткою збудження. Тахогенератори змінного струму бувають асинхронними і синхронними.

Синхронні тахогенератори – трифазні (дуже рідко однофазні) електричні машини малої потужності з ротором, виконаним у вигляді постійного магніту з явно вираженими полюсами.

Асинхронний тахогенератор – це двофазна асинхронна машина з порожнистим ротором малої потужності, яка працює в режимі генератора.

Переваги тахогенераторів:

- аналоговий сигнал вихідної напруги, що є пропорційним швидкості обертання;
- відносно мала чутливість до завад імпульсного характеру.

Недоліки тахогенераторів:

- складність перетворення сигналу у цифрову форму для передачі в контролер напівпровідникового перетворювача;
- висока інерційність;
- невисока точність.

Внаслідок вищевказаних недоліків тахогенератори все ще використовуються дуже рідко в зварювальних установках, проте витісняються іншими типами датчиків швидкості й положення.

Датчики положення.

Наразі в промисловості широко застосовуються датчики положення як аналогового, так і цифрового типу.

До аналогових датчиків положення відносять резольвери (синусно – косинусі обертові трансформатори), сельсіни та індуктосіни.

Резольвер - це електрична машина змінного струму, яка перетворює механічне переміщення в електричний сигнал за напругою, в якому один із параметрів (амплітуда або кут зсуву) є пропорційним куту поворота ротора.

Резольвери є найбільш популярним типом датчика положення внаслідок своєї низької вартості і підвищеної надійності в при роботі в умовах підвищених завад. Відповідно до цього за замовчуванням він встановлюється на серводвигунах таких відомих виробників електротехнічної продукції як Lenze, B&R, Parker.

Зовнішній вигляд ротора і статора резольвера представлений на рисунку 4.25.



Ротор

Статор

Рис. 4.25. Складові резольвера

До цифрових датчиків положення відносять фотоімпульсні датчики швидкості (енкодери).

В залежності від схемотехнічних рішень цифрових датчиків, вихідні каскади енкодерів можуть формувати наступні сигнали:

- диференціальні сигнали TTL - логіки із напругою рівнем 5В DC, при роздільній здатності до 5000 імп /об;
- аналогові сигнали із рівнем напруги 5В синусоїдального характеру і роздільною здатністю до 4096 імп /об;
- сигнали HTL – логіки із рівнем напруги до 30В DC і роздільною здатністю до 5000 імп /об.

4.2. Розрахунок режимів роботи та вибір автоматизованих електроприводів

4.2.1. Розрахунок та вибір комплектних електроприводів і їх компонентів

Сучасне проєктування систем електроприводів і автоматизації виробничих механізмів і технологічних комплексів охоплює розгляд таких ключових факторів:

- забезпечення необхідних технічних характеристик системи з метою досягнення визначених вимог і передбачених функцій;
- відповідність міжнародним стандартам і положенням, що дозволяє забезпечити відповідність системи прийнятим нормам і міжнародним вимогам;

- економічність здійснених технічних рішень, що дозволяє досягти оптимального співвідношення між вартістю розробки системи і її потенційними ресурсозбереженням;

- надійність та універсальність, що забезпечує стабільну та надійну роботу системи навіть в умовах зовнішніх впливів, таких як зміна навантаження, коливання параметрів електричної мережі, зміна параметрів навколишнього середовища;

- стійкість до небажаних зовнішніх факторів, що дозволяє системі продовжувати працювати без збоїв навіть при наявності відхилень від ідеальних умов роботи;

- оптимізація з точки зору енергоефективності системи при умові збереження заданої продуктивності, довговічності її роботи та раціонального використання ресурсів у системі;

- простота обслуговування і проведення технічного обслуговування і ремонтних робіт, зменшення затрати на утримання системи в робочому стані, зниження простоїв обладнання в цілому.

При виборі і початковому розрахунку комплектного електроприводу на базі асинхронного двигуна змінного струму, ретельне опрацювання технічних рішень може уникнути проблем при пусконаладжувальних роботах та подальшій експлуатації, а також знизити витрати на впровадження системи.

Деякі основні питання, на які необхідно зосередити особливу увагу при виборі електропривода змінного струму з асинхронним двигуном, включають наступне:

- Вибір номінальної потужності перетворювача частоти відповідно до номінальної потужності двигуна, з урахуванням відповідності номінального струму двигуна та номінального вихідного струму перетворювача.

- Урахування необхідного робочого діапазону регулювання швидкості двигуна.

- Перевірка можливості роботи приводу в гальмівному режимі з віддачею енергії гальмування, використовуючи гальмівні резистори або модулі рекуперації енергії гальмування.

- Розрахунок довжини силового кабелю для підключення двигуна і за потреби використання спеціалізованого фільтра на виході перетворювача частоти, якщо допустима довжина кабелю перевищена.

- Забезпечення відповідності параметрів мережі живлення технічним характеристикам перетворювача для надійного функціонування електроприводу.

Ці фактори вирішуються шляхом ретельного аналізу і врахування технічних вимог, що уможливають вибір оптимальних параметрів комплектного електроприводу для заданої системи. Правильне врахування цих питань допомагає забезпечити ефективну та надійну роботу електроприводу змінного струму.

Криві, що визначають допустимі області роботи двигуна під навантаженням в системі ПЧ – АД, представлені на рисунку 4.26.

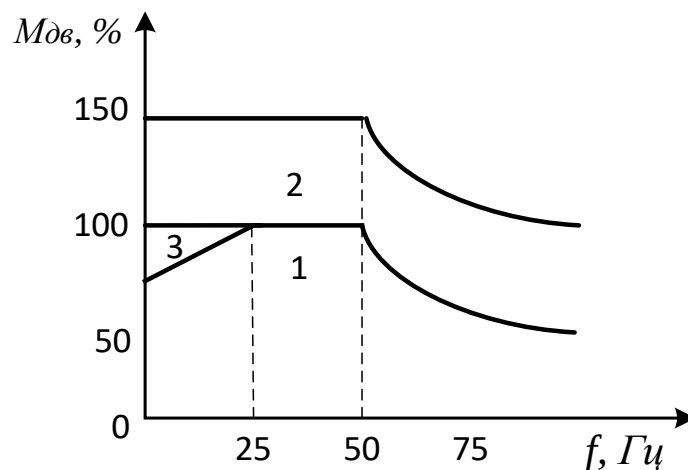


Рис. 4.26. Области роботи двигунів під навантаженням в системі ПЧ – АД

На рис. 4.26 виділені наступні області:

1 - область роботи з номінальним моментом при номінальній швидкості в тривалому режимі (охолодження двигуна здійснюється за допомогою власного вентилятора на його валу);

2 - область короткочасної роботи зі збільшеним моментом двигуна (перегрів двигуна через короткочасну роботу відсутній, охолодження може здійснюватися від власного вентилятора);

3 - область тривалої роботи на зниженій швидкості (вимагає використання зовнішнього незалежного вентилятора для примусового охолодження).

Вибір системи промислового частотного перетворювача (ПЧ) залежить від вимог до діапазону регулювання швидкості та характеристик навантаження приводного механізму.

Найпоширеніші механічні характеристики для різних типів навантажень представлені на рисунку 4.27.

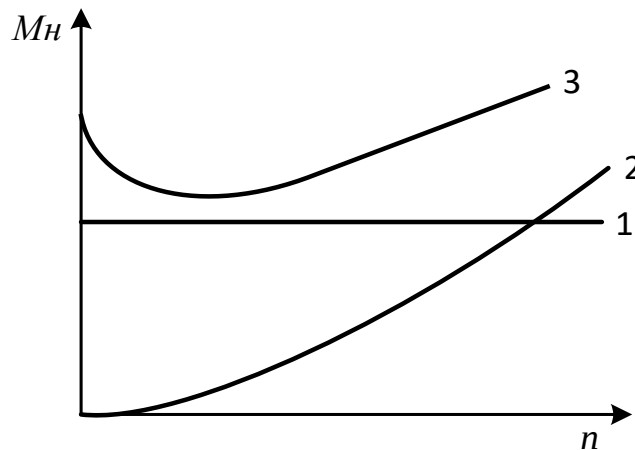


Рис. 4.27. Механічні характеристики для різних типів навантажень (1 – навантаження з постійним моментом, не залежних від швидкості (підйомні установки, конвеєри), 2 – навантаження зі змінним моментом, що залежать від швидкості (турбомеханізми), 3 – навантаження з нелінійною залежністю моменту від швидкості (спеціальні механізми))

4.2.2. Визначення гармонік струму і напруги в електромережі, що живить перетворювач частоти

В складі перетворювача частоти, випрямний міст виступає джерелом створення високочастотних гармонік струму і напруги. Щоб розрахувати рівень гармонік у конкретній електричній мережі, необхідно мати наступну інформацію:

- номінальні параметри трансформатора живлення системи;
- повний опір мережі, який впливає на рівень струму короткого замикання в мережі;
- повний опір і характеристики електричних приймачів.

Залежно від режиму роботи приводу, склад гармонік, які подаються до електричної мережі, може варіюватися. Зокрема, розглядаються рушійний режим роботи приводу з некерованим випрямлячем і режим рекуперації з використанням модуля випрямлення та повернення енергії в мережу (рис. 4.28). Для цих режимів розглядаються відповідні еквівалентні схеми.

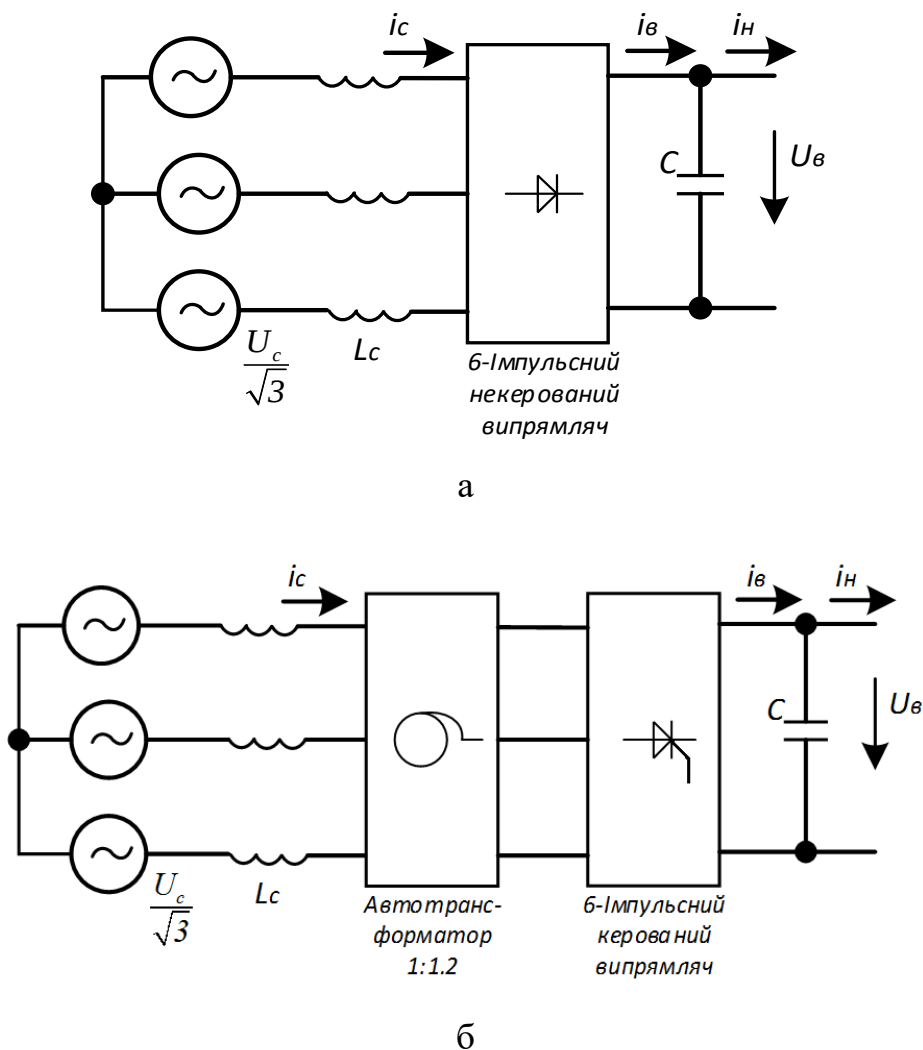


Рис. 4.28. Еквівалентна схема системи «мережа живлення – перетворювач частоти»: а — для рушійного режиму роботи з використанням некерованого випрямляча; б — для режиму рекуперації з використанням модуля випрямлення та повернення енергії в мережу

Приклад аналізу гармонійного складу представлено для перетворювача частоти потужністю 90 кВт (рис. 4.29-4.31).

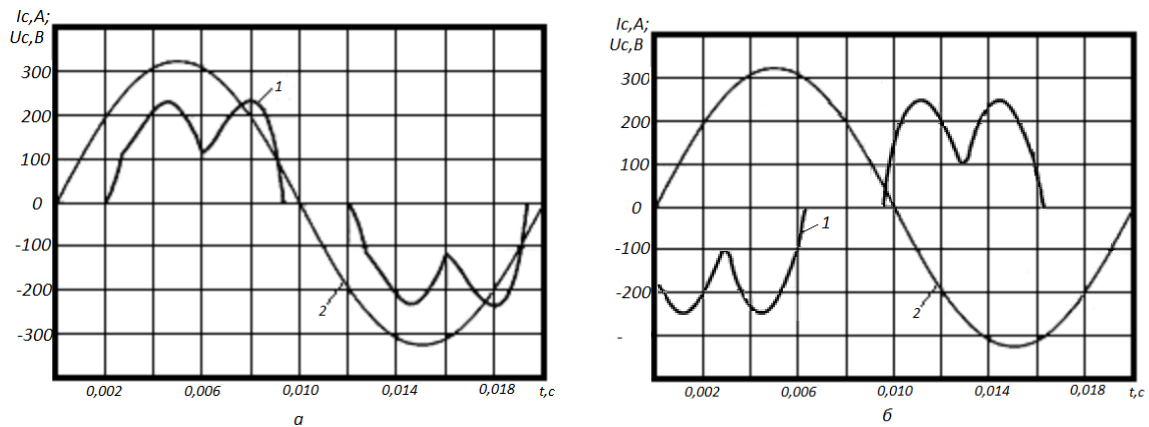


Рис. 4.29. Графіки зміни струму (1) і напруги (2) мережі живлення в рушійному режимі (а) і режимі рекуперації (б)

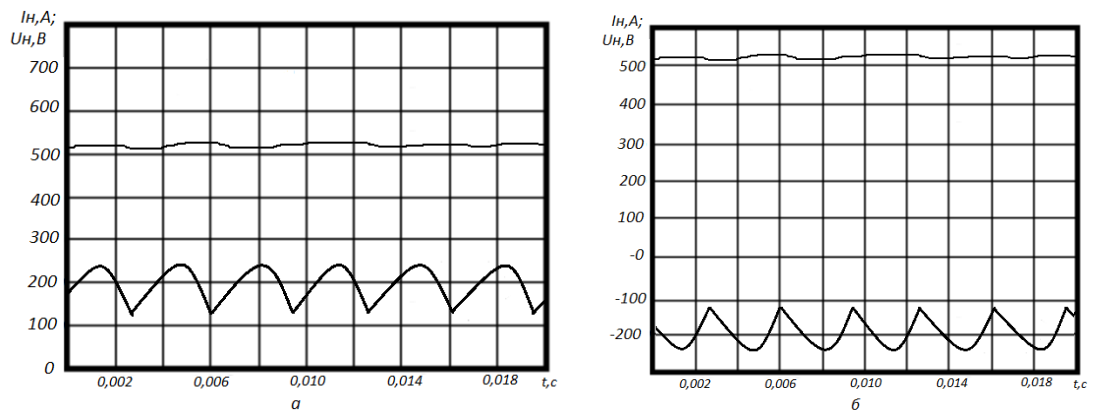


Рис. 4.30. Графіки зміни струму (1) і напруги (2) в ланці постійного струму в рушійному режимі (а) і режимі рекуперації (б)

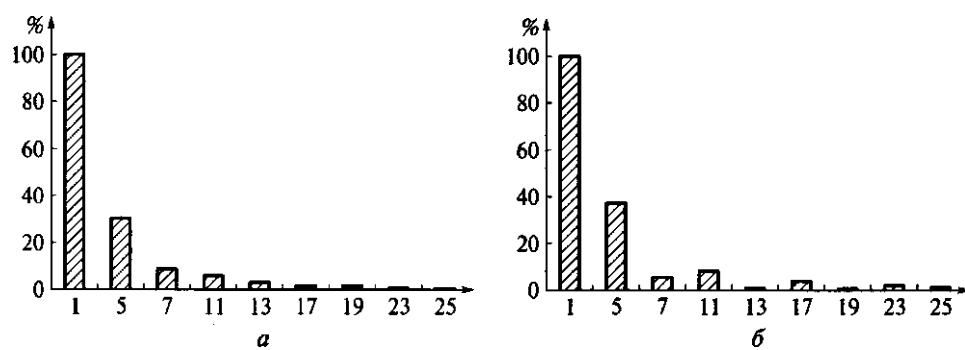


Рис. 4.31. Гармонійний склад струму мережі живлення у відсотках від основної гармоніки в рушійному режимі (а) і режимі рекуперації (б)

4.2.3. Електроприводи безперервної дії без рекуперації енергії гальмування в мережу

Зазвичай електроприводи безперервної дії працюють в рушійному режимі, й відповідно, в них відсутня необхідність повертати енергію з ланки постійного струму перетворювача в електричну мережу. Якщо має місце короткочасний перехід в генераторний режим або енергія гальмування не може бути економічно відновлена або її відновлення недоцільно з технічних або експлуатаційних причин, то використовуються модулі перетворення енергії гальмування в теплову.

У таких системах, енергія гальмування в більшості випадків витрачається або розсіюється у формі тепла за допомогою резисторів або інших спеціальних пристроїв. При цьому підключення резисторів здійснюється за допомогою силового транзистора в ланці постійного струму. Сам транзистор може бути встановлений в модулі силового інвертора для малих потужностей або у вигляді окремого модуля гальмування (чоппера) для великих. Поріг вмикання транзистора встановлюється в параметрах налаштування регулятора обертів або DIP – перемикачами чоппера.

Під час роботи механізму з великим моментом інерції важливо враховувати режими розгону і гальмування. Високодинамічні розгін або гальмування вимагають урахування зміни моменту, яка обумовлена інерційністю механізму. Це означає, що під час розгону потрібно забезпечити додатковий динамічний момент.

Згідно з основним рівнянням руху електроприводу, сумарний момент складається зі статичного і динамічного моментів. Режим розгону і гальмування механізму залежить від типу навантаження.

Для приводів насосів і вентиляторів, момент навантаження визначається квадратичною залежністю, і графіки зміни моментів двигуна та навантаження при розгоні можуть мати вигляд, як показано на рисунку 4.32.

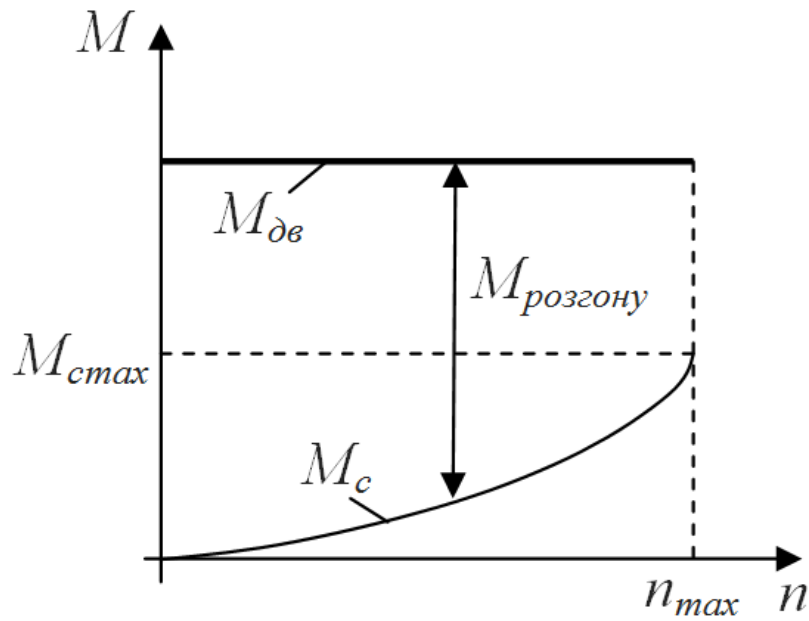


Рис. 4.32. Графіки зміни моментів двигуна і навантаження при розгоні для приводів насосів і вентиляторів

Якщо залежність моменту навантаження від частоти обертання не квадратична або момент двигуна не залишається постійним в період розгону, то графіки зміни моментів мають вигляд рис. 4.33.

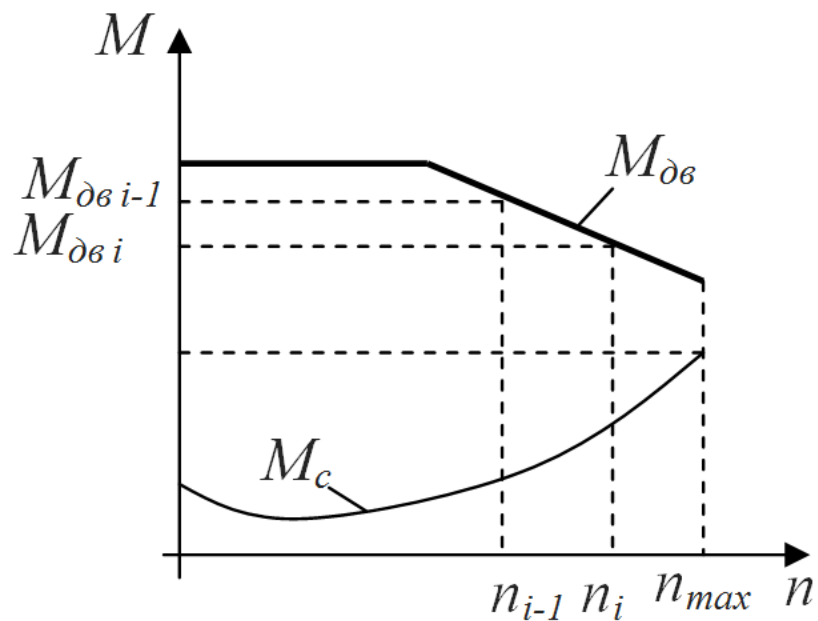


Рис. 4.33. Графіки зміни моменту навантаження від частоти обертання при не квадратичній залежності

Розрахунок і вибір гальмівних резисторів для систем без рекуперації енергії в електромережу.

На кожному інтервалі гальмування кінетична енергія мас, що рухаються, перетворюється в електричну і передається в конденсатор ланки постійного струму. Кількість перетвореної енергії дорівнює різниці кінетичних енергій до та після гальмування. Відповідно для зупинки або зниження швидкості приводів, якщо двигун переходить в генераторний режим, використовуються модулі гальмування із вбудованими або зовнішніми гальмівними резисторами.

При використанні вбудованого гальмівного резистора, які присутні у невеликій кількості модулів, необхідно здійснити його перевірку на допустимість роботи. Для цього розглянемо приклад роботи із тахограмою швидкості роботи двигуна, представленою на рис. 4.34.

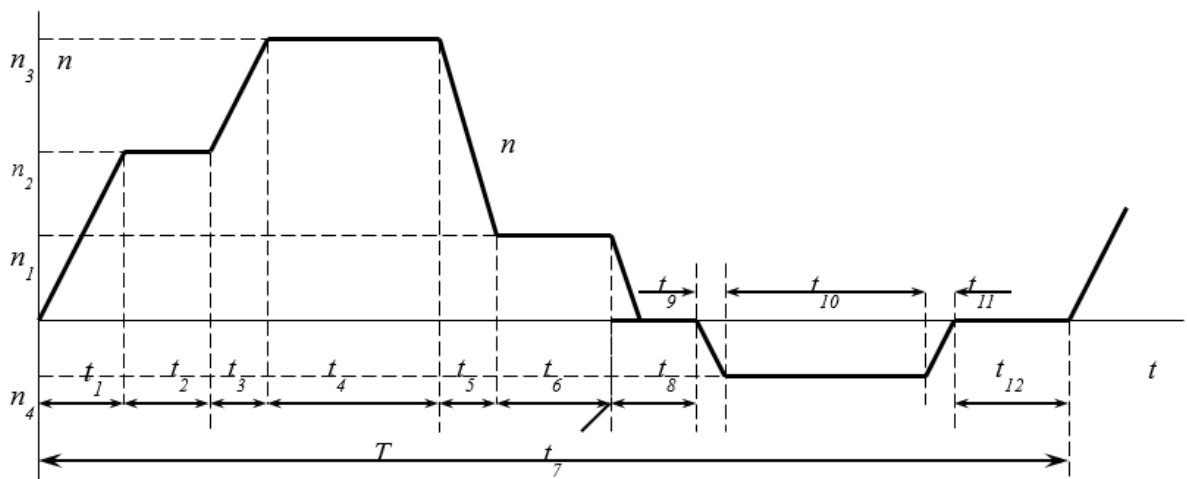


Рис. 4.34. Тахограма руху механізму із розгоном та гальмуванням

Перевірка вбудованого резистора здійснюється за умовами допустимості перевантаження та перегріву.

Енергія, що виділяється при гальмування електродвигуна на кожній з ділянок тахограми визначається за формулою:

$$E_i = E_{почі} - E_{кіні} = J \frac{\omega_{почі}^2 - \omega_{кіні}^2}{2} = J \frac{\pi^2}{1800} (n_{почі}^2 - n_{кіні}^2). \quad (4.4)$$

Для представленої тахограми гальмування відбувається на інтервалах t_5 , t_7 , і t_{11} . Відповідно для кожної з ділянок кількість енергії, що віддається в ланку постійного струму визначається:

$$E_5 = J \frac{\pi^2}{1800} (n_{\text{поч}5}^2 - n_{\text{кін}5}^2) = J \frac{\pi^2}{1800} (n_3^2 - n_1^2); \quad (4.5)$$

$$E_7 = J \frac{\pi^2}{1800} (n_{\text{поч}7}^2 - n_{\text{кін}7}^2) = J \frac{\pi^2}{1800} n_1^2; \quad (4.6)$$

$$E_{11} = J \frac{\pi^2}{1800} (n_{\text{поч}11}^2 - n_{\text{кін}11}^2) = J \frac{\pi^2}{1800} n_4^2. \quad (4.7)$$

Якщо кількість переданої енергії перевищує допустиму для конденсатора межу E_{VAR} , спрацьовує гальмівний ключ і надлишок енергії передається в гальмівний резистор. Кількість енергії, виділеної в процесі кожного гальмування в гальмівному резисторі, не повинна перевищувати допустиму для вбудованого резистора величину (перевірка за перевантаженням):

$$E_{Ri} = E_i - E_{\text{var}} \leq E_{\text{CR}}. \quad (4.8)$$

Середня потужність втрат у вибраному резисторі не може бути більшою за допустиму тривалу потужність резистора (перевірка за перегрівом):

$$P_R = \frac{\sum_{i=1}^n E_{Ri}}{T} \leq P_{PR}. \quad (4.9.)$$

Якщо хоча б одна з умов не виконується, необхідно застосування зовнішнього гальмівного резистора.

Слід відзначити, що зовнішні гальмівні резистори пропонуються виробниками перетворювальної техніки в якості додаткової комплектації до перетворювачів частоти і обираються виходячи з конкретних параметрів режиму гальмування за каталожними даними.

Основними параметрами, що служать для вибору гальмівних резисторів є:

- потужність розсіювання енергії для тривалого режиму роботи;

- номінальний опір гальмівного резистора;
- тривалість вмикання у відсотках від загального часу робочого циклу;
- допустима пікова потужність гальмування протягом певного часу;
- температура навколишнього середовища та спосіб встановлення резистора (всередині чи ззовні шафи керування).

Наприклад, параметри гальмівних резисторів для приводів фірми Siemens вказуються з розрахунку циклічності гальмування 90 с.

Графік зміни потужності протягом робочого циклу при циклічному гальмуванні представлений на рис. 4.35.

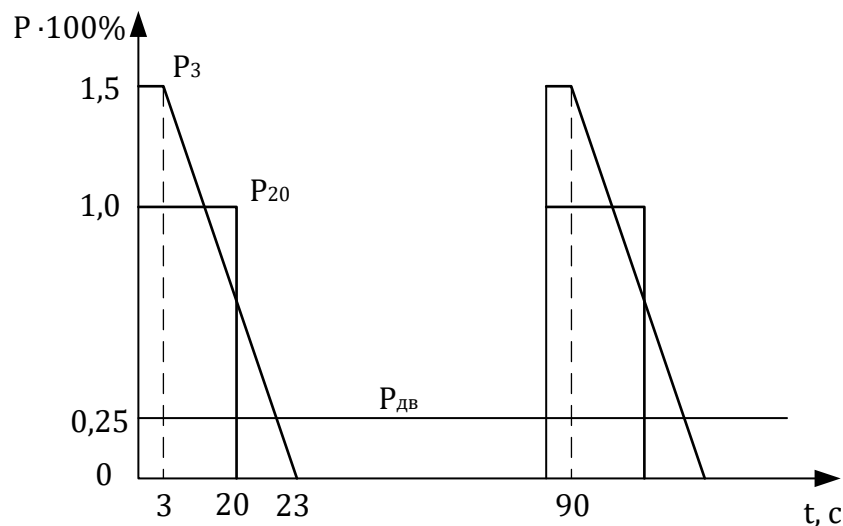


Рис. 4.35. Параметри гальмівних резисторів для приводів фірми Siemens вказуються з розрахунку циклічності гальмування 90 с

На рис. 4.35 позначено:

P_{20} – допустима (номінальна) потужність гальмування протягом 20 секунд з циклічністю 90 секунд;

P_3 – максимальна (пікова) потужність гальмування протягом 3 секунд з подальшим її лінійним зниженням протягом 20 секунд;

$P_{дв}$ – максимально допустима тривала потужність гальмування.

При цьому $P_{20} = 4 P_{дв}$; $P_3 = 6 P_{дв}$.

При виборі гальмівного резистора необхідно враховувати циклічність і параметри режиму гальмування електроприводу. Порядок дій при виборі гальмівного резистора наступний:

1. Побудувати діаграму зміни потужності гальмування протягом робочого циклу приводу $P_T = f(t)$.
2. Розрахувати середнє значення потужності гальмування протягом робочого циклу $P_{T, \text{ср}}$.
3. Вибрати гальмівне опір з умови $P_{20} > 4 P_{T, \text{ср}}$.
4. Визначити максимальну (пікову) потужність гальмування $P_{T, \text{max}}$ і перевірити виконання умови $P_{T, \text{max}} < 1,5 P_{20}$. Якщо умова не виконується, необхідно вибрати гальмівний резистор більшої потужності.

Якщо реальний час циклу не дорівнює 90с, процедура вибору гальмівного резистора зводиться до побудови діаграми зміни потужності гальмування протягом робочого циклу і вибору на ній відрізка часу 90с, де значення опору резистора максимальне. Подальші дії відповідно до пунктів 3 і 4 описаної методики.

4.2.4. Електроприводи циклічної дії з рекуперацією енергії гальмування в мережу

При зниженні швидкості або швидкій зупинці електроприводу двигун може переходити в генераторний режим і віддавати енергію в ланку постійного струму. Якщо кількість гальмівної енергії є суттєвою або встановлення гальмівних резисторів несе безпосередню загрозу обладнанню або персоналу, рекомендується встановлювати блоки рекуперації гальмівної енергії в мережу. Так, наприклад, для деревообробної промисловості встановлення резисторів і попадання на них стружки, може призвести до пожежі і не може використовуватись згідно вимог безпеки. З точки зору економічної обґрунтованості використання модулів рекуперації енергії в мережу є доцільним для електроприводів, що працюють з певною циклічністю, і мають загальну потужність понад 150...200 кВт.

На практиці використовуються два варіанти частотно-регульованих приводів (ЧРП).

Перший варіант використовує один міст на напівпровідникових ключах, який функціонує в режимі активного випрямляча, як вказано на рисунку 4.36. При цьому реалізується спеціальний алгоритм управління транзисторами для синхронізації при поверненні енергії від механізму в мережу.

Під час вибору активного випрямляча необхідно визначити різницю потужностей в рушійному та гальмівному режимах. Приклад розподілу потужностей під час роботи електроприводу представлений на рисунку 4.37.

1. Необхідно визначити момент часу t_1 , коли електропривод споживає максимальну потужність двигуна з мережі, і обчисліть потужності шляхом визначення різниці потужностей:

$$P_{\text{дв max}} = P_{\text{дв}}(t_1) - P_{\text{рекуп}}(t_1). \quad (4.10)$$

2. Необхідно визначити момент часу t_2 , коли електропривод віддає максимальну потужність в мережу, і обчисліть потужності шляхом визначення різниці потужностей:

$$P_{\text{рекуп max}} = P_{\text{рекуп}}(t_2) - P_{\text{дв}}(t_2). \quad (4.11)$$

3. Активний випрямляч вибирається за потужністю згідно виразу:

$$P_{\text{акт.випр.}} = \max(P_{\text{дв max}}, P_{\text{рекуп max}}). \quad (4.12)$$

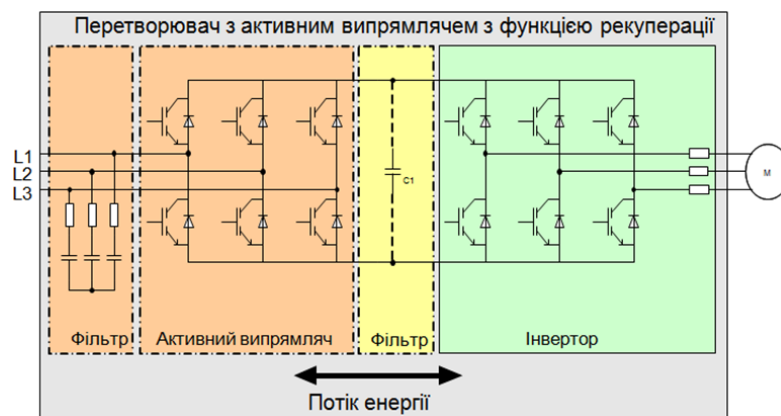


Рис. 4.36. Схема підключення перетворювача частоти з активним випрямлячем

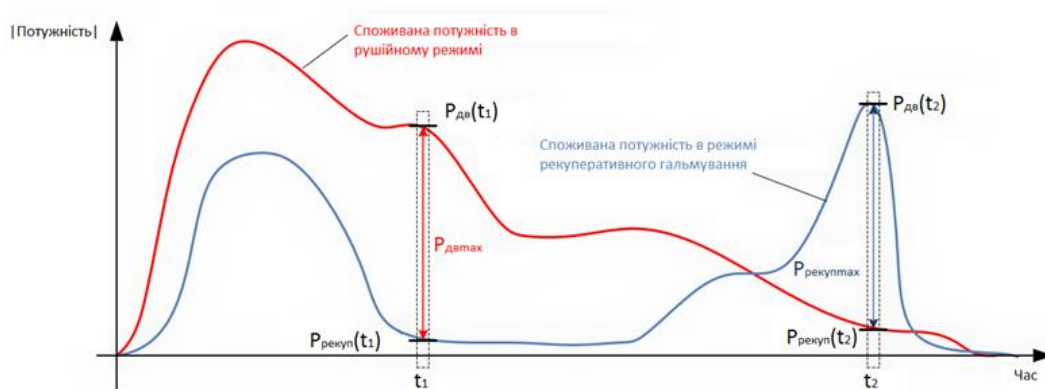


Рис. 4.37. Розподіл потужностей при роботі електропривода в рушійному та рекуперативному режимах

Другий варіант містить два мости, які працюють паралельно один з одним на ланку постійного струму перетворювача частоти. При цьому один з мостів будується на некерованих вентилях, а інший на керованих для повернення енергії в мережу, як це представлено на рис. 4.38.

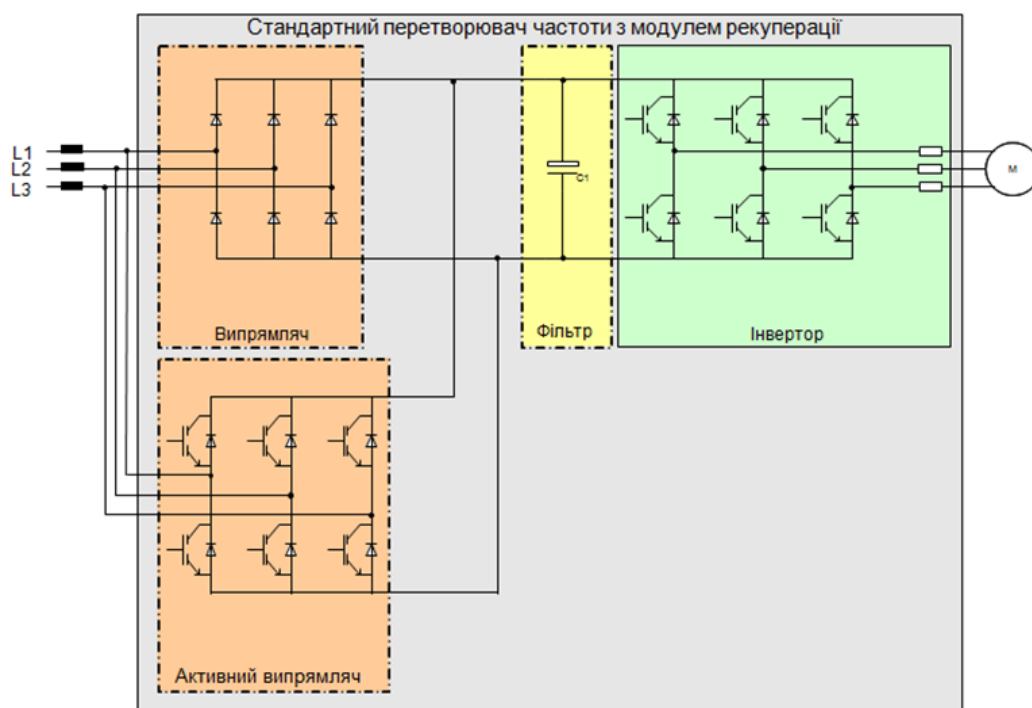


Рис. 4.38. Схема підключення перетворювача частоти з активним випрямлячем

Особливістю схеми на рис. 4.38 є те, що активний випрямляч вибирається на потужність гальмування, тобто:

$$P_{\text{акт.випр.}} = P_{\text{рекуп max}} = P_{\text{рекуп}}(t_2) - P_{\text{дв}}(t_2). \quad (4.13)$$

При цьому, оскільки зазвичай потужність гальмування є меншою від потужності споживання в русійному режимі, це призводить до здешевлення системи електроприводу в цілому.

4.3. Програмні засоби електротехнічних систем

До програмних засобів електротехнічних систем відноситься програмне забезпечення для:

- проєктування електротехнічних комплексів;
- проєктування електромеханічних систем;
- конфігурування перетворювачів і пристроїв;
- налаштування перетворювачів і пристроїв;
- системи збору та передачі інформації.

1. Проєктування електротехнічних комплексів потребує здійснення оформлення технічної документації згідно сучасних вимог стандартів ДСТУ та МЕК. При використанні інструментальних засобів проєктування, розповсюджених у світі для електротехнічних та систем автоматизації за замовчуванням обладнання буде представлено в форматі МЕК.

2. Системи проєктування електромеханічних систем зазвичай розроблені безпосередньо виробниками обладнання. Такий підхід направлений на спрощення процедури вибору окремих вузлів як частин складних електромеханічної системи. Крім того, виробник спрямовує інжинірингову компанії на розробку систем саме на базі його обладнання, зменшує вірогідність вибору несумісних компонентів. Особливістю таких систем є те, що вони потребують глибоких знань в області керування електроприводами, принципів роботи електричних машин і є фактично системами автоматизованого інжинірингу (CAE: Computer-aided engineering).

Системи автоматизованого інжинірингу електромеханічних систем можуть бути побудовані:

- на основі WEB-додатків для та мобільних пристроїв;
- на основі стаціонарного програмного забезпечення для ПК.

Приклад скріну з WEB – додатку системи проєктування електромеханічної системи від німецької компанії Lenze представлений на рис. 4.39. Особливістю такої системи проєктування є мінімум функціоналу, неповне представлення інформації щодо вузлів, але дозволяє здійснити оперативний вибір пристрою по основних параметрах.

Приклад виводу основних параметрів для вибору компонентів електроприводу для конвеєру представлений на рис. 4.40.

Така система автоматизованого проєктування дозволяє здійснити загальний вибір за параметрами механізму, проте не дозволяє вказати складний рух переміщення обладнання, зміну моменту інерції при обертанні або зміну інших параметрів руху. Відповідно, можливий розрахунок елементів електромеханічної системи лише для простих приводних задач, таких як горизонтальне переміщення вантажів, просте вертикальне переміщення вантажу фіксованої маси, обертання механізму із фіксованою швидкістю та незмінним моментом інерції.

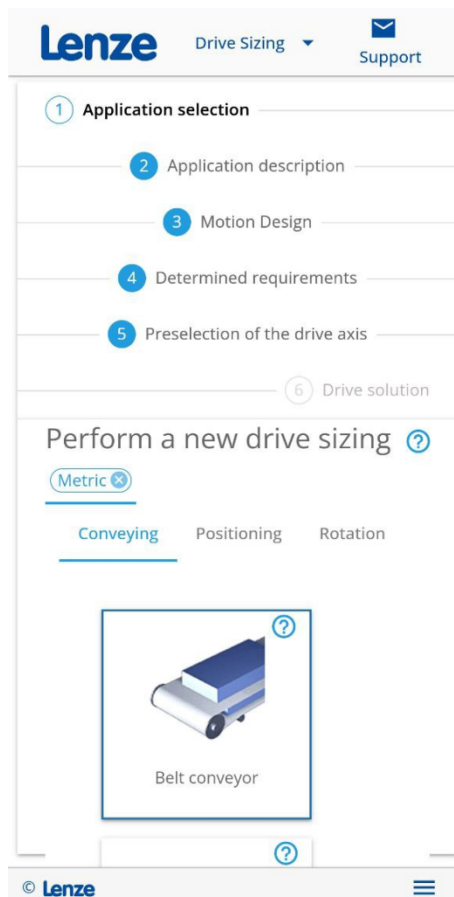


Рис. 4.39. Вікно проєктування електромеханічної системи з використанням WEB – додатку

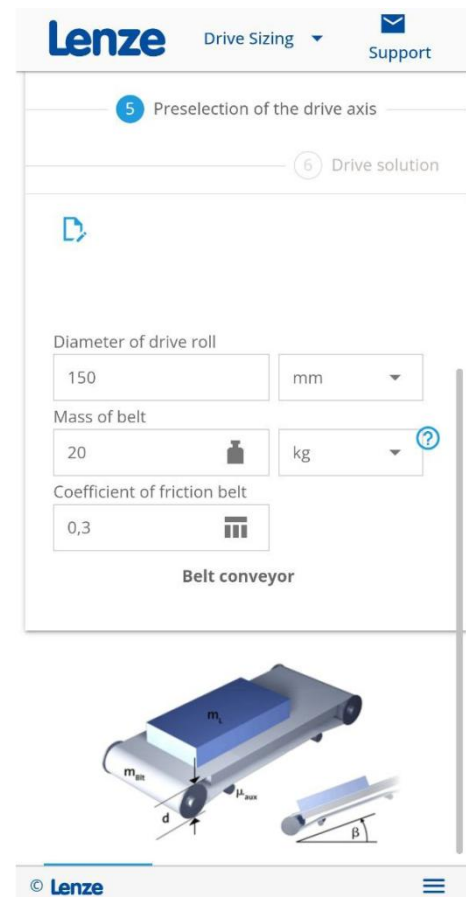


Рис. 4.40. Параметри механізму при виборі електромеханічної системи

Використання стаціонарного програмного забезпечення дозволяє обробляти великі об'єми даних для 3D-візуалізації механічних та електромеханічних складових електроприводу, калькуляції нелінійних залежностей параметрів двигуна та їх графічного представлення.

Приклад такої 3D-візуалізації представлений на рис. 4.41.

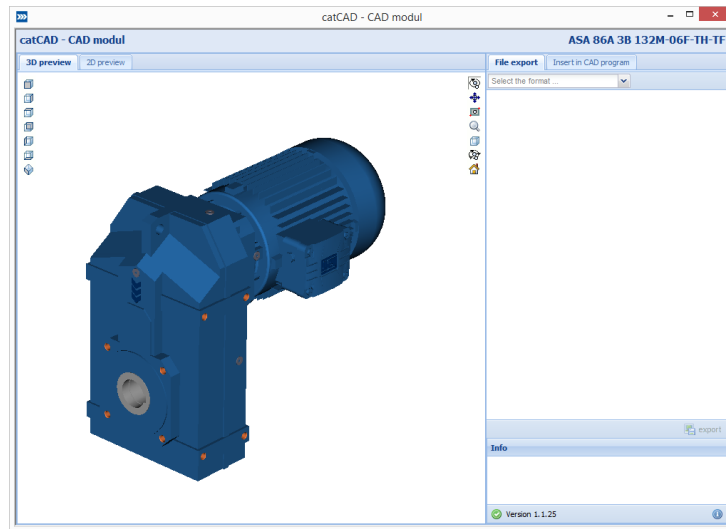


Рис. 4.41. 3D-візуалізація мотор – редуктора

Приклад графічного представлення статичних характеристик електромеханічної системи представлений на рис. 4.42.

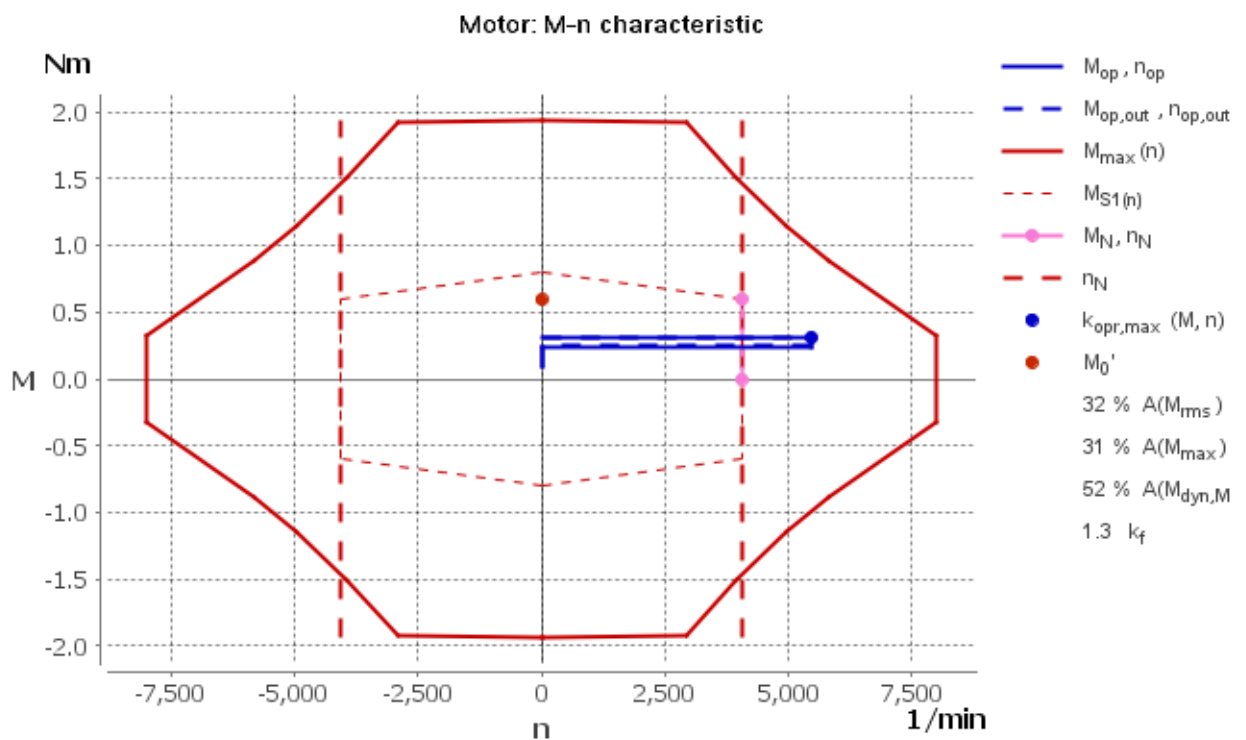


Рис. 4.42. Візуалізація механічних характеристик електропривода

4.3.1. Бібліотека програм стандартних функцій управління

Для систем електроприводу часто використовують типові конфігурації керування координатами двигуна. До керованих координат

двигуна відносяться момент, кутова швидкість і положення, причому одночасно керування всіма ними є неможливим. Так, зазвичай, вибирається одна керована координата, а інші обмежуються або контролюються.

До типових конфігурацій керування координатами електропривода відносяться:

- керування швидкістю за аналоговим сигналом;
- керування швидкістю із зворотним зв'язком від «танцюючого потенціометра»;
- керування моментом за аналоговим сигналом;
- керування положенням із обмеженням руху по кінцевим вимикачам;
- керування положенням за таблицею профілів;
- керування положенням із відпрацюванням послідовності переміщень;
- керування положенням в режимі формування та відпрацювання завдання;
- «електронний вал»;
- «електронний вал» із синхронізацією по мітці.

В **режимі керування швидкістю** відбувається безпосередня трансляція вихідної або заданої швидкості від задаючого пристрою до веденого. При цьому зазвичай веденим в даній конфігурації виступає сервопривод із датчиком зворотного зв'язку за швидкістю, що встановлений на валу двигуна. Коефіцієнт передачі редуктора та будь-які параметри лінійного переміщення при цьому не враховуються, навіть для схем, представленої на рис. 4.43.

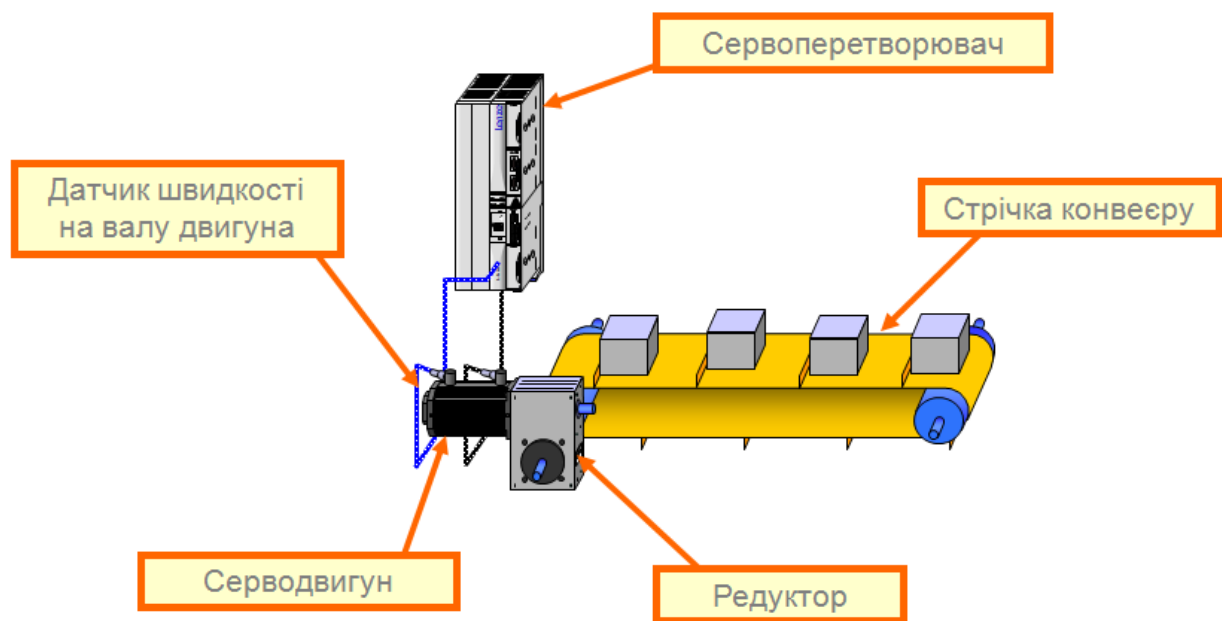


Рис. 4.43. Схема керування швидкістю з використанням сервоприводу

Типовим застосуванням для режиму керування швидкістю є лінія протягування проволочки, представлена на рис. 4.44. Сигнал надходить від зовнішньої системи автоматизації, що визначає продуктивність лінії і ретранслюється на декілька перетворювачів частоти по високошвидкісній шині передачі даних.

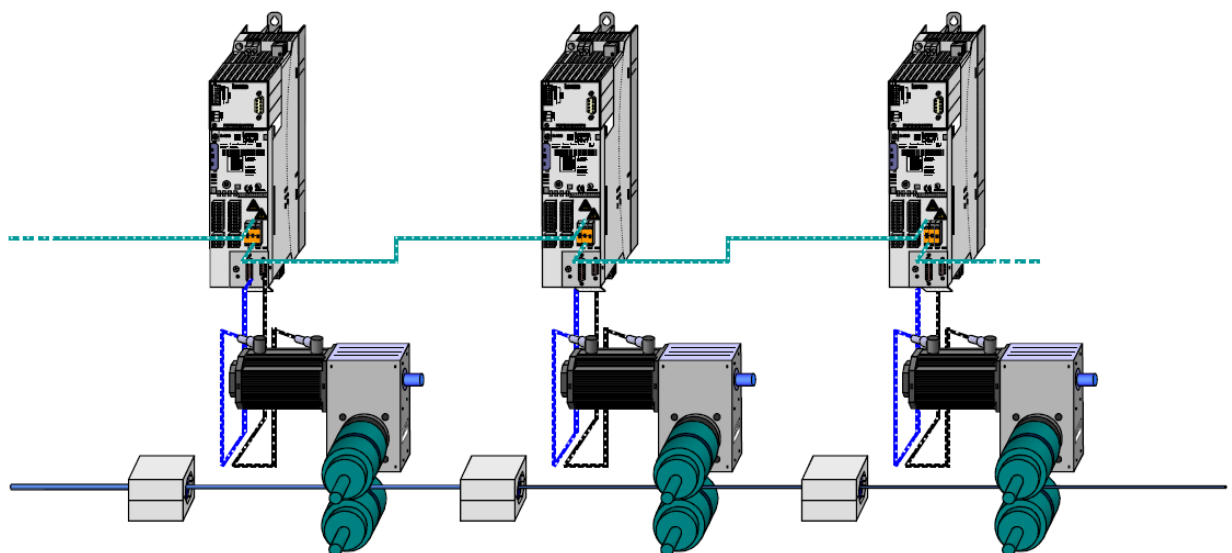


Рис. 4.44. Система протягування проволочки

Режим керування швидкістю від «танцюючого потенціометра» визначається роботою із швидкодіючим сигналом зворотного зв'язку за

технологічним параметром, що може надходити по аналоговому або цифровому каналу. При цьому суттєво ускладнюється механіка обладнання в цілому, оскільки потребує встановлення додаткового датчика. Приклад реалізації керування швидкістю від потенціометра представлений на рис. 4.45.

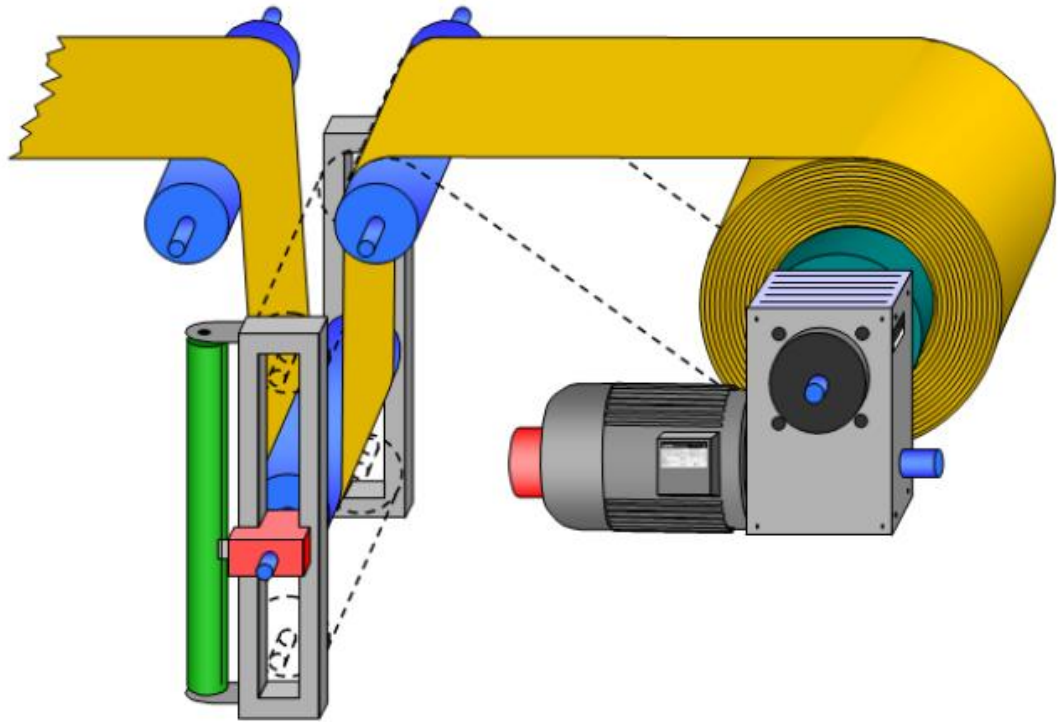


Рис. 4.45. Система керування натягом стрічки в режимі регулювання швидкості із корекцією від «танцюючого потенціометра»

В системі здійснюється контроль швидкості з корекцією сигналу швидкості від зовнішнього датчика рівня (регулятор швидкості визначає поведінку приводу в цілому). При аналізі можливості встановлення та їх побудови слід враховувати співвідношення інерції маси між двигуном і навантаженням.

Задане значення натягу стрічки встановлюється за допомогою попереднього положення «танцюючого потенціометра», при цьому привод не потребує врахування компенсації тертя та зміни інерційності обертальної маси.

Режим керування моментом використовується в системах стабілізації натягу в намотувальних та перемотувальних механізмів, коли встановлення «танцюючого потенціометра» неможливе або суттєво ускладнене. На рис. 4.46 представлена приводна схема керування перемотуванням стрічки із нанесенням перфорації.

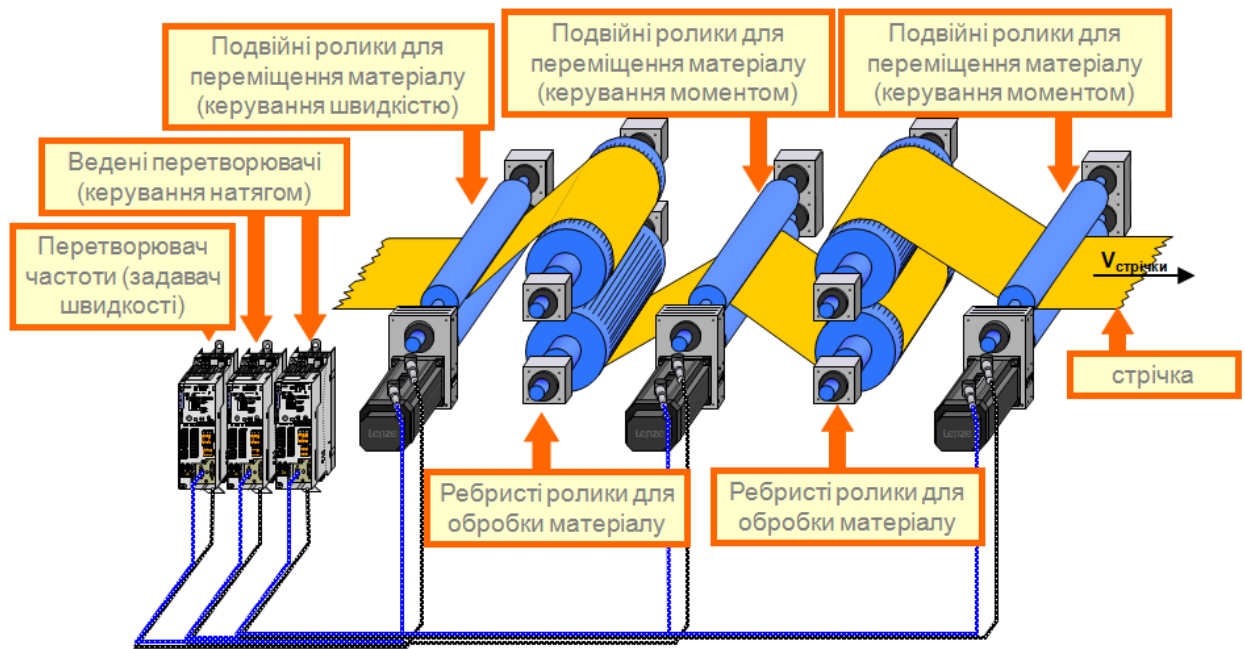


Рис. 4.46. Електроприводна система перемотування стрічки із нанесенням перфорації

Основним приводом («Мастером») формується завдання лінійної швидкості для всієї системи. Сигнал по швидкості передається в якості обмежуючого на ведені перетворювачі частоти («Слейви»). При цьому для ведених основним режимом роботи є забезпечення керування крутним моментом двигунів для забезпечення натягу стрічки. При цьому загальна схема керування швидкістю і моментом представлена на рис. 4.47.

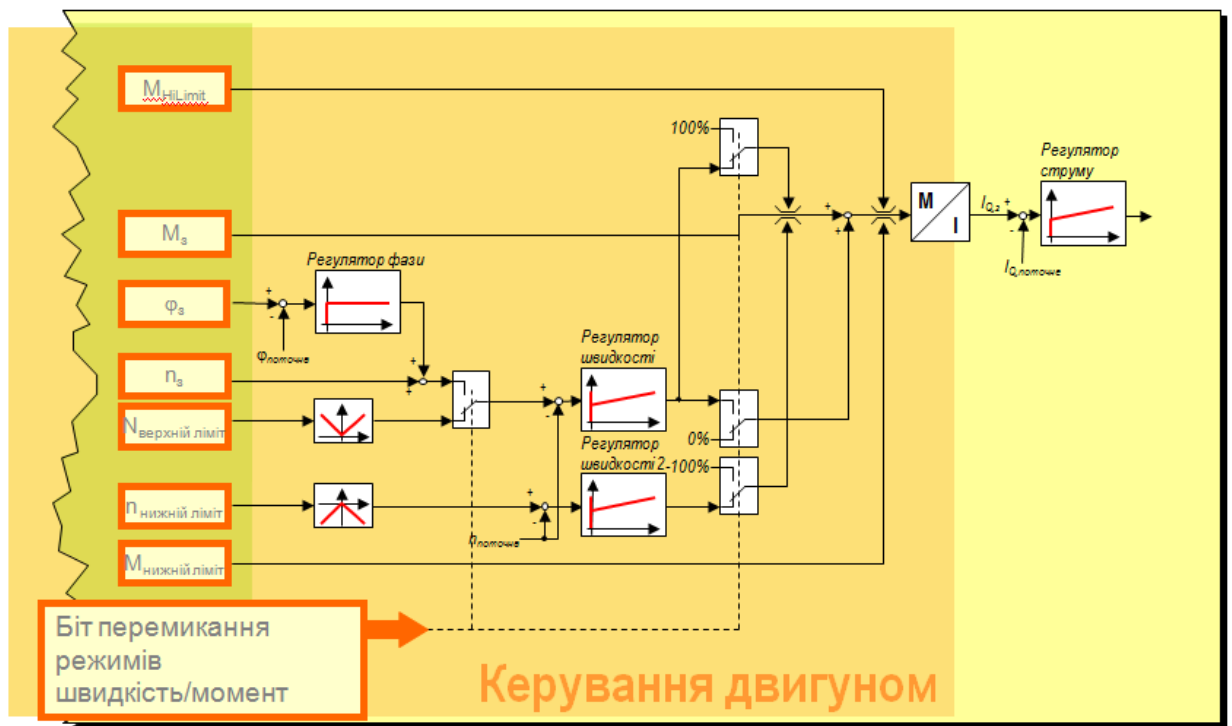


Рис. 4.47. Блок – схема керування швидкістю і моментом в перетворювачах частоти

Приклад функціоналу при керуванні положенням по кінцевих вимикачах представлено на рис. 4.48.

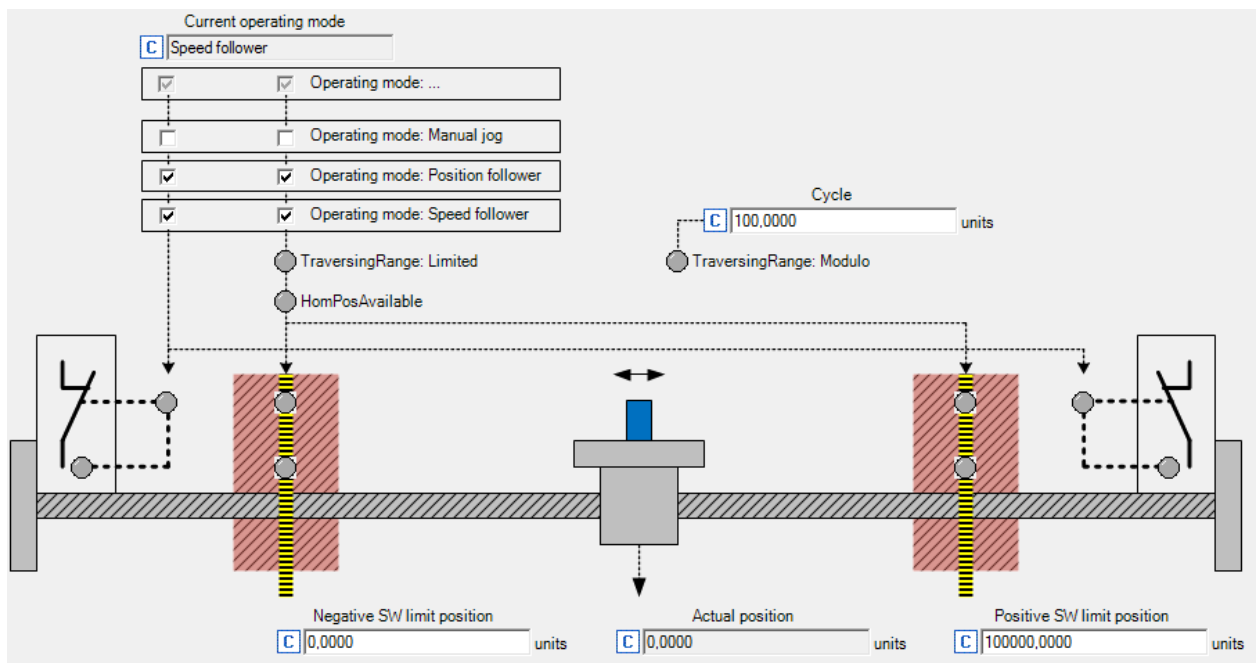


Рис. 4.48. Приклад вікна налаштувань позиціонування по кінцевих вимикачах

Керування положенням за таблицею профілів дозволяє суттєво спростити керування переміщенням від задавального пристрою. Особливості керування переміщеннями серводвигуна представлені на рис. 4.49.

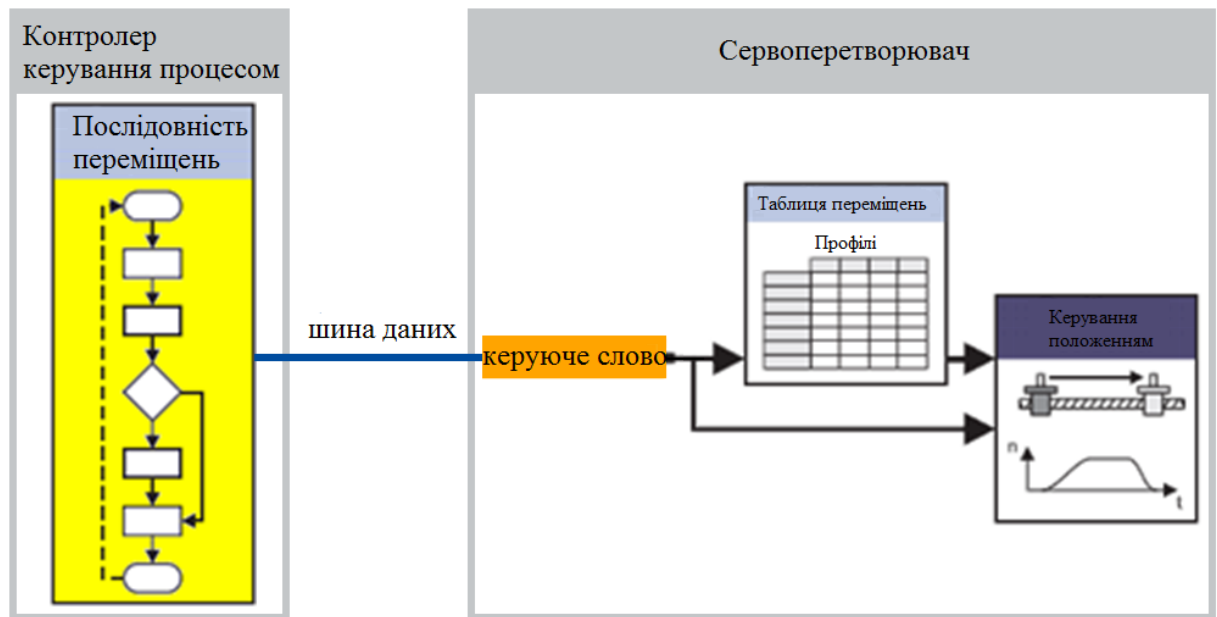


Рис. 4.49. Функціональна схема керування переміщенням за таблицею профілів

Типова таблиця даних для профілів переміщення містить:

- положення, в яке повинен переміститися двигун;
- максимальна швидкість переміщення при відпрацюванні завдання переміщення;
- тип переміщення (відносне або абсолютне);
- максимальне прискорення при відпрацюванні завдання переміщення;
- максимальне сповільнення при відпрацюванні завдання переміщення;
- максимальний ривок при відпрацюванні завдання переміщення;
- номер профілю, який відпрацьовується наступним за умови відсутності додаткових сигналів.

При реалізації **керування положенням з відпрацюванням послідовності переміщень** використовуються сервоперетворювачі із

вбудованою таблицею дій, що виконуються послідовно. Приклад функціональної схеми такого перетворювача представлений на рис. 4.50.

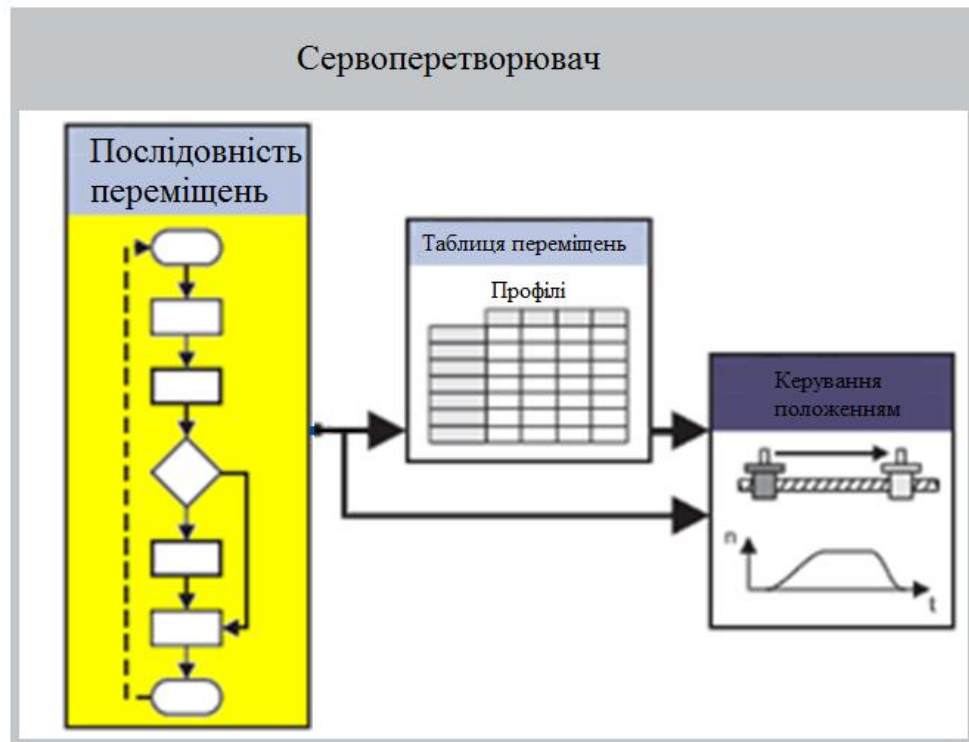


Рис. 4.50. Функціональна схема послідовного позиціонування

До типових дій, що можуть бути виконані на певному кроці програми зазвичай відносять:

- пошук «нульової точки» (Homing);
- відпрацювання профілю переміщення;
- вмикання таймеру очікування (вихід з режиму очікування здійснюється по спрацюванню таймера або зовнішнього дискретного сигналу);
- перевірка виконання умови переходу на певний крок алгоритму роботи;
- вмикання дискретних або аналогових виходів перетворювача для керування іншими виконавчими механізмами;
- збільшення лічильника дій або циклів в цілому;

- перехід в режим утримування позиції (вихід з режиму утримування здійснюється по спрацюванню зовнішнього дискретного сигналу);
- команду закінчення послідовності дій.

Конфігурацію системи електроприводу при **керуванні положенням в режимі формування та відпрацювання завдання** розглянемо на прикладі переміщення платформи. Конфігурація електромеханічної системи представлена на рис. 4. 51.

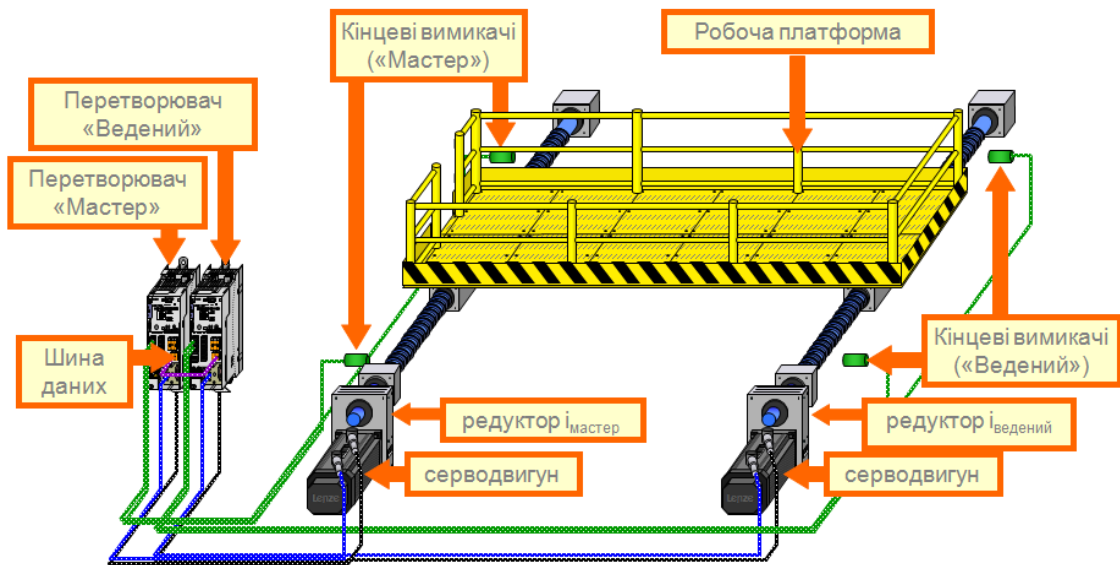


Рис. 4.51. Схема керування переміщенням в режимі відпрацювання переміщенням

Режим «електронного валу» застосовується для одночасного обертання декількох валів, що не зв'язані між собою механічно.

При можливості механічного з'єднання і відсутності необхідності підкорегування схеми використовується загальний механічний вал. Схема такого механічного валу представлена на рис. 4.52.

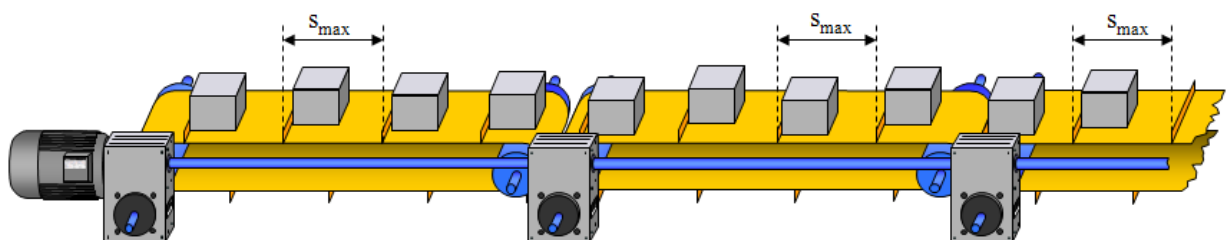


Рис. 4.52. Схема механічного з'єднання валів

Для приводу декількох вузлів електромеханічної системи використовується один електричний двигун, що запускається в роботу від простого перетворювача частоти. Механічним валом потужність і швидкість обертання передається на редуктори, що встановлені на вали кожного з механізмів. При такій реалізації швидкість і положення вхідних валів редуктора змінюються одночасно. Співвідношення швидкостей обертання вихідних валів здійснюється за рахунок коефіцієнтів редукції і змінюється лише механічно. Відстань між продукцією $s_{\max}$ не може корегуватися за допомогою міток і є фіксованою. Приклад реалізації такого «електронного валу» представлений на рис. 4.53.

Перевагами механічного з'єднання є функціональність, мінімізація ризику зіткнення продукції та відсутність необхідності переводу механізмів у вихідне положення.

До недоліків можна віднести необхідність точного кріплення обладнання для забезпечення правильної відстані між продукцією, значні витрати при модернізації у разі зміни продукту/формату, а також того, що синхронізація окремих агрегатів машини можлива за допомогою механічних зчеплень зі стійкістю до зносу.

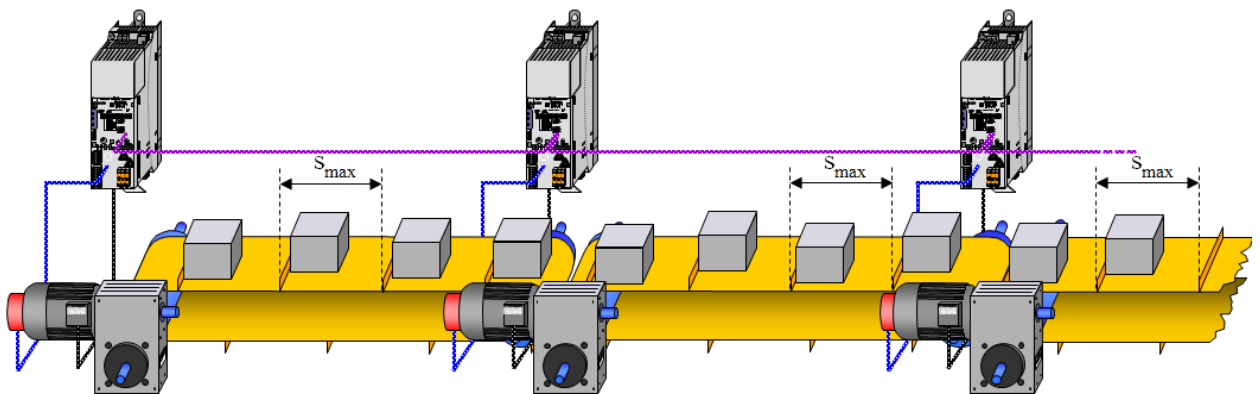


Рис. 4.53. Схема «електронного» з'єднання валів

При використанні сервоперетворювачів та серводвигунів лінійний механічний вал (один великий центральний привод для всієї машини) можна замінити децентралізованими системами приводу (один маленький двигун на агрегат).

Забезпечення відстані між продукцією $s_{\max}$ здійснюється шляхом електронної передачі даних за швидкістю та положенням. Відповідно, всі задіяні приводи потребують наявності регулятора положення або кута повороту.

Режим «електронний вал» із синхронізацією по мітці використовується коли потрібно почати рух одного із механізмів в чітко визначений момент часу. Такі системи знаходять використання в системах точного різку, фарбуванні, поліграфії. На рис. 4.54 представлений механізм різку матеріалу із синхронізацією по мітці.

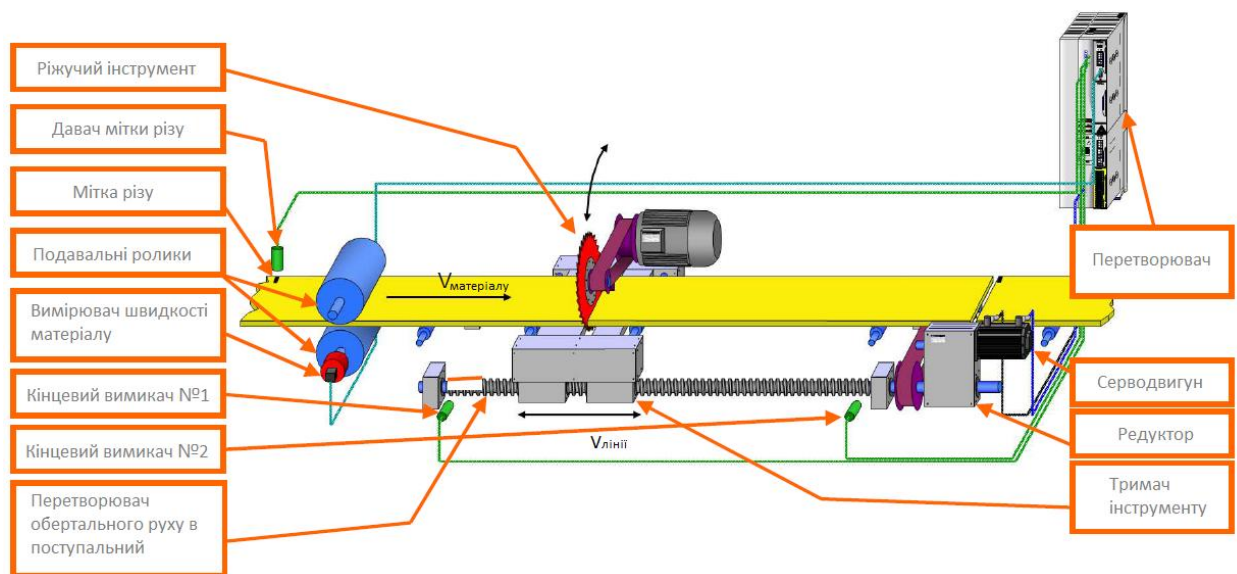


Рис. 4.54. Електромеханічна система різку матеріалу

4.3.2. Програмне забезпечення параметризації, моніторингу й наладки електроприводів

Сучасні напівпровідникові перетворювачі, такі як регулятори потужності, пристроїв плавного пуску та перетворювачі частоти все частіше обладнуються інтерфейсами для підключення до промислової мережі або персонального комп'ютера (ПК). Відповідно, це дає змогу інжиніринговому персоналу здійснити конфігурування перетворювача з комп'ютера із використанням відповідного програмного забезпечення.

Для конфігурування перетворювачів систем електроприводу зазвичай використовуються наступні інтерфейси:

1. Універсальна послідовна шина (USB).

Потребує використання відповідного USB – кабелю і може використовуватися при знаходженні інженера з конфігурування безпосередньо поруч з перетворювачем.

Оскільки дозволяє підключення типу «точка – точка», тобто забезпечує підключення тільки до одного пристрою, в мережових рішеннях не використовується.

2. Ethernet - інтерфейс.

Забезпечує технології пакетної передачі даних між пристроями на основі комп'ютерних мереж, отже допускає дистанційне конфігурування перетворювача при наявності відповідного підключення.

3. WLAN.

Зазвичай модулі безпроводного підключення LAN (Wireless LAN) використовуються у випадках, коли:

- необхідно забезпечити легкий доступ до перетворювачів частоти, які встановлені у важкодоступних місцях;
- необхідно забезпечити легкий доступ до програмування без підключення комп'ютера чи зовнішньої клавіатури;
- навичок оператора вистачає лише в роботі із мобільними телефонами.

Доступ до перетворювачів частоти через WLAN можна отримати за допомогою:

- ноутбука із встановленим модулем Wifi та стандартним програмним забезпеченням для конфігурування та програмування перетворювача.
- смартфона із встановленим додатком для Android або IOS, в залежності від марки смартфона.

Підключення в більшості модулів WLAN можливе двома шляхами:

- 1) модуль може створити власну мережу WLAN (режим точки доступу, що є налаштуванням за замовчуванням);

2) модуль може реалізувати себе як клієнт WLAN у вже існуючий мережі WLAN (потребує додаткових налаштувань).

За замовчуванням з'єднання WLAN зашифровано та недоступно для зовнішніх пристроїв. Назва мережі WLAN може бути налаштована в параметрах модуля зв'язку. При цьому вона може використовуватись як ідентифікатор набору послуг (SSID), і дозволяє мережі бути невидимою для інших пристроїв WLAN.

У результаті кількість мереж WLAN, що відображаються на смартфоні чи комп'ютері для конфігурування перетворювачів частоти. Зовнішній вигляд такого модуля представлений на рис. 4.55.



Рис. 4.55. Зовнішній вигляд модулю підключення WLAN

4. Спеціалізовані інтерфейси.

У випадку, коли виробник електротехнічного обладнання прагне обмежити доступ кінцевого споживача до функцій конфігурування перетворювачів, найчастіше використовуються спеціалізовані інтерфейси або протоколи зв'язку.

4.4. Вибір технічних та програмних засобів систем автоматизації

При вирішенні задачі автоматизації в першу чергу визначають кількість та характер вхідних та вихідних сигналів для технологічного процесу або лінії. Відповідно до цього розрізняють:

- малі системи автоматизації (до 100 точок вводу/виводу);
- середні системи автоматизації (100..10000 точок вводу/виводу);
- великі системи автоматизації (більше 10000 точок вводу/виводу).

При цьому слід визначитися, наскільки суттєвий взаємовплив між керованими параметрами технологічного процесу. У випадках, якщо керування чи контроль процесів або параметрів реалізується окремо доцільно

використовувати не програмовані, а конфігуруванні пристрої для вирішення певних задач автоматизації процесів вузької направленості. До таких пристроїв відносяться:

- індикатори технологічних параметрів;
- позиційні регулятори технологічних параметрів;
- ПІД – регулятори технологічних параметрів;
- програмні регулятори;
- програмні задавачі;
- реле часу та таймери;
- лічильники імпульсів;
- тахометри;
- пристрої запису та архіватори;
- сигналізатори рівня;
- аналізатори параметрів мережі.

1. Індикатори технологічних параметрів.

Призначені для відображення технологічних параметрів в інженерних одиницях на пульті оператора, диспетчера. В часткових випадках можуть видавати сигнал у зовнішню систему автоматизації про вихід технологічного параметру за допустимі межі.



Рис. 4.56. Вимірювач цифровий

Зазвичай такі вимірювачі за замовчуванням мають аналоговий вхід із можливістю підключення типових аналогових сигналів 4..20мА, 0..10В (в рідших випадках 0..5В, 0..20мА, сигнали від термодатчиків).

2. Позиційні регулятори технологічних процесів.



Рис. 4.57. Позиційний регулятор цифровий

Для регулювання більшості технологічних процесів із малою інерційністю вистачає регуляторів, що працюють за двопозиційним чи трипозиційним законом.

Приклад реалізації керування за двопозиційним законом з використанням типового регулятора представлений на рис. 4.58.

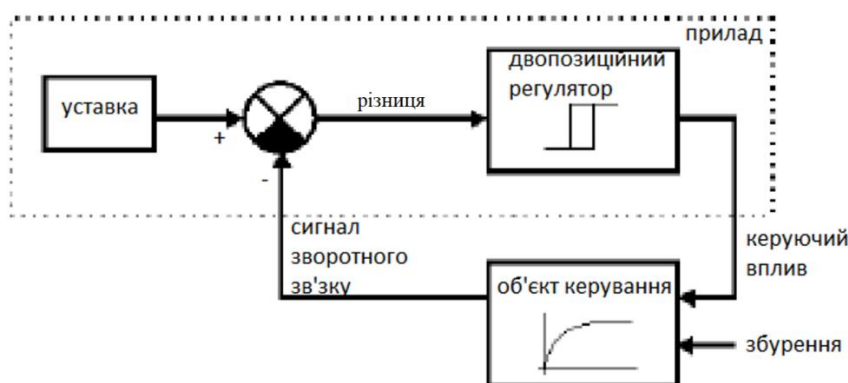


Рис. 4.58. Типова схема керування технологічним процесом з використанням двопозиційного регулятора

Відмінністю таких регуляторів від індикаторів технологічних параметрів із контролем знаходження вимірюваної величини в допустимих межах є реалізація функцій керування із гістерезисом, регулювання мінімального часу спрацювання вихідних ключів та затримок вмикання/вимикання.

3. ПД – регулятори технологічних параметрів.

У випадку інерційних технологічних процесів або в умовах підвищених вимог до точності регулювання вихідної координати використовуються регулятори із реалізацією пропорційно – інтегрально – диференційного алгоритму керування (ПІД – регулятори).

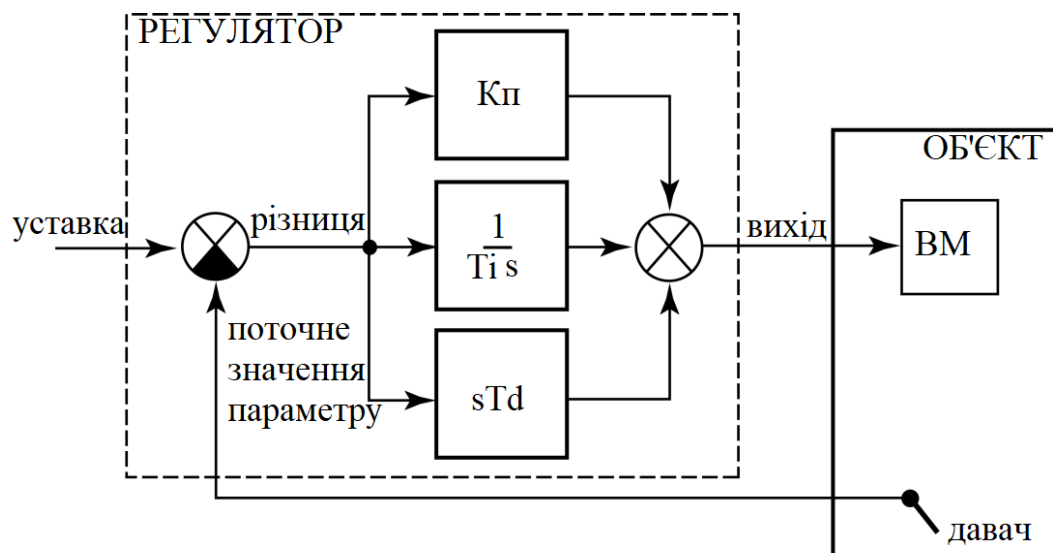


Рис. 4.59. Типова схема керування технологічним процесом з використанням ПД – регулятора

Основною особливістю такого приладу є складність налаштування параметрів ПД – алгоритму. В сучасних пристроях кожний виробник реалізує функцію автоматичного налаштування цих параметрів.

4. Програмні регулятори.

Особливістю програмних регуляторів є можливість формування завдання уставки не фіксованої, а змінної за часом. При цьому більшість сучасних пристроїв дозволяють реалізувати цілі технологічні програми із послідовним плавним переключенням між уставками. Такі переключення здійснюються в залежності від часу або по досягненню певного значення технологічного параметру. В якості прикладу на рис. 4.60 представлений багатоступінчастий профіль зміни технологічного параметру, що може бути реалізований в приладі TRM251 від українського виробника «Акутек».

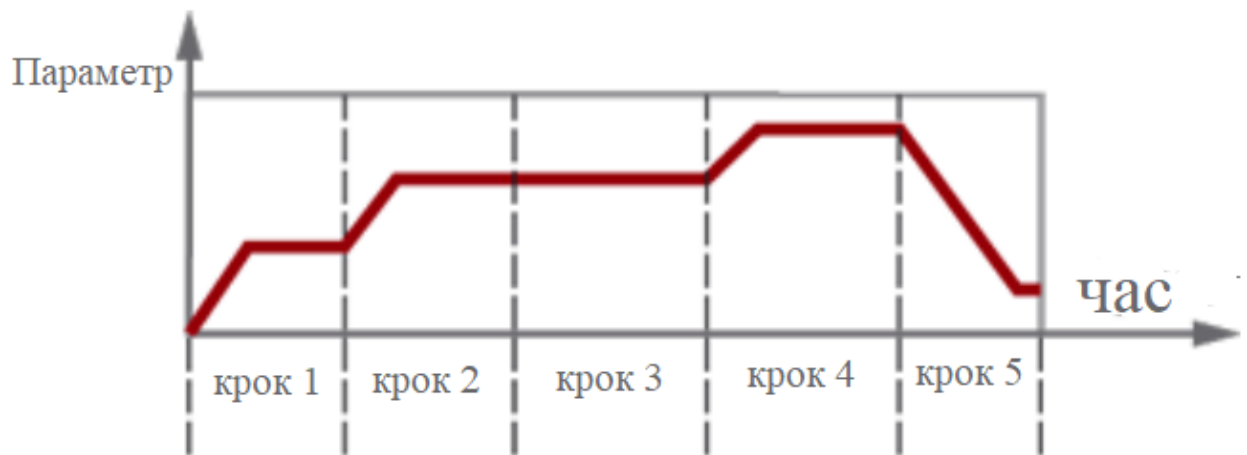


Рис. 4.60. Графік зміни технологічного параметру за часом

5. Реле часу та таймери.

Реле часу призначене для формування сигналів перемикання із затримкою за часом, в залежності від режиму роботи та заданої уставки.

Існують реле із наступними режимами роботи:

- затримка вмикання вихідного сигналу (режим E);
- симетрична циклічна робота, починається із ввімкненого стану (режим Vi);
- вмикання на встановлений час або формування імпульсу (режим Wu);
- затримка вимикання, керується додатковим контактом (режим R);
- симетрична циклічна робота, починається з вимкненого стану (режим Vr);
- одноразове вмикання на встановлений час, запуск керується додатковим контактом (режим Ws);
- ввімкнення на встановлений час, запуск керується додатковим контактом (режим Wa);
- циклічна робота, керується додатковим контактом (режим V);
- генерація короткочасного імпульсу (зазвичай до 0,5с) через встановлений час (режим T);

- затримка вмикання і вимикання, керується додатковим контактом (режим Esa).

В більшості реле часу режим перемикання вибирається за допомогою обертового перемикача, а час спрацювання – потенціометром. Відповідно до цього точне налаштування часу спрацювання реле є неможливим і використовується для технологічних процесів із низькими вимогами до точності спрацювання. При необхідності точного завдання уставки часу використовуються цифрові таймери.

Таймери, як і реле часу, використовуються для формування сигналів перемикання із затримкою за часом, в залежності від режиму роботи та заданої уставки. Особливістю таймерів є цифровий вибір налаштувань його роботи, в тому числі і значення уставки. При цьому точність завдання уставки визначається розрядністю таймера, а не люфтом потенціометра.



Рис. 4.61. Цифровий таймер

6. Лічильники імпульсів.

Лічильники імпульсів призначені для підрахунку кількості імпульсів, що надходять на вхід приладу. Можуть бути використані визначення кількості виробленої продукції, вимірювання переміщення, часу, витрат тощо.

За режимами роботи входу розрізняють:

- прямі (при надходженні вхідного сигналу відбувається збільшення значення лічильника);
- зворотні (при надходженні вхідного сигналу відбувається зменшення значення лічильника);

- реверсивні (при надходженні вхідного сигналу відбувається збільшення або зменшення значення лічильника, в залежності від режиму лічби).

Деякі лічильники підтримують роботи із квадратурними енкодерами (реверсивними фото імпульсними датчиками швидкості). При цьому використовуються не один, а два входи лічильника, а напрям лічби визначається по послідовності надходження імпульсів на кожний із входів.



Також часто в промисловості використовуються лічильники/таймери з можливістю перемикання режиму роботи приладу, наприклад лічильник/таймер серії СТ6 від корейської компанії Autonics.

Зазвичай вони є багатofункціональними пристроями і в більшості випадків можуть рахувати не тільки кількість продукції, а й кількість ящиків із продукцією, визначати напрям руху механізму за енкодером тощо.

7. Тахометри.

Тахометри застосовуються для керування технологічними процесами з визначенням швидкості зміни сигналу в різних галузях промисловості. Відмінною особливістю тахометрів є функції перетворення послідовності імпульсних сигналів на вході приладу в аналоговий сигнал, значення якого виводиться на дисплей або передається далі в систему автоматизації.



Рис. 4.63. Тахометр

Також тахометри можуть формувати дискретні сигнал при вихід частоти надходження вхідних імпульсів за допустимі межі, що дуже часто застосовується для контролю швидкості обертання валів двигунів.

8. Пристрої запису та архіватори.

Пристрої запису (логери) найчастіше застосовуються для контролю температури та вологості у різних галузях промисловості, житлово – комунальному господарстві, логістичних процесах (вантажоперевезення, зберігання продукції складах), сільському господарстві і побуті. Зазвичай виконуються з автономним живленням з можливістю зчитування даних по RFID – каналу або шляхом підключення через USB. Приклад логера із USB – підключенням представлений на рис. 4.64.



Рис. 4.64. Логер із можливістю підключення до ПК через USB

Для зчитування даних з декількох каналів передачі технологічних параметрів використовуються регістратори із вбудованою пам'яттю, що можуть бути підключені до ПК, або із можливістю встановлення SD-карти для збору великих об'ємів інформації.

При цьому зазвичай інформація на дисплеї відображається в розширеному форматі, тобто не тільки цифрове значення, а й у вигляді гістограм, як ще показано на приладі на рис. 4.65.



Рис. 4.65. Регістратор

Дуже рідко для особливо відповідальних процесів або лабораторних досліджень все ще використовуються регістратори із функцією друку результатів на паперовій стрічці. Приклад такого приладу із двоканальним записом аналогового сигналу 4..20мА від компанії Konics представлений на рис. 4.66.



Рис. 4.66. Регістратор із записом на стрічку

9. Сигналізатори рівня.

Ці прилади застосовуються у системах автоматичного підтримання рівня рідини або сипучих матеріалів в резервуарах та накопичувальних ємностях. Можуть використовуватись для керування насосами, клапанами, при цьому опрацьовувати сигнали від кондуктометричних, поплавкових, вібраційних датчиків.



Рис. 4.67. Сигналізатор рівня

Для налаштування порогів спрацювання кондуктометричних датчиків зазвичай сигналізатори рівня містять потенціометр налаштування опору рідини до 50кОм (рисунок 4.67).



Рис. 4.68. Аналізатор мережі

10. Аналізатори параметрів мережі.

Аналізатори параметрів мережі використовуються для передачу у зовнішню систему автоматизації та аварійного відключення ланцюгів живлення споживачів при виході напруги за допустимі межі.

Приклад аналізатор мережі від компанії Lovato electric представлено на рис. 4.68.

Також можуть використовуватись для некомерційного обліку споживаної електроенергії, визначення гармонійного складу напруги живлення.

Всі ці представлені конфігуруванні пристрої зазвичай містять інтерфейси передачі даних у зовнішню систему автоматизації. Відповідно при побудові систем керування технологічними процесами, в якій використовується лише вертикальна інтеграція систем передачі даних, застосування таких пристроїв локального призначення є найбільш доцільним.

Слід відзначити, що пристрої, орієнтовані на вузьке використання мають більший функціонал і простіші до налаштування ніж програмні функціональні блоки контролерів керування технологічними процесами. Також, зазвичай, вони є дешевшими і простішими до використання ніж модулі розширення для багатофункціональних контролерів, забезпечують аварійне керування технологічним процесом навіть при зупинці більшості механізмів та відключенні інших технологічних процесів.

Відповідно до вищевказаного, можна відзначити, що за умови підвищених вимог до надійності роботи в аварійних режимах, необхідності незалежного керування технологічними процесами, зручності роботи оператора доцільно використовувати прилади керування технологічними процесами із вузьким функціоналом.

У випадку взаємопов'язаного керування технологічними процесами, необхідності швидкого переналаштування режимів роботи та централізації керування процесами використовуються програмовані логічні контролери або промислові комп'ютери із встановленою системою візуалізації та контролю.

4.4.1. Програмовані логічні контролери й промислові комп'ютери

Програмований логічний контролер (ПЛК) – це пристрій із циклічним виконанням програми користувача, що використовується в задачах автоматизації технологічних процесів.

На ринку України присутня велика кількість контролерів як відчизняного, так і імпорного виробництва. Вибір ПЛК певного виробника здійснюється на основі дуже великої кількості різноманітних факторів, розглянемо деякі з них.

Основним показником ПЛК є допустима кількість каналів вводу/виводу. За цією ознакою вони поділяються

- нано – ПЛК (менше 16 точок вводу/виводу);
- мікро-ПЛК (від 16 до 100 точок вводу/виводу);
- середні (від 100 до 500 точок вводу/виводу);
- великі (більше 500 точок вводу/виводу).

Іноді контролери із малою кількістю каналів називають програмованими логічними реле (ПЛР).

За розташуванням модулів вводу-виводу ПЛК бувають:

- Моноблочними, в яких вхідні та вихідні канали не може бути відокремлені від контролера.

Конструктивно такий контролер представляє собою єдиний пристрій з пристроями вводу-виводу і може мати на борту невелику кількість входів і виходів.

- Модульними, в яких модулі входів/виходів розташовуються на одній шині в одному шасі (корзині) разом із модулем центрального процесора та змінними модулями вводу/виводу.

Кількість модулів розширення, що встановлюється на шину може змінюватись від одного до 64, в залежності від виробника та серії контролерів.

- Розподілені, в яких модулі вводу/виводу виконані в окремих корпусах та з'єднуються із головним контролером за допомогою одного з промислових інтерфейсів (RS485, CAN, Profibus тощо).

Часто перелічені конструктивні типи контролерів можуть бути розширені виробником. Так, наприклад, моноблочний контролер може бути доповнений окремими модулями вводу/виводу для збільшення кількості каналів. Також модульний контролер може мати можливість підключення модулів розширення за допомогою одного із промислових інтерфейсів.

За конструктивним виконанням та способу кріплення контролери поділяються на:

- панельні (для монтажу на панель або в дверцята шафи);
- для монтажу на DIN-рейку всередині шафи;
- для кріплення на стіну;
- для кріплення в стійці;
- безкорпусні для використання в обладнанні OEM-виробників.

За способом програмування розділяються на:

- з можливістю програмування з лицевої панелі контролера;
- з можливістю програмування за допомогою спеціального переносного програматора;
- програмовані за допомогою миші, дисплею та клавіатури;
- програмовані за допомогою персонального комп'ютера або ноутбука.

На даний час найбільш розповсюдженим є програмування за допомогою ноутбука із відповідним програмним забезпеченням.

Контролери можуть програмуватися з використанням мов програмування міжнародного стандарту MEK 61131-3, а також інших мов предметно – орієнтованого програмування, таких як C, C++, Visual basic.

4.4.2. Інформаційні мережі та їх компоненти

Інформаційні мережі на сучасних підприємствах поділяються на:

- 1) комп'ютерні;
- 2) промислові.

Комп'ютерні мережі призначені для передачі даних між персональними комп'ютерами та серверами зберігання даних. Орієнтовані на роботу із офісними програмами і працюють із великими об'ємами даних.

Промислові мережі призначені для передачі даних між програмованими логічними контролерами, датчиками, виконавчими механізмами та регуляторами технологічних процесів. Працюють в умовах підвищених завад, перепадах температур, надмірній вологості і орієнтовані в першу чергу на надійність передачі інформації.

4.4.3. Пульти і термінали

Однією з важливих складових реалізації систем автоматизації електротехнічних і мехатронних комплексів є забезпечення операторів та диспетчерів інформацією щодо технологічного процесу. Для оператора ця складова забезпечується за допомогою екрана або інформаційної панелі, яка передає інформацію, дані та показники за допомогою графіки або візуального представлення кількісних показників. При цьому оператор може як відслідковувати поточні параметри, так і здійснювати керування технологічним процесом, перемикаючи режими роботи, змінювати уставки технологічних параметрів. Пристрої, що реалізують дані функції називають пристроями людино – машинного інтерфейсу (ЛМІ).

До пристроїв ЛМІ відносяться:

- комп'ютери з підключеними периферійними пристроями;
- операторські панелі;
- вимірювачі та задатчики технологічних параметрів;
- елементи керування та сигналізації.

Операторські панелі є спеціалізованими обчислювальними пристроями масового виробництва, реалізований у вигляді промислового контролера, що широко використовуються для управління операторами

окремими автоматизованими пристроями і можуть встановлюватися як в шафи керування електротехнічними комплексами, так і в термінали.

Всі вищезазначені пристрої ЛМІ зазвичай розташовуються не окремо, а на пультах або терміналах керування.

Пульти керування в системах АСУ ТП - це комплекс для контролю та керування роботою технологічних ліній або процесів. Зазвичай може містити велику кількість пристроїв ЛМІ, встановлюється в окремих приміщеннях, зазвичай використовується в роботі диспетчерів. Приклад пульта керування представлений на рис. 4.69.



Рис. 4.69. Загальний вигляд пульта оператора диспетчера

Термінал керування зазвичай встановлюється безпосередньо поруч з технологічним процесом і, в першу чергу, використовується оператором. При цьому він не містить окремих вимірювачів або датчиків технологічних параметрів, а вся інформація надається операторові за допомогою графічного дисплею комп'ютера або операторської панелі. Кількість елементів керування та сигналізації зведена до мінімуму.

Термінали АСУ ТП можуть бути обладнані принтером, сканером карток, та іншими пристроями, що зазвичай не використовуються в пультах оператора. Зовнішній вигляд промислового терміналу представлений на рис. 4.70.



Рис. 4.70. Зовнішній вигляд промислового терміналу

Запитання для самоконтролю

1. *Які типи виконання радіаторів застосовуються в сучасних низьковольтних перетворювачах частоти?*
2. *Як працює функція безпечного відключення моменту в перетворювачах частоти?*
3. *Назвіть сфери застосування високовольтних перетворювачів частоти.*
4. *Які бувають опції для електродвигунів змінного струму при замовленні від виробника?*
5. *Які бувають опції для гальмівних пристроїв при замовленні від виробника?*
6. *Що таке мотор – редуктор?*
7. *Які бувають фільтри для використання з перетворювачами частоти?*
8. *Що представляє собою пристрій плавного пуску?*
9. *Які ви знаєте аналогові датчики швидкості та положення в системах електроприводу?*
10. *Які ви знаєте цифрові датчики положення в системах електроприводу?*
11. *Наведіть класифікацію навантажень двигунів при виборі елементів електроприводу.*

12. *Наведіть шляхи зниження пульсацій вхідної напруги перетворювачів частоти.*
13. *Як здійснюється перевірка внутрішніх гальмівних резисторів для систем електроприводу?*
14. *Як здійснюється вибір зовнішніх гальмівних резисторів?*
15. *Які бувають програмні засоби електротехнічних систем?*
16. *Назвіть типові конфігурації керування координатами електропривода.*
17. *Що таке «електронний вал» і для чого він використовується?*
18. *Які є апаратні способи конфігурування перетворювачів систем електроприводу?*
19. *Назвіть класифікацію систем автоматизації за кількістю точок вводу.*
20. *Чим регулятори технологічних параметрів відрізняються від індикаторів?*
21. *Які бувають функції реле часу?*
22. *Наведіть класифікацію лічильників.*
23. *Наведіть класифікацію інформаційних мереж.*
24. *Які пристрої відносяться до засобів ЛМІ?*

РОЗДІЛ 5. КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРОЄКТУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

- Інструментальні засоби проєктування
- Оформлення технічної документації
- Запитання для самоконтролю

5.1. Інструментальні засоби проєктування

Інструментальні засоби проєктування (або проєктувальні інструменти) використовуються для підтримки і полегшення процесу проєктування в різних галузях, таких як інженерія, архітектура, електроніка та інші. Ці засоби забезпечують розширені можливості для створення, аналізу та оптимізації проєктів.

Основні типи інструментальних засобів проєктування включають:

1. Комп'ютеро-підтримані конструкторські (CAD) системи. Дозволяють інженерам та дизайнерам створювати та моделювати різноманітні об'єкти, від простих деталей до складних механізмів або будівельних споруд. CAD системи надають інтерфейс, що дозволяє створювати та редагувати графічні моделі, вимірювати розміри, виконувати перевірки на взаємодію компонентів та генерувати технічну документацію.

До програм для автоматизованого проєктування (CAD) відносяться наступні програми:

- **AutoCAD** – одна з найпопулярніших CAD-програм для створення 2D та 3D креслень. Широко використовується в архітектурі, будівництві та інженерії.
- **SOLIDWORKS** – 3D CAD-система, що спеціалізується на проєктуванні механічних систем та компонентів.
- **FreeCAD** – безкоштовна параметрична CAD-програма, орієнтована на 3D моделювання для архітектури, інженерії та дизайну.
- **GstarCAD** – універсальна CAD-програма, яка пропонує можливості для архітекторів, механіків, електриків та геодезистів.

2. Електронно-побудовані та електропровідні (ECAD) системи. Використовуються для проєктування електронних пристроїв та систем. ECAD системи надають інструменти для створення схем, розміщення компонентів на платі, прошивки мікросхем, симуляції поведінки електричних схем та багато іншого. Ці системи також допомагають управляти бібліотеками компонентів та виробничою документацією.

ECAD - системи використовуються для проєктування електронних схем, друкованих плат (PCB) та інших електронних компонентів. Ось кілька популярних програм ECAD:

- **AutoCAD Electrical** – версія AutoCAD, що спеціалізується на проєктуванні електронних систем та електросхем.
- **Altium Designer** – одна з найпопулярніших ECAD-програм для проєктування друкованих плат (PCB) та електронних схем.
- **KiCad** – безкоштовна ECAD програма для створення електронних схем і PCB, яка використовується як професіоналами, так і ентузіастами.
- **Eagle** – інша популярна ECAD-програма для створення схем і друкованих плат, що підтримує як прості, так і складні проєкти.
- **OrCAD** – програмне забезпечення для схемотехнічного проєктування, моделювання та розробки PCB.

3. Системи моделювання та симуляції. Дозволяють інженерам створювати математичні та фізичні моделі реальних систем для аналізу та оцінки їхньої роботи. Ці інструменти дозволяють виконувати симуляцію та тестування системи з різними вхідними параметрами, перевіряти функціональність, прогнозувати результати та оптимізувати параметри системи.

Для моделювання та симуляції автоматизованих систем електроприводу використовують різні програмні платформи та системи. Основні з них:

- **MATLAB/Simulink** – одна з найпопулярніших платформ для моделювання, що дозволяє створювати та симулювати електромеханічні та автоматизовані системи. Вона має широкі можливості для розробки і тестування систем керування електроприводами.
- **ANSYS** – програмне забезпечення, яке використовується для моделювання електромеханічних процесів та симуляцій електроприводів, зокрема для аналізу механічних та електричних характеристик.

- **PSCAD/EMTDC** – використовується для детального моделювання електромеханічних систем і аналізу їх поведінки під впливом різних факторів.

4. Інструменти аналізу та оптимізації. Допомагають інженерам виконувати аналіз різних аспектів проєкту, включаючи міцність, розрахунок матеріалів, теплові характеристики, гідродинаміку та інші фізичні аспекти. Інструменти аналізу дозволяють моделювати вплив різних факторів на проєкт та досліджувати його поведінку, що допомагає виявити можливі проблеми і зробити оптимальні покращення.

5. Інструменти управління проєктами. Це програми та системи, які допомагають організувати та керувати проєктами, включаючи планування завдань, розподіл ресурсів, визначення термінів виконання та відстеження прогресу. Ці інструменти допомагають забезпечити ефективне управління проєктом та зниження ризиків.

Існують і інші спеціалізовані інструменти проєктування, такі як інструменти моделювання 3D-об'єктів, інструменти для проєктування баз даних, інструменти для створення прототипів та багато інших. Ці інструменти призначені для конкретних галузей та завдань проєктування.

Застосування інструментальних засобів проєктування допомагає прискорити процес розробки, знизити ймовірність помилок, поліпшити взаємодію між учасниками проєкту та підвищити якість та продуктивність в різних галузях. Ці інструменти є важливою частиною сучасного проєктувального процесу.

5.1.1. Огляд програмних засобів

Інтегроване середовище розробки (ICR) - це програмне забезпечення, яке надає зручний набір інструментів та функціональностей для розробки програмного коду. ICR забезпечує зручний та централізований інтерфейс, який дозволяє програмістам писати, тестувати, налагоджувати та керувати програмним кодом всередині одного інтегрованого середовища.

Програмні засоби поділяються на:

1. ICP:

- MATLAB/Simulink. Інтегроване середовище розробки, яке надає широкі можливості для моделювання, аналізу та симуляції систем автоматизованого електроприводу. MATLAB використовується для числових обчислень та аналізу даних, а Simulink дозволяє моделювати системи у вигляді блок-схем. Воно підтримує різні типи моделей, включаючи фізичні, блочні та статистичні моделі.

- LabVIEW. ICP, спеціалізоване на розробці вимірювальних, контрольних та моніторингових систем. LabVIEW використовує графічний підхід до програмування, де вибудовані блоки-функції зображуються у вигляді блок-діаграм. Воно надає широкий вибір інструментів для генерації сигналів, обробки даних та взаємодії з обладнанням.

- CODESYS. ICP, розроблене спеціально для програмування промислових контролерів. CODESYS надає засоби для створення програмного забезпечення для програмованих логічних контролерів (ПЛК) та приводів. Це середовище охоплює інтегрований редактор коду, інструменти для візуалізації та спеціалізовані бібліотеки функцій для автоматизації.

2. Програмне забезпечення для моделювання та симуляції:

- Simulink має багато вбудованих бібліотек компонентів та модулів, які дозволяють моделювати різноманітні системи, включаючи електроприводи. Він також підтримує аналіз та оптимізацію моделей, включаючи можливість проведення симуляцій з різними вхідними параметрами та налаштуваннями системи.

- PSIM. Програмне забезпечення для моделювання та симуляції систем електроприводу. PSIM спеціалізується на моделюванні поведінки електронних пристроїв, таких як перетворювачі частоти та інвертори. Воно надає вбудовані блоки для побудови моделей та інструменти для аналізу системи, включаючи симуляцію динаміки електроприводу.

- PLECS. Програмне забезпечення для моделювання та симуляції систем електроенергетики. PLECS зосереджується на моделюванні системи електроприводу та електроенергетичних мереж. Воно надає багато вбудованих модулів для побудови моделей систем та інструменти для аналізу стабільності, перевірки ефективності та проєктування систем електроприводу.

- ECAD-підсистеми (Electronic Computer-Aided Design) використовуються для проєктування електричних схем та кіл. Вони надають інструменти, які спрощують і автоматизують процеси проєктування, від створення схематичного зображення до генерації друкованих плат.

ECAD-підсистеми є необхідними для розробки складних електронних систем, таких як мікропроцесорні контролери або системи автоматизації. Вони допомагають прискорити та полегшити процес проєктування, забезпечують точність та надійність в роботі електричних схем.

5.1.2. Вибір та оцінка інструментальних засобів

Проєктування інженерних систем вимагає дбайливого вибору та оцінки інструментальних засобів. Найважливіші критерії включають функціональність, ефективність, сумісність з іншими системами, вартість, легкість використання та підтримки. Інструменти для проєктування можуть включати CAD (комп'ютерні системи проєктування), CAE (комп'ютерні системи інжинірингу), CAM (комп'ютерні системи виробництва), програмне забезпечення для аналізу, моделювання та імітації систем.

При виборі інструментальних засобів важливо враховувати потреби проєкту, особливості конкретної галузі інженерії, можливості і навички користувачів. Оцінка інструментів повинна базуватися на їх можливостях оптимізації процесів проєктування, зниженні помилок, підвищенні продуктивності та якості роботи.

Крім того, важливо слідкувати за новими технологіями та тенденціями у сфері проектування інженерних систем для того, щоб бути в курсі і використовувати передові розробки в цій галузі.

Для *проектування систем вентиляції* рекомендовано використовувати спеціалізоване програмне забезпечення з можливостями моделювання та аналізу вентиляційних систем. До найбільш розповсюджених відносяться:

1. Autodesk Revit MEP. Цей програмний продукт дозволяє моделювати системи вентиляції та проводити аналіз їх ефективності в контексті будівельного проекту.

2. DuctSizer. Це онлайн-інструмент, який допомагає розраховувати оптимальні розміри вентиляційних каналів на основі вимог системи і параметрів середовища.

3. CFD (Computational Fluid Dynamics) Software. Програмне забезпечення для обчислювальної гідродинаміки дозволяє моделювати та аналізувати потоки повітря в системах вентиляції для оптимізації їхньої ефективності.

4. EnergyPlus. Це програмне забезпечення для симуляції енергетичних показників будівель, включаючи вплив вентиляційних систем на енергоефективність.

Для *проектування автоматизованих систем керування технологічним обладнанням* використовуються спеціалізовані інструменти і програмне забезпечення. Найбільш розповсюдженими програмними засобами є:

1. PLC (Programmable Logic Controller) Programming Software. Програмне забезпечення для програмування програмованих логічних контролерів для автоматизованих систем керування.

2. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) Software. SCADA системи використовуються для нагляду за процесами, збору даних та керування обладнанням у реальному часі.

3. HMI (Human-Machine Interface) Design Software. Це програмне забезпечення дозволяє створювати інтерфейси користувача для взаємодії з автоматизованими системами керування.

4. PLM (Product Lifecycle Management) Systems. PLM системи допомагають в управлінні процесами проєктування, виробництва та експлуатації технічних систем.

5. Simulation Software. Програмне забезпечення для моделювання та симуляції поведінки автоматизованих систем перед їх впровадженням.

Для проєктування *насосних та компресорних установок* використовуються спеціалізовані інструменти і програмне забезпечення, які допомагають інженерам у оптимізації та аналізі цих систем. Деякі популярні засоби для цієї галузі включають:

1. Pipe Flow Expert. Це програмне забезпечення спроектоване для розрахунків трубопровідних систем, включаючи насосні та компресорні системи, для оцінки тиску, швидкості та витрати рідини чи газу.

2. Pump-FLO. Інструмент для підбору і аналізу насосів та обчислення їхньої ефективності в різних умовах.

3. Compressor Selection Software. Софт для підбору та аналізу компресорів, який допомагає інженерам вибирати найбільш підходящі компресори для конкретних потреб.

4. CAD Software. Комп'ютерні системи проєктування такі як AutoCAD чи SolidWorks можуть бути використані для створення детальних моделей насосних та компресорних систем.

5. Simulation and Modeling Tools. Програмне забезпечення для моделювання та симуляції динаміки роботи насосних та компресорних систем у різних умовах експлуатації.

Для проєктування *систем електропостачання чи електричних мереж* використовуються спеціалізовані інструменти та програмне забезпечення, які допомагають інженерам у плануванні, моделюванні та аналізі структури та

ефективності систем. Деякі популярні інструменти для проєктування систем електропостачання включають:

1. ETAP (Electrical Transient Analyzer Program). Це програмне забезпечення спеціалізується на проєктуванні, моделюванні та аналізі електричних систем. Воно дозволяє виконувати різноманітні розрахунки щодо стабільності, коротких замикань, гармонік та інших параметрів.

2. SKM Power Tools. Це інша популярна платформа для проєктування та аналізу електричних систем, включаючи можливості моделювання, розрахунків коротких замикань, гармонік тощо.

3. AutoCAD Electrical. Програмне забезпечення для проєктування електричних схем, що дозволяє створювати та редагувати кільцеві діаграми, схеми управління та іншу електричну документацію.

4. PSS SINCAL. Пакет програм для створення моделей та проведення аналізу електроенергетичних мереж, у тому числі моделювання режимів роботи мережі та розрахунки стабільності.

5. DigSilent PowerFactory. Програмне забезпечення для моделювання, аналізу та оптимізації електросистем, включаючи статичні зв'язки, динаміку мережі та інші аспекти.

5.2. Оформлення технічної документації

5.2.1. Загальні правила виконання електричних креслень і схем

5.2.1.1. Правила виконання креслень

Креслення загального вигляду (ЗВ) є одним з найбільш поширених типів креслень, яке містить зображення складальної одиниці та інші важливі дані, що необхідні для зрозуміння принципів роботи та взаємодії її частин. Цей тип креслення входить до складу проєктної документації і розробляється на етапах технічної пропозиції, ескізного та технічного проєктів.

Складальне креслення (СК) містить спрощене зображення складальної одиниці та інші дані, що необхідні для виготовлення (складання) цієї одиниці. На складальному кресленні частини складальної одиниці позначаються номерами, які відповідають порядковим номерам у специфікації.

Креслення деталей - це конструкторський документ, що містить зображення деталі та інші дані, які необхідні для виготовлення та контролю цієї деталі. Цей тип креслень входить до робочої конструкторської документації і розробляється після креслення загального вигляду.

5.2.1.2. Правила виконання схем

Стандарти ЄСКД встановлюють комплектність, вимоги та правила розробки та оформлення схемної документації на вироби всіх галузей промисловості.

Схема - конструкторський документ, на якому показані у вигляді умовних зображень або позначень складові частини виробу і зв'язки між ними.

Елемент схеми - складова частина схеми, яка виконує певну функцію у виробі і не може бути розділена на частини, що мають самостійне призначення.

Пристрій - сукупність елементів, що представляють собою єдину конструкцію (блок, плату, шафу, панель тощо).

Функціональна група - сукупність елементів, що виконують у виробі певну функцію і не об'єднані в єдину конструкцію.

Функціональна частина - елемент, функціональна група, а також пристрій, що виконує певну функцію.

Функціональна ланцюг - лінія, канал, магістраль певного призначення.

Схемна документація являється невід'ємною частиною в комплекті конструкторських документів і призначена для виробництва, експлуатації та ремонту виробів.

Види і типи основних схем:

Схеми структурні і функціональні призначені для загального ознайомлення з виробом і вивчення загальних принципів його роботи. Ці схеми розробляються на етапах ескізного і технічного проєктування.

Схема принципова призначена для визначення повного складу виробу, вивчення принципів його роботи і розрахунку. Це схема, що служить підставою для розробки конструкції і наступних схем, використовується при налагодженні, регулюванні, контролю, експлуатації та ремонті виробів.

Схеми з'єднань та підключення призначені для подання відомостей про з'єднання складових частин виробів і виробів в цілому. Ці схеми служать для розробки інших конструкторських документів (креслень), а також для здійснення з'єднань при налагодженні, контролі, експлуатації та ремонті виробів.

Схема розташування визначає відносне розташування складових частин виробу і при необхідності їх з'єднань. Ця схема використовується при розробці інших документів, а також при виготовленні і експлуатації виробів.

Перераховані схеми розробляють на етапі робочого проєктування, і їх номенклатура визначається необхідністю забезпечення виготовлення, контролю і експлуатації виробу [10].

5.2.2. Креслення електровиробів

5.2.2.1. Креслення загального вигляду

На кресленнях загального вигляду прилади, засоби автоматизації, апарати, елементи їх кріплення і інші деталі зображують спрощено (у вигляді зовнішніх обрисів суцільними основними лініями). Як приклад розглянемо креслення загального вигляду щита управління та автоматики засувки пожежного резервуару (рис. 5.1).

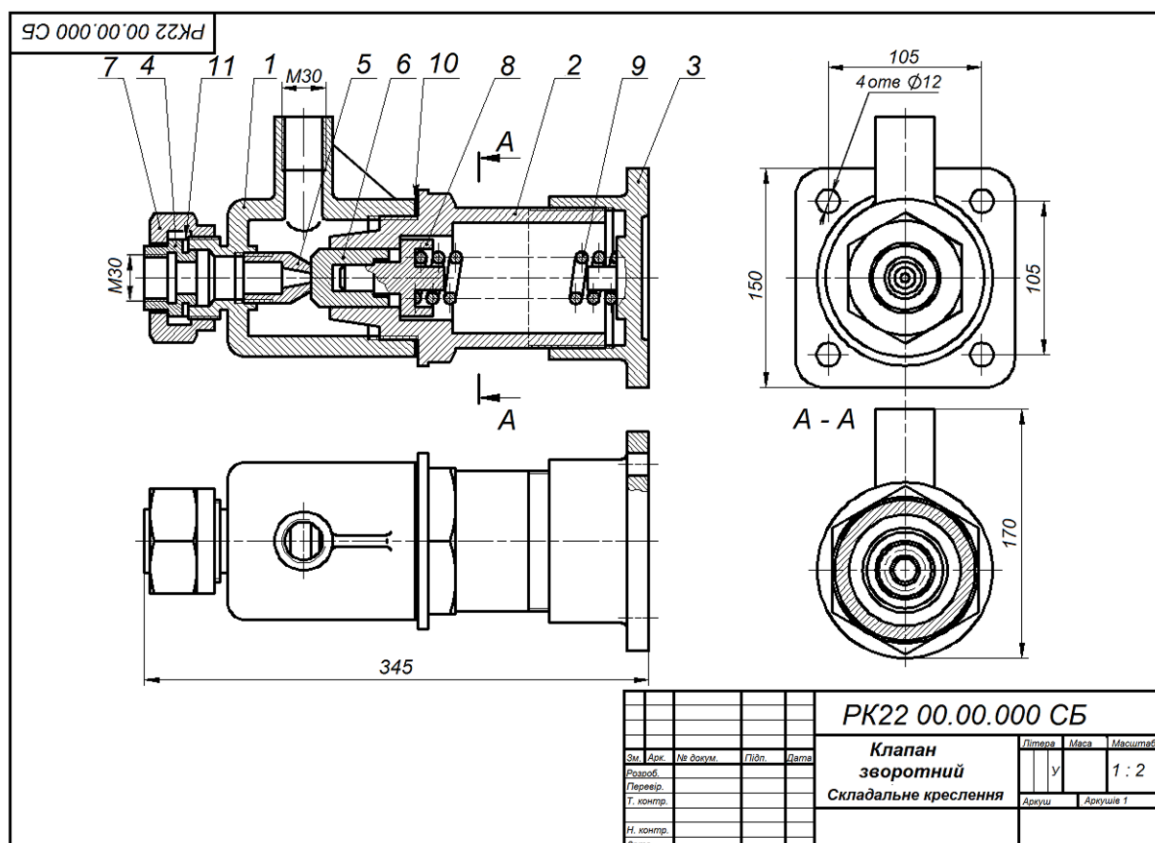


Рис. 5.2. Приклад складального креслення зворотного клапану

Складальне креслення повинно містити:

1. Зображення складальної одиниці, що показує компонування деталей.
2. Розміри, граничні відхилення та інші параметри, які потрібно проконтролювати.
3. Вказівки щодо з'єднання частин та методів їх здійснення.
4. Номери позицій частин, що входять до складу виробу.
5. Габаритні, установчі та приєднувальні розміри.

5.2.3. Схеми структурні і функціональні

Структурні і функціональна схеми в загальному випадку містять інформацію про способи реалізації пристроєм певного функціоналу. При цьому структурна схема (рис. 5.3) визначає взаємозв'язок між вузлами і функціональне призначення вузлів, в той час як функціональна (рис. 5.4)

“МДЕ-А”

АСУ підприємства

ЦДП

MODBUS RS-232

робоче місце оператора

4-20mA

датчик тиску подачі №2

Напірний контролер споживачів

Керована засувка переповнення

Напірний колектор нижнього водопідйому

Ультразвуковий датчик рівня

4-20mA

Насос №1

Насос №2

РЕЗЕРВУАР ХХХм/куб

233

5.2.4. Схеми електричні принципів

5.2.4.1. Особливості виконання принципових схем

Принципова схема визначає повний склад елементів і пристроїв у виробі, а також всі зв'язки, необхідні для здійснення електричних процесів і їх контролю, і дає детальне уявлення про принципи роботи виробу. На принциповій схемі зображують роз'єми, клемники і інші елементи, якими закінчуються вхідні і вихідні ланцюги, а також показують з'єднувальні і монтажні елементи, що встановлюються по конструктивних міркувань.

На принципових схемах допускається виділяти штрихпунктирною лінією групи елементів, що спільно виконують у виробі певну функцію, групи елементів, що об'єднані конструктивно, а також пристрої, що встановлюються на об'єкті. При повторенні однакових елементів і пристроїв дозволяється один раз зобразити їх повністю, а решта - спрощено у вигляді прямокутників.

Всі зображені на схемі елементи повинні мати буквено-цифрове позиційне позначення.

Принципові електричні схеми складних ЕП і СА допускається виконувати у вигляді кількох схем, виділяючи в окремі схеми силові блоки, блоки управління, контролю і сигналізації.

Принципові електричні схеми визначають повний склад технічних засобів ЕП і СА, дія яких забезпечує вирішення завдань управління, регулювання, захисту, вимірювання, сигналізації та візуалізації, і служать підставою для розробки інших документів проекту: схем з'єднань і підключення, монтажних таблиць щитів, пультів і ін. Ці схеми служать для вивчення принципу дії системи, вони необхідні при виробництві налагоджувальних робіт і в процесі експлуатації обладнання.

Наведемо послідовність дій при розробці принципових схем:

1. На підставі функціональної схеми складаються технічні вимоги, що пред'являються до принципової схеми.
2. Відповідно до технічних вимог встановлюються умови та

послідовність дій принципової схеми.

3. Кожна із заданих умов дії принципової схеми зображується у вигляді елементарної схеми.

4. Елементарні схеми об'єднуються в загальну схему.

5. Виробляється розрахунок параметрів і вибір технічних засобів ЕП і СА.

6. Принципова схема коригується відповідно до можливостей вибраних засобів.

7. Принципова схема перевіряється на можливість виконання всіх вимог ТЗ.

На принциповій схемі електроприводу зображують всі елементи його пристроїв і їх функціональних частин, що необхідні для здійснення і контролю заданих динамічних і статичних процесів, і всі електричні, електромагнітні та деякі механічні зв'язки між ними, а також елементи, якими закінчуються вхідні і вихідні ланцюги (виходи, затискачі, з'єднувачі).

5.2.4.2. Принципові схеми автоматизованих однодвигунних електроприводів механізмів

Пристрої управління складними об'єктами, що містять групу однодвигунних електроприводів, зазвичай компонуються в шафи, щити, пульти та інші комплектні пристрої, в кожному з яких передбачається апаратура управління для кількох однодвигунних електроприводів.

Електричні принципові схеми можуть бути виконані в двох варіантах:

- із зображенням на загальній схемі всіх електроприводів для кожного комплектного пристрою управління і з зазначенням зв'язків між ними і зовнішніми пристроями (електродвигунами, датчиками тощо;
- із зображенням на одній схемі всіх силових ланцюгів, ланцюгів управління, електродвигуна, датчиків і інших елементів, що відносяться до одного електроприводу, і з зазначенням розташування елементів схеми в комплектних пристроях управління (це зображення по приводам).

Як приклад зображення схем за другим варіантом розглянемо електричну принципову схему керування електроприводом засувки заводу з виробництва кормів (рис. 5.5.).

На даній схемі представлені як силові ланцюги живлення двигуна із функціями пуску та реверсу за допомогою силових контакторів KM1, KM2, так і ланцюги керування в ручному і автоматичному режимі, в залежності від положенням перемикача SA1. Ні цій же схемі представлені елементи сигналізації, а також карта розподілу підключення зовнішнього програмованого логічного контролера, що керує технологічним процесом.

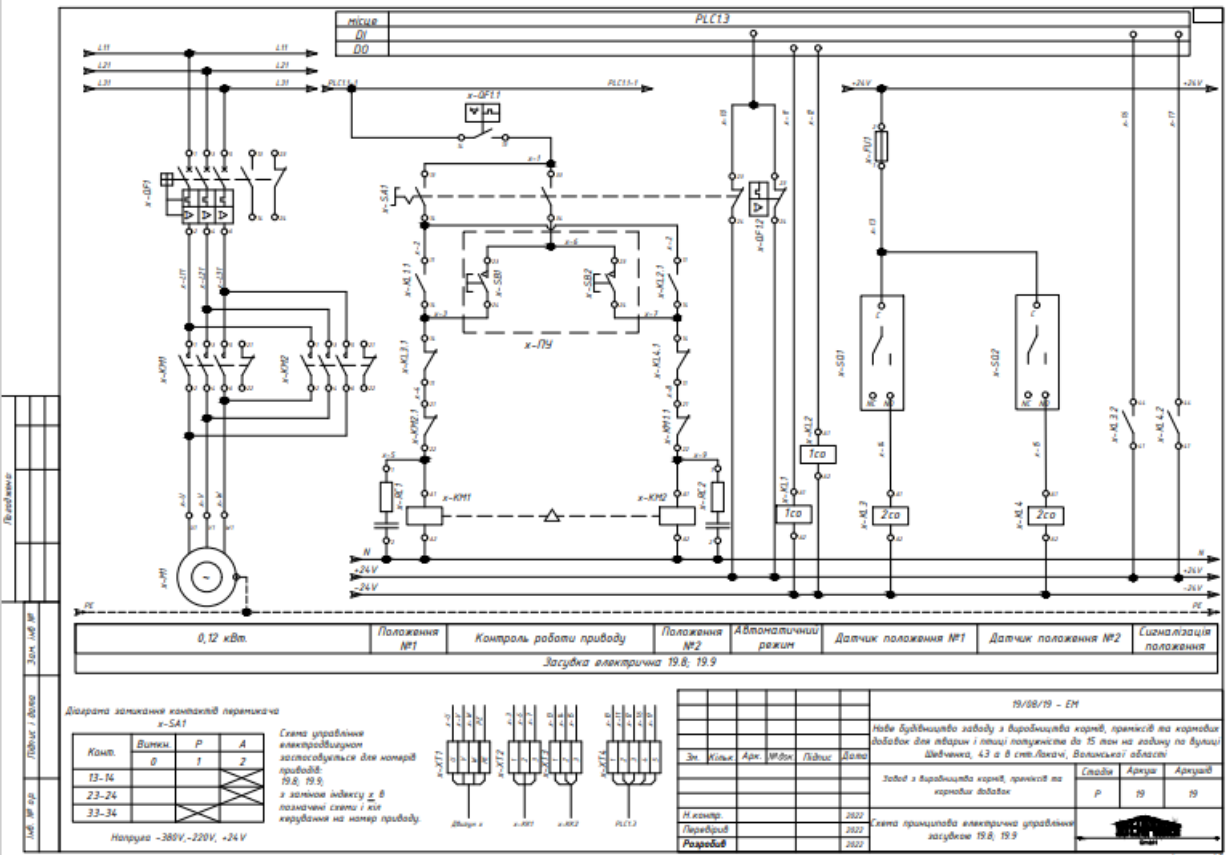
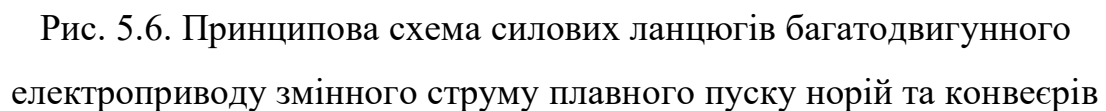


Рис. 5.5. Приклад оформлення електричної принципової схеми керування електроприводом засувки заводу з виробництва кормів

5.2.4.3. Принципові схеми автоматизованих багатодвигунових електроприводів механізмів

Системи багатодвигунових електроприводів, що мають електричні зв'язки з силовими ланцюгами живлення від загального перетворювача або

На рис. 5.6 в якості прикладу наведено лист принципової схеми силових ланцюгів багатодвигунного електроприводу змінного струму для норій і конвеєрів, пуск яких здійснюється за допомогою пристрою плавного пуску серії 3RW від компанії Siemens. На рис. 5.7 представлені ланцюги керування цим пристроєм плавного пуску.



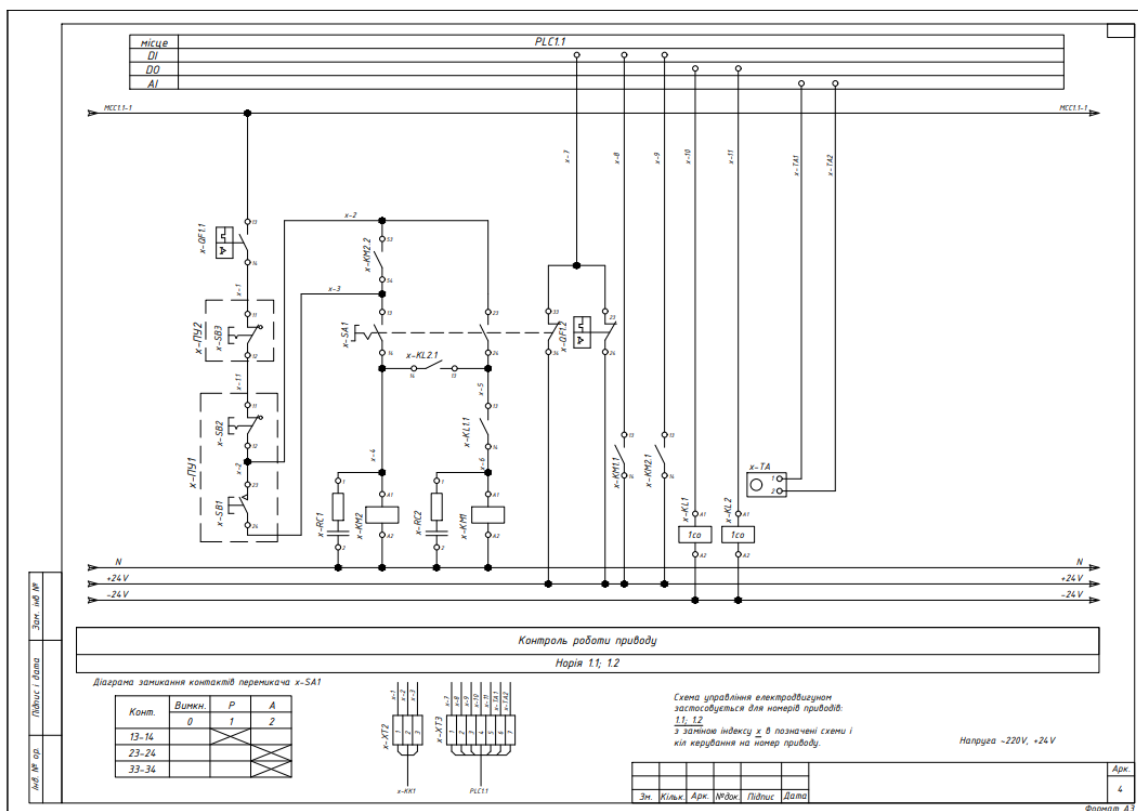


Рис. 5.8. Принципова схема ланцюгів керування роботою і пуском елементів багатодвигунного електроприводу

5.2.4.4. Схеми систем автоматизації

Схеми систем автоматизації виконуються відповідно до ДСТУ Б А.2.4.-3:2009 двома способами:

- розгорнутий, за якого на схемі зображують склад і місце розташування технічних засобів автоматизації кожного контуру контролю та управління;
- спрощений, за якого на схемі зображують основні функції контурів контролю та керування (без виділення окремих технічних засобів автоматизації, що до них входять, та зазначення місця розташування).

Як приклад схеми систем автоматизації на (рис. 5.9.) представлений аркушів схеми електричної принципової шафи управління кондиціонера змішувача.

На схемі показані елементи автоматизації (датчики, комутаційно-захисна апаратура, елементи сигналізації тощо).

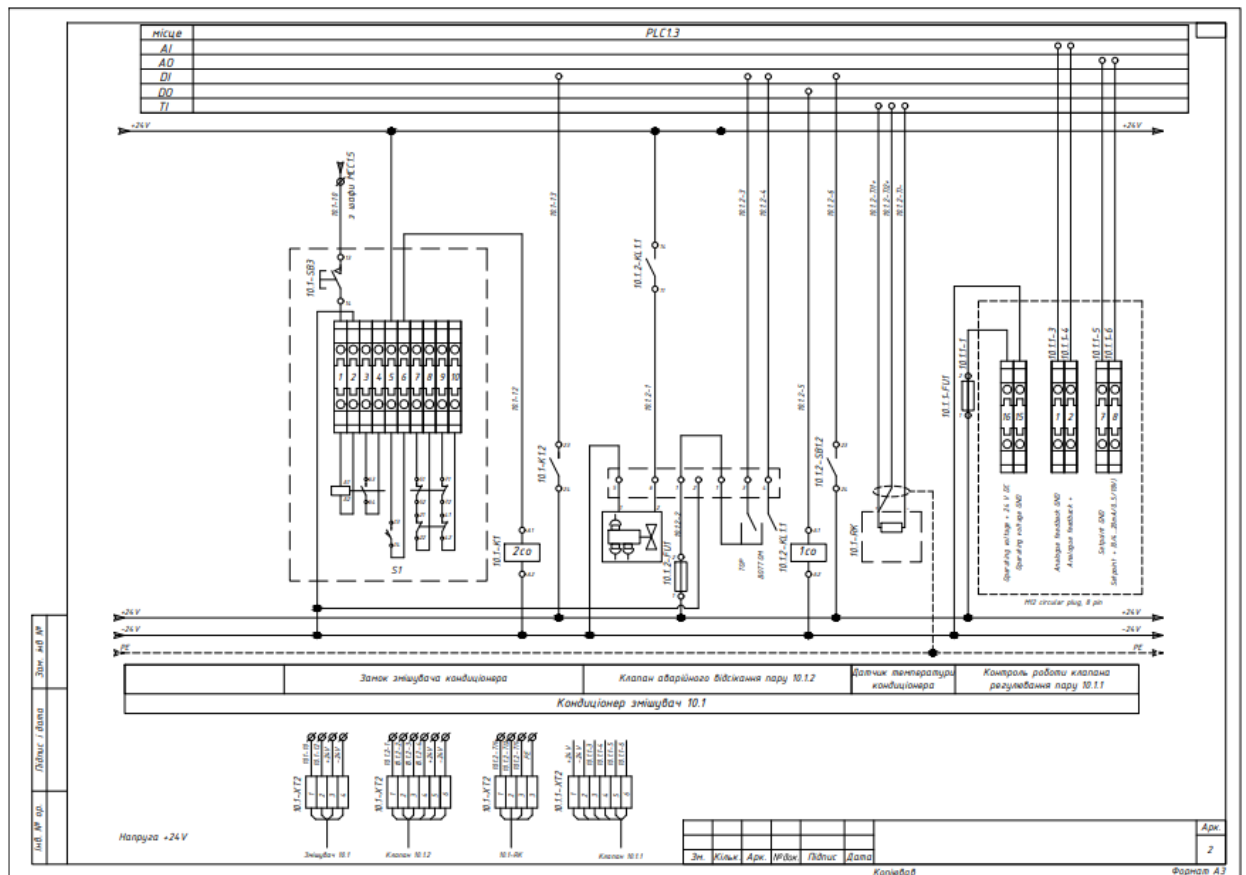


Рис.5.9. Схема автоматизації кондиціонера змішувача.

5.2.5. Схеми з'єднань, підключення та розташування

5.2.5.1. Схеми електричні з'єднань

Схема з'єднань показує з'єднання складових частин виробу між собою і визначає проводи, джгути, кабелі, якими вони здійснюються, а також місця їх приєднання і введення (затискачі, з'єднувачі).

Елементи і пристрої на схемі з'єднань зображують у вигляді їх зовнішніх обрисів, прямокутників або умовних графічних позначень, а вхідні і вихідні елементи - у вигляді умовних графічних позначень або таблиць.

Розташування графічних позначень пристроїв і елементів на схемі з'єднань має приблизно відповідати їх дійсному розміщенню у виробі, а розташування вхідних і вихідних елементів всередині пристрою - дійсному

На рис. 5.10 показано приклад формування схеми з'єднань силового щита підключення сонячної електростанції.

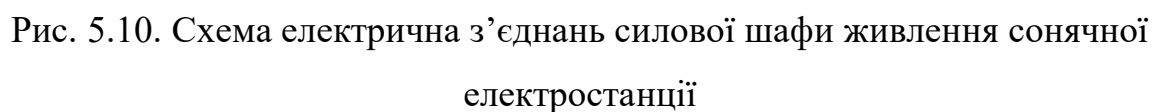


Схема підключення показує зовнішні підключення виробу. На цій схемі повинні бути зображені виріб, його вхідні і вихідні елементи (роз'єми, затискачі тощо) і підводиться до них кінці проводів і кабелів зовнішнього монтажу, а також вказані дані про підключення виробу (характеристики зовнішніх ланцюгів, адреси).

На всіх елементах, зображених на схемі підключення, повинна бути дана маркування, передбачена в конструкції цих елементів. Приклад зображення і позначення проводів зовнішнього монтажу в схемі керування температурою представлений на рис. 5.11.

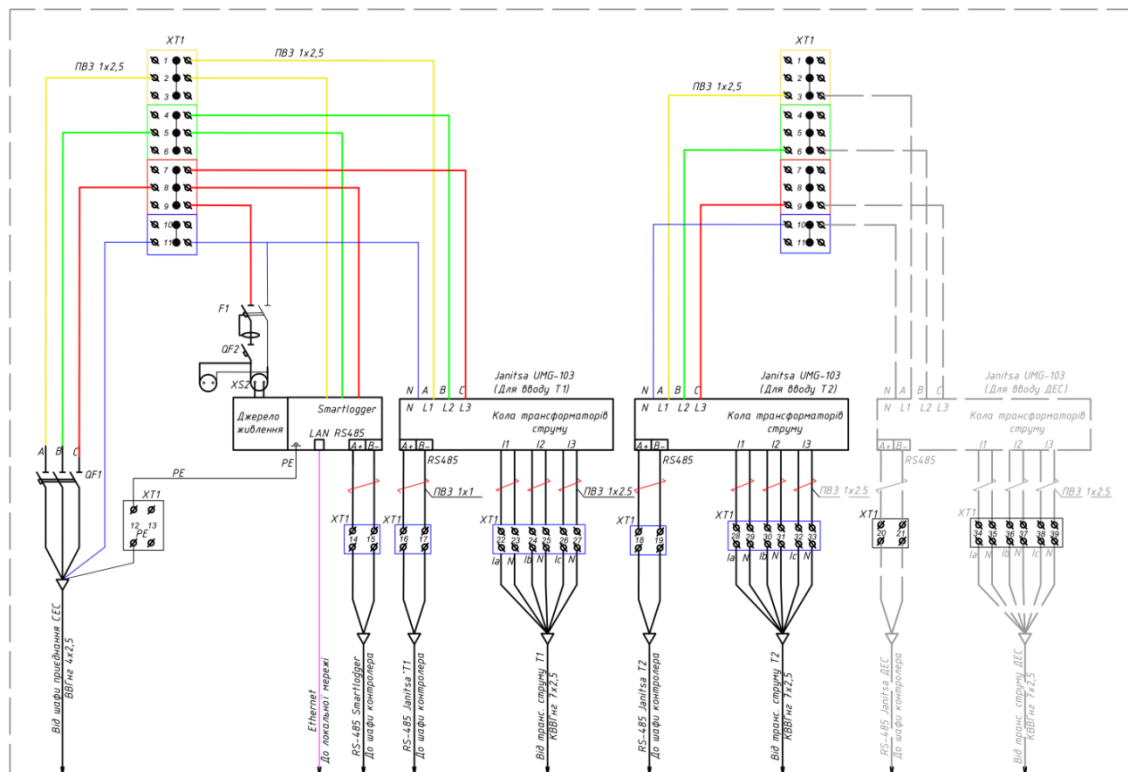


Рис. 5.11. Схема електрична підключення сонячної електростанції

5.2.5.3. Схеми електричні розташування

Схеми розташування визначають відносне розташування електричних складових частин однодвигунного та багатодвигунного електроприводів, засобів автоматизації на технологічній установці і поза нею, а при необхідності проводів, джгутів, кабелів, що з'єднують їх. Ці схеми використовують при розробці інших конструкторських документів, а також при виготовленні та експлуатації електроприводів і різних пристроїв, що управляють.

Схеми розташування електроприводів виконуються в контурі зовнішнього обрису технологічної установки без дотримання масштабу. При цьому дійсне просторове розташування складових частин електроприводу

враховується наближено або не враховується зовсім.

На цих схемах зображують прямокутниками з написами електричні машини, керовані перетворювачі і трансформатори, окремо розташовані реактори, панелі, шафи і пульти управління, датчики швидкості, положення, технологічних змінних і інші електротехнічні елементи і пристрої, а також показують розташування проводів, джгутів і кабелів, якими пов'язані складові частини електротехнічного комплексу.

Як приклад на рис.5.12 показана схема розташування шафи керування інверторами.

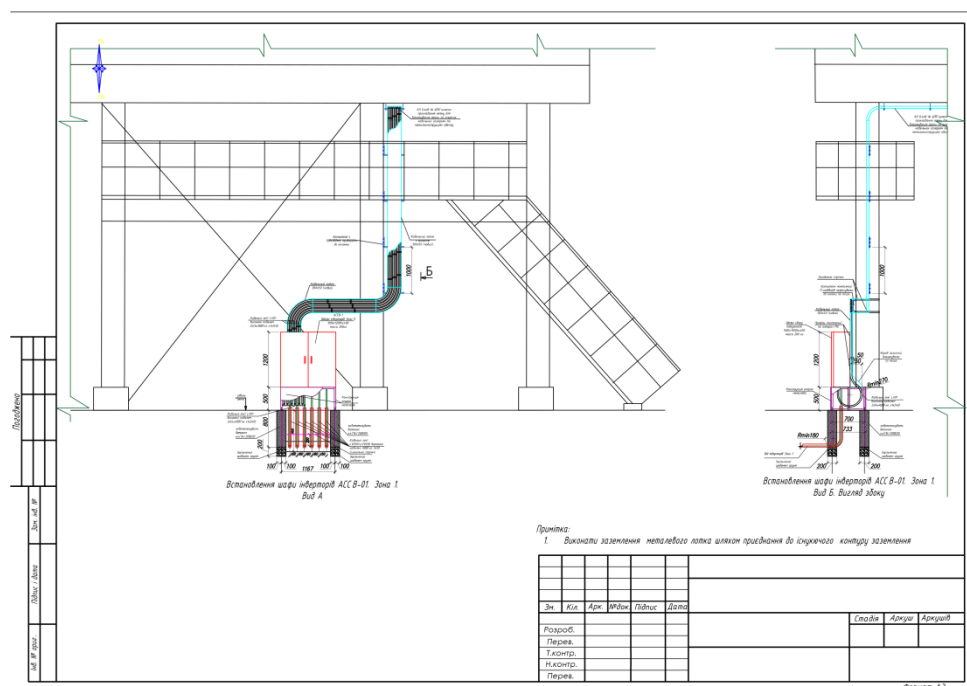


Рис. 5.12. Схема розташування шафи керування інверторами

Запитання для самоконтролю

1. На які основні типи поділяють інструментальні засоби проєктування?
2. На які основні типи поділяють програмні засоби проєктування?
3. Чим відрізняється схема електрична функціональна від структурної?
4. Чим перелік елементів відрізняється від специфікації?
5. На якій із схем елементи електроприводу можуть бути накреслені у вигляді умовно – графічних призначень?
6. На якій схемі представлені зовнішні підключення до шафи керування?
7. Для чого використовуються схеми електричні розташування?
8. Для чого використовуються схеми електричні монтажні?

Список використаних джерел

1. Drive solutions mechatronics for production and logistics. Edited by E.Kiel. – Berlin: Springer Verlag, 2008. – 542 p.
2. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Теорія і практика/ За ред. М.Г. Поповича, В.В. Кострицького. – К.: КНУТД. – 2008. – 408 с.
3. Калінов А. П. Елементи автоматизованого електропривода (навчальний посібник) / А. П. Калінов, В. О. Мельников. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О. В., 2014. – 276 с
4. Пупена О.М., І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. -К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. – 552с.
5. Регульований електропривод: підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський та ін.; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.: іл.
6. SEBoK Editorial Board. 2023. The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), v. 2.9, N. Hutchison (Editor in Chief). Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology. Accessed [DATE]. www.sebokwiki.org. BKCASE is managed and maintained by the Stevens Institute of Technology Systems Engineering Research Center, the International Council on Systems Engineering, and the Institute of Electrical and Electronics Engineers Systems Council.
7. Про архітектурну діяльність [Електронний ресурс] : Закон України від 20.05.1999 №687-XIV. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/687-14>.
8. Класифікація видів економічної діяльності ДК 009:2010 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vb457609-10#Text>.

9. Податковий кодекс України [Електронний ресурс] : Кодекс України від 02.12.2010 №2755-VI. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2755-17/print1397151710632038>

10. Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Інжиніринг інте-лектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак. Л.В. Торопова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 77 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/47302>

11. Автоматизація системи водопідготовки. URL: <https://www.omron.com.ua/ru/avtomatizaciya-sistemi-vodopidgotovki> (дата звернення: 05.11.2023).

12. Мета стандартизації та основні принципи державної політики у сфері стандартизації URL: https://protocol.ua/ua/pro_standartizatsiyu_stattya_4/ (дата звернення: 25.01.2024).

13. ДБН А.2.2.-3-2014 «Склад та зміст проєктної документації на будівництво». Чинний від 2014-06-04. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 26 с.

14. Ross, Stephen A., Randolph W. Westerfield, and Bradford D. Jordan. 2015. Fundamentals of corporate finance. 11th edition New York, NY: McGraw-Hill Professional.

15. Автоматизація виробничих процесів: підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015. — 378 с.

16. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. — К.: Аграр Медіа Груп, 2019. — 266 с.

17. Системи автоматизації інженерних розрахунків. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня

бакалавра за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / А. В. Торопов, А. В. Босак, С. Л. Прядко, Л. В. Торопова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,62 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 63 с. – Назва з екрана.

18. Кривов, Г. О. Управління проєктами у наукоємному машинобудуванні [Електронний ресурс] : навчальний посібник / Г. О. Кривов, К. О. Зворикін, С. Г. Кривова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,57 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 224 с. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/27936>

19. Аналіз розміру та частки ринку електроприводів – тенденції та прогнози зростання (2024–2029) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/electric-drives-market>. 26.08.2024

20. СОУ НЕК 03.120.4-14:2021. Норми якості електричної енергії в магістральних та міждержавних електричних мережах НЕК Укренерго. Чинний від 2021-02-03.

21. Фільтри [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://www.electronics-tutorials.ws/filter/filter_5.html. 01.09.2024

22. ДБН В.2.5-23:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Чинний від 2010-01-10.

23. РЕГЛАМЕНТ КОМІСІЇ (ЄС) 2017/1485 від 2 серпня 2017 року, що встановлює керівні принципи щодо роботи системи електропередачі [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_041-17#Text. 01.09.2024

24. ДСТУ EN 50160:2023 Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності. Чинний від 2023-12-04.

Список рекомендованої літератури

Розділ 1.

1. Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак. Л.В. Торопова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 77 с.

2. Про архітектурну діяльність [Електронний ресурс] : Закон України від 20.05.1999 №687-XIV. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/687-14>.

3. Податковий кодекс України [Електронний ресурс] : Кодекс України від 02.12.2010 №2755-VI. – Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/2755-17/print1397151710632038>

4. Ross, Stephen A., Randolph W. Westerfield, and Bradford D. Jordan. 2015. *Fundamentals of corporate finance. 11th edition New York, NY: McGraw-Hill Professional.*

5. ДБН А.2.2-3-2014 СКЛАД ТА ЗМІСТ ПРОЄКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА БУДІВНИЦТВО https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/dbn_a_2_2_3_2014/1-1-0-1168.

6. ДБН А.3.1-5-2016 ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-294>

Розділ 2.

7. Класифікація видів економічної діяльності ДК 009:2010 [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/vb457609-10#Text>.

8. Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак. Л.В.

Торопова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 77 с.

9. Пупена О.М., І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навчальний посібник. -К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. – 552с.

10. SEBoK Editorial Board. 2023. The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge (SEBoK), v. 2.9, N. Hutchison (Editor in Chief). Hoboken, NJ: The Trustees of the Stevens Institute of Technology. Accessed [DATE]. www.sebokwiki.org. BKCASE is managed and maintained by the Stevens Institute of Technology Systems Engineering Research Center, the International Council on Systems Engineering, and the Institute of Electrical and Electronics Engineers Systems Council.

11. Мета стандартизації та основні принципи державної політики у сфері стандартизації URL: https://protocol.ua/ua/pro_standartizatsiyu_stattya_4/ (дата звернення: 25.01.2024).

Розділ 3.

12. Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак. Л.В. Торопова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 77 с.

13. Чермалих, О. В. Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем. Лабораторний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студентів, які навчаються за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», спеціалізацією «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О. В. Чермалих, А. В. Босак. Д. Д. Мугенов ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 8,56 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 141 с.

15. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.

16. Калінов А. П. Елементи автоматизованого електропривода (навчальний посібник) / А. П. Калінов, В. О. Мельников. – Кременчук: Видавництво ПП Щербатих О. В., 2014. – 276 с.

Розділ 4.

17. Регульований електропривод: підручник / І.М. Голодний, Ю.М. Лавріненко, В.В. Козирський та ін.; За ред. І.М. Голодного. – К.: ТОВ "ЦП "Компринт", 2015. – 509 с.

18. Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак. Л.В. Торопова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 77 с.

19. Drive solutions mechatronics for production and logistics. Edited by E.Kiel. – Berlin: Springer Verlag, 2008. – 542 p.

20. Електромеханічні системи автоматизації та електропривод. Теорія і практика/ За ред. М.Г. Поповича, В.В. Кострицького. – К.: КНУТД. – 2008. – 408с.

21. Системи автоматизації інженерних розрахунків. Комп'ютерний практикум [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня бакалавра за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / А. В. Торопов, А. В. Босак, С. Л. Прядко, Л. В. Торопова ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 6,62 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 63 с. – Назва з екрана.

Розділ 5.

22. Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем: конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» / О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак. Л.В. Торопова; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,9 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 77 с.

23. Автоматизація виробничих процесів: підручник. / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К.: Видавництво Ліра-К, 2015. — 378 с.

24. ДБН А.2.2.-3-2014 «Склад та зміст проєктної документації на будівництво». Чинний від 2014-06-04. Вид. офіц. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 26 с.

25. Автоматизація системи водопідготовки. URL: <https://www.omron.com.ua/ru/avtomatizaciya-sistemi-vodopidgotovki> (дата звернення: 05.11.2023).

26. Шевчук, Н. А. (2019). Стартап-проєкт. Навчальний посібник до виконання розділу магістерської дисертації «Розроблення стартап-проєкту». КПІ ім. Ігоря Сікорського.

27. ДСТУ 3321:2003 «Система конструкторської документації. Терміни та визначення основних понять».

28. ДСТУ ISO 10209-1:2009 «Документація технічна на виробн. Словник термінів. Частина 1. Технічні кресленики. Загальні терміни та види креслеників».

29. Інженерна графіка: креслення, комп'ютерна графіка: Навчальний посібник / За ред. А. П. Верхоли .-К.: Каравела, 2005 .- 304 с.- Вища освіта в Україні. - ISBN 966-8019-35-0

30. ДСТУ ГОСТ 3.1102:2014 «Єдина система технологічної документації. Стадії розробки та види документів. Загальні положення».