

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

ІНЖИНІРИНГ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра
за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних
та мехатронних комплексів» спеціальності
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2021

| | |
|-------------------------|--|
| Автори: | <i>Чермалих Олександр Валентинович, к.т.н., доцент</i> <i>Данілін Олександр Валерійович, к.т.н., доцент</i> <i>Босак Алла Василівна, к.т.н., доцент</i> <i>Торопова Лілія Володимирівна, асистент</i> |
| Рецензент | <i>Побігайло В.А. – к.т.н., доц. кафедри електропостачання НН ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського</i> |
| Відповідальний редактор | <i>Лебедєв Л.М., канд. техн. наук, доц. автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів НН ІЕЕ, КПІ ім. Ігоря Сікорського</i> |

*Гриф надано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № 3 від 27.01.2022 р.)
за поданням Вченої ради НН ІЕЕ
(протокол № 5 від 29.12.2021 р.)*

ІНЖИНІРИНГ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ

КОНСПЕКТ ЛЕКЦІЙ

Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем: конспект лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для здобувачів ступеня магістр за освітньою програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / 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.

Мета і завдання навчальної дисципліни «Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем» в системі підготовки фахівця в галузі «Електроенергетика» - ознайомити студентів з основними положеннями консалтингового та інвестиційно-будівельного інжинірингу. В процесі навчання студенти вивчають основи організації проектних робіт, знайомляться з основними схемами електроприводів, прийомами організації будівельно-монтажних та пусконаладжувальних робіт при будівництві електротехнічних комплексів та мехатронних систем.

Розглянуто основні види інжинірингової діяльності, спрямовані на створення і експлуатацію електроприводів і систем автоматизації виробничих машин і технологічних комплексів. Особливу увагу приділено розрахунку і вибору засобів і систем електроприводу за допомогою імітаційного моделювання і автоматизації, розробці конструкторської і програмної документації.

Навчальне видання призначене для здобувачів ступеня магістр за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», освітньою-професійною програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів».

© О.В. Чермалих, О.В. Данілін, А.В. Босак, Л.В. Торопова, 2021
© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021

З М І С Т

| | |
|---|----|
| Розділ 1. Вступ до дисципліни «Інжиніринг електромехатронних систем»..... | 4 |
| Тема 1.1. Загальні відомості..... | 4 |
| Тема 1.2. Головні положення про інжинірингову діяльність | 4 |
| Розділ 2. Зміст інжинірингу | 7 |
| Тема 2.1. Системний інжиніринг | 7 |
| Тема 2.2. Електротехнічний інжиніринг..... | 9 |
| Тема 2.3. Інжиніринг електромехатронних систем (електроприводів і систем автоматизації).... | 11 |
| Тема 2.4. Бізнес-плани побудови нового і модернізації діючого обладнання..... | 19 |
| Тема 2.5. Міжнародні системи стандартів. Сертифікація і ліцензування. | 20 |
| Організаційні структури інжинірингових фірм. Оформлення правових відносин | 20 |
| Розділ 3. Основні положення про проектування електромехатронних..... | 27 |
| систем (електроприводів і систем автоматизації)..... | 27 |
| Тема 3.1. Основні стадії проектування. Технічні завдання. | 27 |
| Тема 3.2. Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень..... | 31 |
| Тема 3.3. Вибір електрообладнання | 34 |
| Тема 3.4. Забезпечення електромагнітної сумісності та надійності електрообладнання | 36 |
| Розділ 4. Розрахунок та вибір технічних і програмних засобів..... | 47 |
| систем електроприводів і автоматизації..... | 47 |
| Тема 4.1. Технічні засоби систем автоматизованих електроприводів..... | 47 |
| Тема 4.2. Розрахунок режимів роботи і вибір автоматизованих електроприводів | 57 |
| Розділ 5. Розробка конструкторської документації..... | 64 |
| Тема 5.1. Загальні правила виконання електричних креслень і схем..... | 64 |
| Тема 5.2. Креслення електровиробів (приклад) | 65 |
| Тема 5.3. Схеми структурні і функціональні (приклад) | 67 |
| Тема 5.4. Схеми електричні принципові | 70 |
| Тема 5.5. Схеми з'єднань, підключення та розташування..... | 74 |
| Список рекомендованої літератури..... | 77 |

Розділ 1. Вступ до дисципліни «Інжиніринг електромехатронних систем»

Тема 1.1. Загальні відомості

§1. Предмет і структура курсу, методика викладання та оцінювання знань.

Дисципліна «Інжиніринг електротехнічних та мехатронних систем» викладається для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти, за освітньою-професійною програмою «Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та мехатронних комплексів»

Структура курсу:

- кредитів - 5,0;
- загальна кількість годин - 150;
- кількість лекцій - 18 (годин 36);
- лабораторні роботи - 9 (годин 18);
- самостійна робота студентів - 96 годин;
- розрахунково-графічна робота - (годин 20);
- іспит.

Методика викладання:

- лекції - використання мультимедійної техніки;
- лабораторні роботи - розробка лабораторних комп'ютерних стендів для дослідження електромехатронних систем за допомогою імітаційних моделей на базі стартових віртуальних моделей;
- розрахунково-графічна робота - використання інжинірингових методів для синтезу конкретного об'єкта (машини або установки) як електромехатронної системи.

Оцінювання знань:

- здача лабораторних робіт;
- захист розрахунково-графічної роботи;
- іспит в кінці семестру.

Тема 1.2. Головні положення про інжинірингову діяльність

§1. Основні поняття і визначення

В енциклопедичному розумінні термін інжиніринг (від лат. Ingenium, англ. Engineering - винахідливість, вигадка, знання) - це діяльність з опрацювання питань створення в будь-якій галузі народного господарства різних об'єктів під «ключ».

Слово «інжиніринг» - нове на сьогодні в побуті на території країн СНД, однак в економічно розвинених країнах це поняття достатньо широко використовується і включає в себе, в загальному, наступне: дослідження, проєк-

тування, монтаж, наладку, гарантійне і післягарантійне сервісне обслуговування об'єкта (в нашому випадку - електромехатронної системи).

В даний час інжинірингові підрозділи мають всі великі електротехнічні корпорації, що виробляють елементи і засоби електромехатронних систем (електроприводів і систем автоматизації).

Другий термін – електромехатроніка, що включає в себе дві складові частини:

- електромеханіка (електричні машини і механічний кінематичний ланцюг з робочим органом машини);

- електроніка (напівпровідникові перетворювачі, датчики, регулятори, промислові контролери, персональні комп'ютери тощо).

Таким чином, базовими складовими електромехатронних систем є електроприводи механізмів і системи автоматизації.

У досліджуваної дисципліни розглядаються основні питання системного і електротехнічного інжинірингу електромехатронних систем, які включають в себе наступні види діяльності по створенню електроприводів і систем автоматизації для різноманітних об'єктів:

1. Маркетингові та техніко-економічні дослідження з розробки нового електрообладнання.

2. Зв'язок з розробниками технологічного обладнання, виробничих машин і механізмів.

3. Проектування і розробка конструкторської документації з комплектів електрообладнання, зв'язок з постачальниками та консультантами уніфікованих засобів систем електроприводів і автоматизації.

4. Замовлення і виробництво електроустаткування.

5. Монтаж і спостереження за монтажем електрообладнання на об'єкті замовника.

6. Навчання операторів технологічного устаткування і обслуговуючого персоналу.

7. Виконання пусконаладжувальних робіт.

8. Гарантійне і сервісне обслуговування.

9. Менеджмент на всіх стадіях створення електрообладнання.

Актуальність предметної області справжньої дисципліни визначається наступними двома основними факторами:

- електроприводи і системи автоматизації виробничих машин і технологічних комплексів значною мірою забезпечує підвищення продуктивності технологічного устаткування і якість виробленої продукції;

- застосування сучасних автоматизованих електроприводів і систем автоматизації, адаптованих до технологічних режимів роботи машин і комплексів, обумовлює істотну економію електроенергії, що сприяє зниженню собівартості продукції і енергетичних потреб підприємств.

Викладання даної дисципліни орієнтоване на допомогу в практичній роботі студентам старших курсів при виконанні курсового і дипломного проектування, магістерських робіт, а також на молодих дипломованих фахівців при адаптації їх до конкретного виду професійної діяльності по створенню і експлуатації електроприводів і систем автоматизації. Крім того, матеріал буде корисний для

фахівців, які мають намір створити свій бізнес з інжинірингу електромехатронних систем.

Професійна діяльність спеціаліста (магістра) після закінчення університету на сьогодні практично завжди є інжиніринговою і ця діяльність потребує наявності добре підготовлених з усіх питань створення електромехатронних систем фахівців для багатьох сучасних технологій.

Основні види діяльності молодих фахівців наступні:

1. Проектно-конструкторська та технологічна діяльність передбачає:

- формулювання цілей проекту (програми), критеріїв і показників досягнення цілей, побудова структури їх взаємозв'язків, виявлення пріоритетів при вирішенні завдань;
- розробку узагальнених варіантів вирішення проблеми, аналіз цих варіантів, прогнозування наслідків, пошук компромісних рішень в умовах багатокритеріальності і невизначеності, планування реалізації проекту виробу або технологічного процесу;
- використання інформаційних технологій при проектуванні і конструюванні електротехнічного обладнання і систем, а також технологічних процесів і технологічних операцій;
- розробку проектів технічних умов, стандартів, технічних описів, а також описів технологічних процесів і регламентів;
- прогнозування надійності розроблюваних виробів, систем і їх елементів з урахуванням технології виробництва.

2. Дослідницька діяльність включає в себе:

- аналіз стану і динаміки об'єктів діяльності;
- створення теоретичних моделей, що дозволяють прогнозувати властивості і поведінку об'єктів діяльності;
- розробку планів, програм і методик проведення випробувань електротехнічних виробів, систем електрообладнання та їх елементів;
- застосування методів аналізу, синтезу та оптимізації процесів забезпечення якості, випробувань і сертифікації продукції;
- розробку і використання систем автоматизованого проведення експерименту;
- використання комп'ютерних технологій моделювання та обробки результатів.

3. Експлуатаційний і сервісне обслуговування передбачає:

- розробку експлуатаційної документації;
- проведення випробувань і визначення працездатності устаткування, що ремонтується і встановленого;
- вибір обладнання для заміни в процесі експлуатації;
- керівництво проведенням робіт з технічного обслуговування електротехнічного обладнання.

4. Монтажно-налагоджувальна діяльність включає в себе:

- розробку монтажної, налагоджувальної та ремонтної документації;
- планування монтажно-налагоджувальних робіт по введенню в експлуатацію електротехнічного обладнання;
- керівництво монтажно-налагоджувальними роботами відповідно до нормативної документації;
- розробку програм і проведення приймально-здавальних випробувань електротехнічного устаткування.

При викладі матеріалу використовуються багато термінів, поняття і визначення, закріплені законами і стандартами.

Найбільш загальні з них такі:

Стадія створення - період в створенні виробу, що має свої якісні особливості.

Етап створення - частина стадії створення виробу.

Виріб - виготовлений, вироблений ким-небудь продукт (зроблена річ).

Продукція - результат діяльності, представлений в матеріально речовій формі і призначений для подальшого використання в господарських цілях; сукупність продуктів, вироблених яким-небудь підприємством.

Виробництво - процес створення матеріальних благ, робота по безпосередньому виготовленні продукції.

Завод, фабрика - виробниче підприємство.

Підприємство - виробнича або торгівельна господарська одиниця або об'єднання декількох таких одиниць, майновий комплекс.

Фірма - виробниче і (або) торгове підприємство, яке користується правом юридичної особи, під маркою якого випускаються і (або) продаються вироби.

Організація - установа, не виробниче підприємство.

Розділ 2. Зміст інжинірингу

Тема 2.1. Системний інжиніринг

§1. Об'єкти і характеристики системного інжинірингу

Об'єктами системного інжинірингу є: технологічні процеси виробництва продукції; виробничі машини і комплекси, на базі яких реалізуються технологічні процеси; електротехнічне обладнання та системи електропостачання; системи автоматизації виробництв; будівельні конструкції та приміщення.

Процес розробки і постановки виробів на виробництво передбачає наступні основні стадії:

1. Розробка, узгодження і затвердження технічного завдання (ТЗ);
2. Розробка технічної документації;
3. Виготовлення дослідних зразків (дослідних партій);
4. Випробування і приймання дослідних зразків (дослідних партій), прийняття рішення про постановку продукції на виробництво;
5. Підготовка виробництва продукції;
6. Освоєння виробництва продукції.

У стандартах визначені основні функції замовника, розробника і виробника продукції.

Замовник пред'являє розробнику вихідні вимоги до продукції, бере участь в оцінці технічного рівня і якості створеної продукції на всіх стадіях і етапах проектування.

Розробник розробляє ТЗ на основі вихідних вимог замовника, погоджує їх із зацікавленими організаціями, розробляє повний комплект технічної документації, проводить необхідні науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, а також патентні дослідження, вартісний аналіз і моделювання. При цьому в обов'язковому порядку керується нормативно-технічними документами.

Принципова особливість ТЗ полягає в тому, що воно встановлює технічний рівень, який потім повинен бути забезпечений на всіх стадіях створення продукції.

ТЗ, як правило, складається розробником, але в окремих випадках може бути розроблено замовником або спільно з ним.

ТЗ повинно містити технічні вимоги до продукції, що визначають показники її якості, експлуатаційні характеристики, вимоги до надійності, технологічності, рівню стандартизації та уніфікації, безпеки для людей і природи, а також естетичні, ергономічні вимоги та ін.

У ТЗ обов'язково повинні міститися економічні показники: ефективність, термін окупності, ціна та інші, а також повинні бути встановлені порядок контролю, випробувань, приймання готової продукції і порядок експертизи технічної документації.

Виробник узгоджує ТЗ, бере участь в розгляді технічної документації, що розробляється, проводить технологічну підготовку виробництва, забезпечує освоєння виробництва, стабільну якість продукції і випуск її в кількості, що відповідає виробничій програмі.

У разі необхідності підтвердження відповідності розробленої технічної документації вимогам технічного завдання виготовляють дослідні зразки (дослідні партії) продукції, які піддають двом видам випробувань: попереднім (заводським) та приймальним.

Попередні випробування проводяться, як правило, на заводі-виробнику з метою перевірки відповідності зразка технічним завданням, вимогам стандартів і технічної документації, виявлення можливих дефектів, недоробок технічної документації та визначення можливості пред'явлення даного зразка для приймальних випробувань.

Приймальні випробування дають можливість оцінити технічний рівень продукції і визначити можливість постановки її на виробництво.

§2. Уніфікація, агрегування і типізація в системному інжинірингу

У процесі створення нових виробів широко використовуються прийоми уніфікації, агрегування і типізації, що істотно скорочує терміни і вартість розробки, а також забезпечує відповідність вимогам стандартів.

Уніфікація - це раціональне скорочення видів, типів і розмірів виробів однакового функціонального призначення. Уніфікованим є виріб, створений на базі

декількох раніше існуючих різних його виконань шляхом приведення до єдиного виконання, що заміняє будь-яке з них.

Уніфікація дозволяє знизити вартість виробництва нових виробів, а також підвищити рівень автоматизації виробничих процесів.

Агрегативання - це метод компонування приладів, обладнання та машин з взаємозамінних, уніфікованих вузлів або агрегатів, кожен з яких представляє собою закінчений виріб, виконує певну функцію і може бути використаний при створенні інших виробів.

Агрегативання забезпечує розширення області застосування машин за допомогою заміни окремих їх вузлів і блоків (наприклад - ТРН-АД на ПЧ-АД), а також дає можливість компонування машин, приладів і обладнання різного функціонального призначення з окремих готових вузлів (наприклад - гусеничний хід: екскаватори, бурові верстати, відвалоутворювачі, перевантажувачі і ін.).

Типізація - метод, що полягає у встановленні типових об'єктів для даної сукупності систем електроприводів промислових механізмів, прийнятих за основу при створенні інших об'єктів, близьких за функціональним призначенням (наприклад - структура підлеглого регулювання в електроприводі або типова система ПЧ-АД для різних механізмів).

Тема 2.2. Електротехнічний інжиніринг

§1. Об'єкти і характеристика електротехнічного інжинірингу

Основними об'єктами електротехнічного інжинірингу є:

- електроприводи виробничих механізмів, машин і комплексів;
- електроустановки, призначені для виробництва, перетворення, трансформації, передачі і розподілу електричної енергії;
- освітлювальні прилади, мережі і т.п.

Електротехнічний інжиніринг підрозділяється на складові, які визначаються видом електроустаткування: силові, освітлювальні, ті які забезпечують електропостачання і т.д.

Проектування силового електрообладнання є найбільш ємнісним і складним внаслідок його різноманітності і, як правило, включає в себе проектування системи розподілу електроенергії від джерела живлення до споживачів. Проектування електропостачання в цьому випадку зводиться до проектування живлять мереж (наприклад - електропостачання кар'єра в цілому, а потім електрообладнання окремих машин і установок).

Проектування електроосвітлення зводиться до розрахунку та вибору електроосвітлювальних приладів і їх мереж живлення. При цьому, мережі електроосвітлення що живляться, як правило, розв'язані від живильних мереж силового електрообладнання.

Розробка окремих проектів електропостачання не виконується для дрібних підприємств, де сумарна потужність силового електрообладнання невелика. Проектування живлючих мереж поєднується в цьому випадку з проектуванням силового електрообладнання.

При виконанні проектів силового електрообладнання дотримуються наступних положень:

1. Дотримання вимог нормативно-технічних документів.
2. Забезпечення електромагнітної сумісності, надійності та зручності експлуатації електрообладнання.
3. Використання блочно-модульних принципів комплектування електрообладнання. Максимальне використання типових уніфікованих виробів, наявних на ринку електрообладнання.
4. Забезпечення на підприємствах методики виконання електромонтажних робіт, наближених до складальних робіт (наприклад - великі вузли, блоки і комплекти електрообладнання).
5. Забезпечення економічності прийнятих рішень на основі аналізу можливих варіантів (альтернатив). Вибір найбільш економічного з варіантів за основним критерієм, в разі їх рівноцінності за іншими оцінками.

Розробка проекту починається з ознайомлення з завданнями на будівельні споруди, технологічне та механічне обладнання.

Рішення основних питань при проектуванні виконується у відповідності з ТЗ в наступному порядку:

- розрахунок і вибір електрообладнання;
- вибір розподільних електричних мереж та мережі живлення;
- вибір системи управління і автоматизації;
- прийняття конструктивних рішень щодо встановлення електрообладнання, монтажу інформаційних і електричних мереж.

§2. Нормативно-технічні документи, які використовуються в електротехнічному інжинірингу

У більшості країн СНД і в Україні основними нормативно-технічними документами для електротехнічного інжинірингу є:

- державні стандарти (ГОСТи) - регламентують проектування промислових механізмів і технологічних комплексів;
- будівельні норми і правила (БНіПи) - визначають порядок створення будівельних конструкцій і приміщень, а також належних до них інженерних систем: водопостачання, водовідведення, вентиляції, кондиціонування повітря і ін .;
- правила улаштування електроустановок (ПУЕ);
- правила техніки безпеки електроустановок (ПТБ) - визначають умови, що виключають вплив небезпечних і шкідливих чинників на персонал, зайнятий обслуговуванням, експлуатацією або ремонтом електрообладнання.
- правила користування електричною енергією (ПКЕ) - регламентують взаємовідносини між енергосистемою і електроспоживачами;
- правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (ПТЕ).

Тема 2.3. Інжиніринг електромехатронних систем (електроприводів і систем автоматизації)

§1. Створення автоматизованих електроприводів механізмів, машин і комплексів на базі типових засобів

Можливі два варіанти створення автоматизованих електроприводів (АЕП):

- в складі новостворених автоматизованих технологічних комплексів;
- при реконструкції наявних механізмів, машин або установок.

Більшість завдань створення або модернізації електромехатронної системи для конкретного об'єкта можна вирішити з використанням типових уніфікованих засобів електроприводу (ЕП) і систем автоматизації (СА).

Принципи побудови сучасних автоматизованих електроприводів механізмів, машин, агрегатів і комплексів засновані на блочно-модульній ідеології і типізації структур систем управління.

Типова структура автоматизованого багатодвигунного електроприводу технологічного комплексу має вигляд представлений на рис. 1.

Розшифровка і призначення елементів:

АТК - автоматизований технологічний комплекс в цілому.

М - електродвигуни індивідуального електроприводу виконавчих органів технологічних агрегатів.

УП - силові управляючі(керовані) перетворювачі.

КП - програмовані контролери приводів.

Спільно ці три елементи (**М-УП-КП**) складають основу комплектного електроприводу - однакові модулі по структурі і призначенню.

КТ - технологічний програмуючий контролер: координує роботу приводів і механізмів, що входять до складу кожного з технологічних агрегатів.

ПО - периферійні пульти операторів: здійснюють контроль роботи окремих агрегатів і управління ними.

ПК - промисловий комп'ютер, реалізує координацію спільної роботи всіх агрегатів технологічного комплексу.

СО - станція оператора: забезпечує управління ПК.

МП - магістральний перетворювач: через нього здійснюється зв'язок АТК з розподіленою системою управління технологічним процесом.

P — потужність електричної мережі.

I — інформаційний потік.

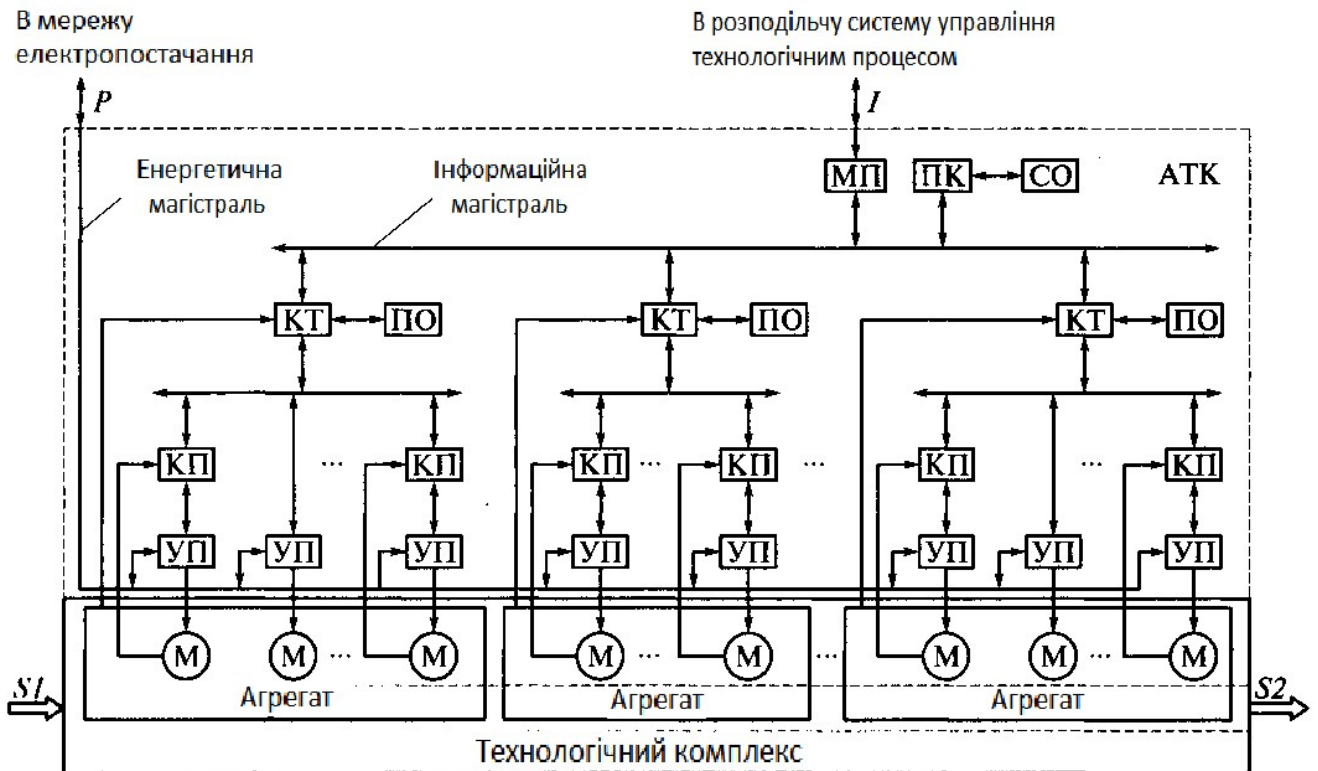


Рисунок 1 - Типова структура автоматизованого багатодвигунного електроприводу технологічного комплексу

Контролери взаємодіють через комунікаційний зв'язок, структура якого відповідно до існуючих стандартів по індустріальних мережах засобів обчислювальної техніки може бути різною.

Приклад: АТК (екскаватор - перевантажувач - магістральний конвеєр), бункер для навантаження гірської маси, диспетчерський пункт управління всім технологічним процесом (видобуток і екскавація гірничої маси, перевантаження матеріалу на магістральну конвеєрну лінію, завантаження накопичувального бункера).

Розглянемо загальні питання розрахунку вибору і проектування автоматизованих електроприводів.

Розрахунок автоматизованого електроприводу пов'язаний з розрахунком потужності електродвигуна, який виконується відповідно до режимів роботи механізмів технологічного обладнання на підставі навантажувальних і швидкісних діаграм (наприклад - тривалий, короткочасний, повторно-короткочасний і ін.).

Вибір системи електропривода проводиться відповідно до даних електромережі, потужністю, швидкістю, режимами роботи і перевантажувальної здатністю електродвигуна.

При цьому необхідно враховувати додатково два основні чинники:

- вимоги до регулювання швидкості: робочий діапазон, плавність зміни і точність підтримки заданої швидкості;
- забезпечення необхідних динамічних показників якості процесу регулювання: швидкодія, перерегулювання, час регулювання і т.д.).

На вибір системи електроприводу можуть впливати також умови пуску механізмів (наприклад, конвеєри вимагають забезпечення пуску під навантажен-

ням, а відцентрові вентилятори головного провітрювання шахт і дробарки крупного дроблення володіють значними інерційними масами).

У разі застосування асинхронних короткозамкнених двигунів або синхронних з асинхронним пуском може виявитися, що час запуску механізму неприпустимо великий і за цей час двигун перегрівається. В результаті завищення потужності і моменту обертання двигуна за умовами пуску призводить до його недовикористання в режимі робочого функціонування і погіршення енергетичних показників.

При пуску механічна частина двигуна може відчувати великі перевантаження, що буде несприятливо позначатися на її довговічності, особливо при наявності пружних елементів (канатів лебідок, конвеєрних стрічок та ін.). Внаслідок цього може виявитися необхідним застосування пристрою плавного пуску або регульованого приводу.

При аналізі можливості застосування редукторного приводу або безредукторного з тихохідним двигуном, раціональний вибір може бути виконаний на підставі техніко-економічного порівняння. При цьому повинні враховуватися не тільки різні вартості тихохідного і швидкохідного (з додатковим редуктором) двигунів, а й їх маса і габаритні розміри, що впливають на необхідні розміри приміщення, фундаменту і витрати на несучі конструкції при його розміщенні.

При номінальній швидкості виконавчого органу не менше 300 хв^{-1} кращим є безредукторний привід з прямим з'єднанням валу двигуна з валом робочої машини (насоса, вентилятора). При меншій швидкості робочого органа найчастіше редукторний привід має менші масу і габаритні розміри. Для механізмів, що не вимагають регулювання швидкості, досить порівняння тільки за цими показниками.

Для механізмів з частими пусками і реверсами важливо порівняння двигунів за динамічними показниками. Безредукторні електроприводи динамічніші і переважні для регульованих електроприводів, так як їх простіше розганяти, гальмувати, регулювати швидкість. Тому вони широко застосовуються для шахтних підйомних установок, прокатних станів та інших установок з аналогічним режимом роботи.

Перехід на безредукторні електроприводи і мехатронні модулі є перспективним напрямком розвитку приводної техніки. Особливо це відноситься до безперервно-потоківих виробництв.

При виборі системи електроприводу також обов'язковим є врахування характеру навантаження, що створює робочий механізм (спокійний, нерівномірний, пульсуючий, з піками струму і т.д.).

Вирішення питання вирівнювання моменту двигуна для регульованих електроприводів з нерівномірною або пульсуючим навантаженням виявляється досить складним, так як збільшення механічної інерції для гасіння коливань знижує їх швидкодію.

У разі наявності в навантаженні піків струму потрібна додаткова перевірка приводів за допустимим перенавантаженням.

У випадках, коли можливі перенавантаження, які не може подолати привід, необхідно передбачити відповідно налаштований захист або систему управління, що забезпечує обмеження струму і моменту двигуна, а також динамічні наванта-

ження в механічних передачах (екскаваторний електропривод) або пружних ланках (підйомні машини, стрічкові конвеєри) .

Необхідно відзначити, що сучасні проекти нового технологічного обладнання виконуються в основному з використанням систем автоматизованих електроприводів змінного струму, а частка електроприводів постійного струму в таких проектах незначна.

Проблематичніше складається ситуації в проектах з модернізації діючого обладнання. Це обумовлено тим, що в базових галузях промисловості України діюче обладнання оснащено в основному регульованими електроприводами постійного струму з застарілими засобами і системами управління. При цьому досить часто має місце високий рівень енерговитрат у технологічних процесах з глибоким регулюванням швидкості.

На сьогоднішній день існує чотири основні варіанти проектів модернізації діючого обладнання в автоматизованих електроприводах:

1. Заміна аналогових і релейно-контактних систем управління в цілому на цифрові, з використанням промислових комп'ютерів, технологічних контролерів, а також різних інтелектуальних модулів для побудови систем автоматизації.

2. Заміна в системах управління комплектними електроприводами постійного струму окремих аналогових блоків цифровими, з використанням контролерів приводу.

3. Заміна силових блоків комплектних електроприводів. При цьому електродвигуни та мережі електроживлення залишаються незмінними.

4. Повна модернізація автоматизованих електроприводів. Заміна електроприводів постійного струму електроприводами змінного струму.

§2. Аналіз і вибір оптимального варіанту системи

Процедура вибору оптимального варіанту системи управління електроприводу відповідає загальній процедурі проектування систем управління на основі системно-технічного підходу.

Проектування системи ведеться виходячи з цілей створення і вирішуваних завдань. При цьому оцінка відповідності системи поставленим цілям і завданням проводиться за критеріями її якості.

При проектуванні складних систем може існувати кілька приватних критеріїв якості, не завжди узгоджених між собою. Наприклад, необхідно спроектувати систему, що забезпечує максимальну динамічну точність відпрацювання будь-якої регульованої змінної (швидкості, моменту, продуктивності, напору, тиску і т.д.) при мінімальному електроспоживанні в перехідних і сталих режимах, мінімальної вартості і заданої надійності. Для суміщення приватних критеріїв використовують узагальнені критерії. Заданий критерій є основою для прийняття рішення при виборі структури електромехатронної системи, засобів і алгоритмів управління з безлічі існуючих варіантів.

При проектуванні електромеханічних систем узагальнені критерії складаються за частковими критеріями, що включає в себе такі оцінки, як динамічна точність і пов'язана з нею якість виробів, швидкодія і пов'язана з нею продуктивність, енергоспоживання, надійність, складність - складові

експлуатаційних показників, а також габаритні розміри, масу, умови експлуатації та ін.

При вирішенні завдань структурної оптимізації систем відповідно до узагальнених критеріїв можуть використовуватися різні методи програмування, зокрема методи, що входять в програмні пакети MATLAB і MathCad.

Для попереднього вибору варіанту системи можна використовувати спрощені методики на основі шкал оцінок (наприклад, п'ятибальною шкали), що характеризують ступінь виконання заданої властивості системи в кожному з варіантів. Якщо всі властивості системи рівноправні, рішення знаходять простим підсумовуванням оцінок (дати приклад). Якщо їх значимість різна, знаходять зважену суму оцінок з урахуванням коефіцієнтів ваги кожної оцінки (дати приклад). Після цього вибирається варіант, відповідний максимальній сумі простих або зважених оцінок.

§3. Синтез засобів електромехатронних систем (електроприводів і систем автоматизації)

Розробка засобів електроприводів і автоматизації виконується при створенні їх нових поколінь, а також при необхідності реалізації спеціальних функцій: швидкодії, надійності, перевантаження, обмеження конструктивних розмірів, обліку особливих умов експлуатації тощо. Тобто в тому випадку, коли задача не може бути вирішена типовими уніфікованими елементами.

Розвиток комплектних АЕП йде по шляху вдосконалення силових блоків і блоків управління з метою підвищення їх економічних, функціональних і експлуатаційних показників. В сучасних перетворювачах частоти знаходять широкі застосування активні випрямлячі, удосконалюються схеми з інверторами струму, застосовуються нові напівпровідникові прилади. Застосування додаткових компонентів силових блоків, забезпечує оптимальні умови електромагнітної сумісності перетворювачів частоти, як з мережею електроживлення, так і з електродвигунами.

Аналіз об'єкта управління і можливих варіантів побудови електромехатронної системи включає в себе:

1. Опис алгоритму і схеми роботи об'єкта управління;
2. Розробку технічного завдання;
3. Аналіз альтернатив побудови системи і вибір кращого варіанта;
4. Математичний опис системи управління та моделювання основних режимів її роботи;
5. Розробку загального алгоритму роботи системи;
6. Поділ функцій системи на програмно і апаратно-реалізовані;
7. Визначення вимог до мікроконтролерів, промислових ком'ютерів і інших пристроїв системи;
8. Розробку структурної схеми системи.

§4. Створення розподілених систем автоматизації

Створення систем автоматизації включає в себе: розробку, впровадження та експлуатаційний супровід. При цьому використовуються типові засоби автоматики: промислові комп'ютери, програмовані контролери, промислові термінали, мережеві засоби і ін.

Основні етапи розробки системи автоматизації, її цілі та результати наведені в табл. 1.

У таблиці використані наступні позначення:

СА - система автоматизації;

ОУ - об'єкт управління;

Д - датчик;

ВМ - виконавчий механізм;

КАЗ - комплекс апаратних засобів;

КПЗ - комплекс програмних засобів;

КАПЗ - комплекс апаратно-програмних засобів;

ПЗ - програмне забезпечення;

ЛМІ - людино-машинний інтерфейс;

ФЗ - функціональне завдання;

ТЗ - технічне завдання;

ТЕО - техніко-економічне обґрунтування.

В результаті, система управління досить просто реалізується засобами промислової автоматики із забезпеченням необхідної гнучкості і розподіленості.

Таблиця 1 - Основні етапи розробки системи автоматизації

| Основні етапи | Цілі | Результати |
|---|--|--|
| 1. Аналіз об'єкта управління | Визначення функцій СА Вироблення вимог до КАПЗ | Деталізована схема ОУ Перелік Д і ВМ (входів - виходів) Перелік ФЗ |
| 2. Розробка структури СА | Формулювання характеристик КАПЗ Аналіз і опис функціонування СА | Вимоги до алгоритмів Параметри локальної мережі СА |
| 3. Розробка схемної документації КАЗ | Оцінка вартості СА Вибір найкращих рішень Забезпечення експлуатаційної надійності СА | ТЕО розробки Схемна документація |
| 4. Визначення складу КПЗ СА | Оцінка вартості КПЗ СА Визначення взаємодії ФЗ, засобів ЛМІ | ПЗ на носії Інструкція для розробки прикладних програм Освоєння КПЗ розробниками |
| 5. Розробка і програмування алгоритмів СА | Реалізація ФЗ Забезпечення діагностики стану КАЗ | Схеми і програми алгоритмів Інструкція для користу- |

| | | |
|---|---|---|
| | Забезпечення ЛМІ | вачів і персоналу системи |
| 6. Оцінка працездатності і ефективності розроблених алгоритмів у складі КАПЗ СА | Підвищення ефективності СА Забезпечення експлуатаційної надійності СА | Інструкція по експлуатації і діагностиці СА |
| 7. Коректування КПЗ | Забезпечення експлуатаційної надійності ПЗ | Відкориговане ПЗ на носії Відкоригована документація по КПЗ СА |
| 8. Формалізація функцій персоналу, що працює в складі СА | Забезпечення ефективності застосування засобів ЛМІ Розподіл функцій персоналу і СА | Посадові і виробничі інструкції персоналу СА |
| 9. Визначення шляхів розвитку СА | Забезпечення можливості реалізації нових і розвитку діючих ФЗ Розвиток КАПЗ СА | Перелік нових ФЗ ТЗ на розробку нових ФЗ СА |

Як приклад розглянемо схему засобів сучасної системи комплексної автоматизації фірми OMRON рис.2

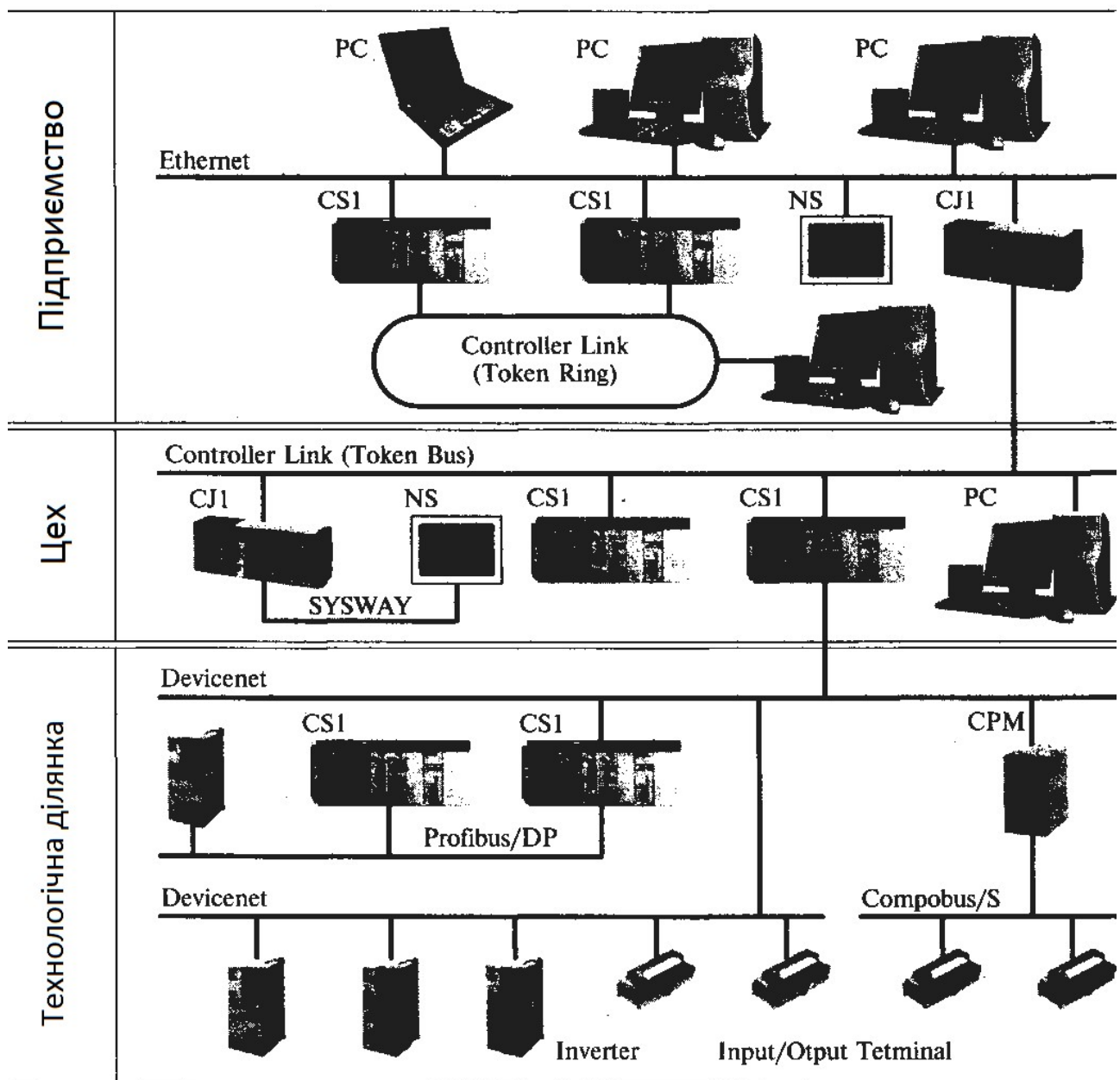


Рисунок 2 - Схема засобів сучасної системи комплексної автоматизації фірми OMRON

На рисунку позначено:

- PC** - персональний комп'ютер;
- CS1** - контролери;
- NS** - система моніторингу;
- CJ1** - контролери інтерфейсів зв'язку;
- CPM** - контролер технологічного процесу;
- Inverter** - інвертор (перетворювач частоти);
- Input / Output Terminal** - пристрої введення / виведення інформації;
- Ethernet** - інформаційна мережа;
- Controller Link (Token Bus)** - протокол зв'язку;
- SYSWAY** - системний зв'язок;
- Devicenet** - мережа пристроїв;

Profibus / DP - інтерфейс зв'язку;

Comprobus / S - інтерфейс зв'язку.

Тема 2.4. Бізнес-плани побудови нового і модернізації діючого обладнання

§1. Бізнес-план інвестиційного проекту

Бізнес-план розробляється для вирішення проблем практичної організації бізнесу конкретною фірмою. Він включає в себе ряд положень, в яких розкриваються суть діяльності фірми, потенційні можливості, політика. Бізнес-план є не тільки внутрішнім документом фірми, але також визначає привабливість фірми для отримання зовнішніх інвестицій.

Загальна структура бізнес-плану має такий вигляд:

1. Титульний лист.
2. Формулювання мети.
3. Зміст.
4. Введення або резюме.
5. Опис фірми, компанії, підприємства.
6. Опис продукції, послуги.
7. План маркетингу: оцінка зовнішнього середовища, потенційних покупців і послуг, потенційних конкурентів.
8. Комплексне дослідження ринку.
9. Стратегія маркетингу.
10. Виробничий план.
11. Схема управління фірмою.
12. Фінансові ресурси: джерела та напрямки фінансування.
13. Фінансовий план: плани прибутку і руху грошових потоків, аналіз безбитковості і порівняльний аналіз ефективності виробництва.
14. Оцінка ступеня ризику.
15. Додатки.

В інвестиційному бізнес-плані слід не тільки визначити термін окупності інвестицій і рентабельність підприємства, а й проаналізувати, як будуть змінюватися його виручка і прибуток, витрати виробництва, прибуток, фондвіддача, продуктивність праці, матеріаломісткість і ін.

§2. Маркетингові дослідження

В ході маркетингових досліджень робиться прогноз сектора ринку продажу продукції, можливих показників обсягу продажів і ціни. Потенційні покупці визначаються як в середовищі державних підприємств з використанням держзамовлення, так і в середовищі підприємств інших форм власності.

При цьому виділяють дві групи покупців:

- покупці, які постійно споживають аналогічну продукцію;
- потенційні покупці продукції що розробляється, які не задоволені рівнем ідентичної продукції, що випускається іншими фірмами (тобто вони можуть змінити постачальника).

При прогнозуванні обсягу продажу і ціни необхідно в загальному випадку враховувати наступні фактори:

1. Обсяги виробництва, імпорту і експорту продукції.
2. Структуру і ємність окремих секторів ринку.
3. Відомості про постачальників.
4. Відомості про різні групи покупців і їх переваги.
5. Вид попиту і його прогноз на майбутній період.
6. Плани розвитку фірми і її конкурентів.
7. Рівень доходів потенційних покупців.
8. Політику цін на ринку.
9. Витрати виробництва (собівартість).
10. Плани розширення продажів конкурентів.
11. Відомості про науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи, а також про модернізацію продукції.
12. Технологію виробництва, рівень якості та технологічності продукції.
13. Патенти і можливість їх порушення.
14. Успіх рекламних заходів.
15. Фінансові можливості підприємства і його конкурентів.
16. Проникнення на закордонні ринки.

Після цього необхідно розробити маркетингову стратегію і вказати рекомендований тип маркетингу.

Тема 2.5. Міжнародні системи стандартів. Сертифікація і ліцензування. Організаційні структури інжинірингових фірм. Оформлення правових відносин

§1. Міжнародні системи стандартів

Проблемою погодження різних видів людської діяльності шляхом стандартизації, в тому числі і в сфері інжинірингу електромехатронних систем, займаються міжнародні та національні професійні організації, а також фірми - виробники конкретної продукції.

Головними з них є:

- Міжнародна організація по стандартизації (МОС) - International Organization for Standardization (ISO);
- Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК) - International Electrotechnical Commission (IEC).

Є так само об'єднані технічні комітети - Joint Technical Committee (JTC).

У роботі зазначених міжнародних організацій беруть участь органи стандартизації більшості промислово розвинених країн світу, в тому числі і від України.

Стандарт - це документ, в якому з метою добровільного багаторазового використання встановлюються характеристики об'єктів технічного регулювання: продукція, правила здійснення і характеристики процесів виробництва, експлуатації, зберігання, перевезення, реалізації та утилізації, виконання робіт або надання послуг.

Стандартизація здійснюється таким чином:

1. Підвищення рівня безпеки життя і здоров'я громадян, майна фізичних та юридичних осіб, державного і муніципального майна, екологічної безпеки, безпеки життя і здоров'я тварин і рослин.
2. Підвищення рівня безпеки об'єктів з урахуванням ризику виникнення надзвичайних ситуацій природного або техногенного характеру.
3. Забезпечення науково-технічного прогресу.
4. Підвищення конкурентоспроможності продукції, робіт, послуг.
5. Раціонального використання ресурсів.
6. Забезпечення технічної та інформаційної сумісності.
7. Порівнянність результатів досліджень або випробувань, вимірювань, технічних та економіко-статистичних даних, а також взаємозамінності продукції.

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

Сертифікація - це форма підтвердження відповідності об'єктів технічного регулювання вимогам технічних регламентів, положенням стандартів і умов договорів.

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, промислово, термічну, хімічну, електричну, ядерну, радіаційну і вибухобезпечність, 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**.

Необхідно відзначити, що незважаючи на наявність своїх сертифікатів відповідності вся іноземна електротехнічна продукція, що розповсюджується на території України, проходить сертифікацію і в наших національних органах сертифікації.

§3. Ліцензування окремих видів діяльності

До ліцензованих в Україні відносяться види діяльності, здійснення яких може спричинити за собою заподіяння шкоди правам, законним інтересам, здоров'ю громадян, коли регулювання таких видів діяльності не може здійснюватися іншими методами, крім як ліцензуванням. При цьому є затверджений перелік видів діяльності, які підлягають обов'язковому ліцензуванню.

Ліцензія - це спеціальний дозвіл на здійснення конкретного виду діяльності при обов'язковому дотриманні ліцензійних вимог і умов, який видається органом, що ліцензує юридичну особу або індивідуального підприємця.

До основних ліцензійних вимог і умов відносяться:

1. Дотримання вимог нормативних правових актів України і нормативних технічних документів.

2. Наявність сертифікатів на обладнання, яке використовується при здійсненні ліцензованої діяльності.

3. Підтвердження документами наявності виробничих приміщень і споруд, що відповідають технічним нормам і вимогам експлуатації технологічного обладнання та інвентарю.

4. Наявність працівників, які мають спеціальну вищу або середню професійну освіту тощо.

§4. Організаційні структури інжинірингових фірм, їх взаємодія при реалізації великих проектів

У сучасних умовах розвитку промисловості і при наявності вільного, розвинутого ринку засобів електроприводів і систем автоматизації в Україні поширюються інжинірингові фірми, характерні для економічно розвинених країн. Ці фірми з високою ефективністю і оперативно виконують різноманітні роботи, пов'язані з електромехатронними системами і комплексами. При цьому успіх таких фірм багато в чому буде визначатися наявністю високорозвинутою організаційної структури та висококваліфікованого персоналу.

Розглянемо для прикладу організаційну структуру науково-виробничої фірми, сертифікованої відповідно до міжнародних стандартів, яка має вигляд рис.3.

Центральними підрозділами цієї фірми є два:

1. Виробничо-інжиніринговий комплекс (ВІК), очолюваний директором.

Основні завдання ВІК наступні:

- розробка проектно-конструкторської та експлуатаційної документації, програмного забезпечення контролерів, терміналів і комп'ютерних засобів автоматизації верхнього рівня;

- виробництво обладнання що розробляється, тестування і налагодження виготовленого обладнання та створеного програмного забезпечення;

- діагностика і ремонт технічних засобів автоматизації.

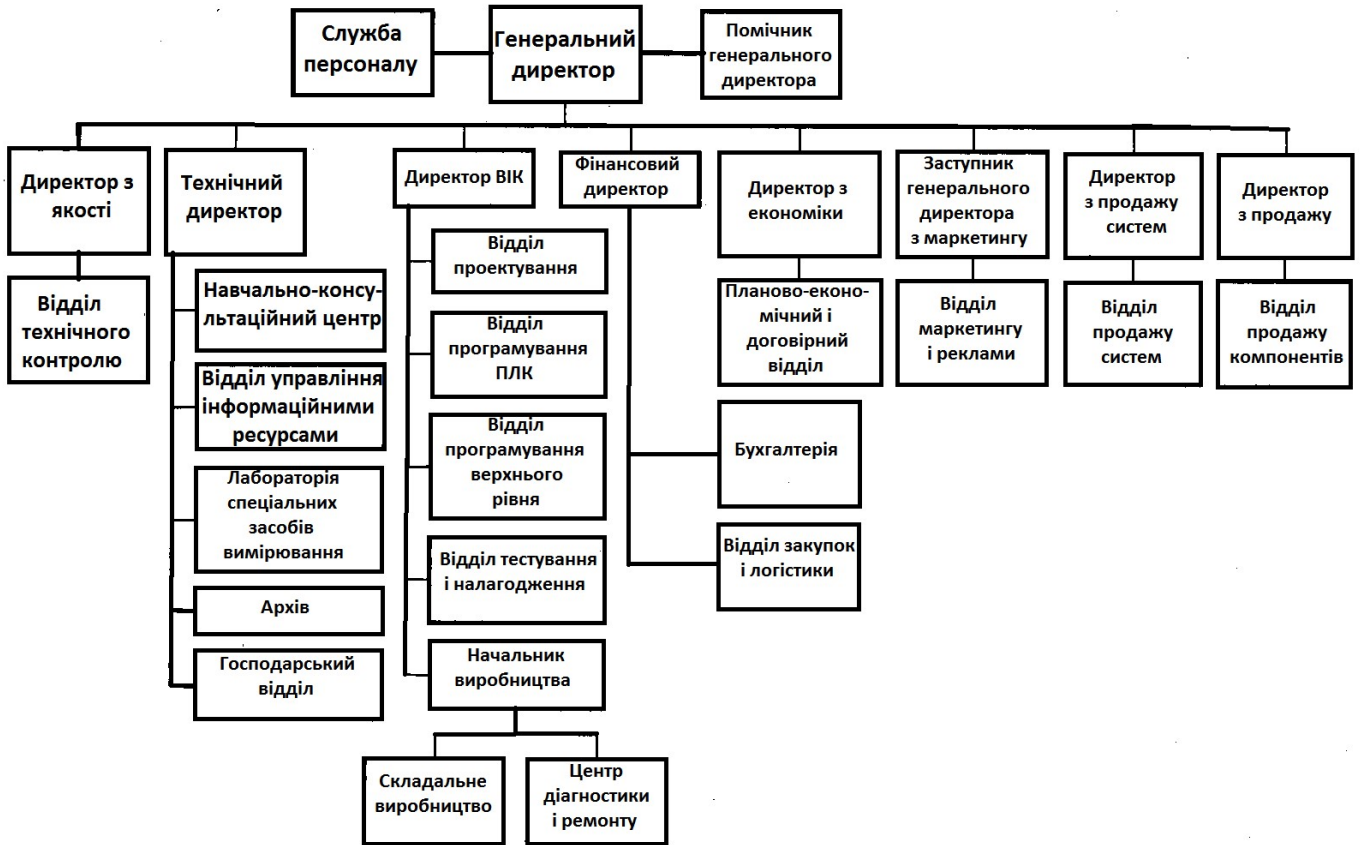


Рисунок 3 - Організаційна структура науково-виробничої фірми

2. Підрозділ управління розвитку та інновацій, на чолі з технічним директором.

Основні завдання цього підрозділу:

- розробка навчально-методичних матеріалів в галузі технічних і програмних засобів автоматизації;
- навчання і консультування клієнтів і співробітників фірми;
- науково-технічна підтримка діяльності інжинірингових підрозділів і відділів продажів засобів і систем автоматизації;
- реалізація маркетингової політики фірми;
- управління інформаційними ресурсами фірми в частині технічних засобів, програмного забезпечення і використовуваної інформації;
- створення, розвиток і підтримка комп'ютерної системи менеджменту;
- розробка нестандартних засобів і методів вимірювання;
- ведення архіву нормативних документів, технічної документації та літератури;
- ведення архіву проектної документації по завершених проектах;
- підтримку інфраструктури фірми в належному стані.

Продаж широкої номенклатури технічних засобів, консультаційну роботу з клієнтами, збір і аналіз інформації про потенційних клієнтів здійснюють спеціальні підрозділи з продажу.

Маркетингові підрозділи фірми забезпечують розробку маркетингової політики і стратегії, управління маркетинговою діяльністю, вивчення стратегічних тенденцій ринку і споживчих секторів економіки, розробку і

здійснення рекламної політики, організацію та проведення рекламно-стимулюючих заходів.

Розробкою, впровадженням та безперервним вдосконаленням системи менеджменту якості в окремих підрозділах і фірмі в цілому займається підрозділ за якістю, в складі якого є відділ технічного контролю, що виконує технічний і метрологічний контроль виробленої продукції.

Підрозділ по економіці здійснює планування і економічний аналіз діяльності та розвитку фірми, відстеження своєчасності фінансових розрахунків за договорами та юридичне забезпечення діяльності фірми.

Плануванням фінансової діяльності, розробкою і забезпеченням виконання бюджету, розробкою цінової політики, своєчасним забезпеченням фірми необхідними матеріально-технічними ресурсами займається фінансовий підрозділ. У його складі є бухгалтерія, що здійснює розрахунково-касове обслуговування та бухгалтерський облік, а також відділ закупівель і логістики, який здійснює придбання продукції, управління покупної продукції, організацією роботи з постачальниками, ефективного функціонування складу.

Як видно з організаційної структури фірми, роботою кожного підрозділу керує директор. Головним, організуючим і керуючим елементом цієї структури, є генеральний директор, якому підпорядковані директори підрозділів, а також служба персоналу. Ця служба забезпечує підбір, навчання і розвиток персоналу, організацію зовнішнього навчання відповідно до запитів підрозділів, підтримання та розвиток корпоративної культури, і інші складові кадрової політики фірми.

Дана організаційна структура є одним із засобів досягнення стратегічної мети: розвиток фірми як виробника своєї продукції, що користується довірою клієнтів і забезпечує гідний рівень життя своїм співробітникам.

Завданнями тактичного рівня є підвищення ефективності підприємства і задоволеності клієнтів, а також забезпечення впевненості нових клієнтів в можливостях фірми.

У своїй професійній діяльності співробітники керуються цілями і завданнями фірми, розпорядженнями вищестоящего керівництва, документами, введеними в дію на підприємстві, положеннями трудових договорів та посадових інструкцій. На відповідність цього оцінюється діяльність кожного співробітника фірми.

§5. Оформлення правових відносин

Договори і контракти.

Студенти старших курсів і молоді фахівці, що розпочинають свою практичну діяльність, укладають трудові договори з керівництвом фірми і можуть залучатися: до підготовки договорів; на виконання інжинірингових робіт; брати участь в оформленні ліцензійних договорів тощо.

Договір - це угода двох або декількох осіб про встановлення, зміну або припинення цивільних прав та обов'язків.

У зарубіжній практиці використовується поняття **контракт** (дослівно - угода). Це поняття вживається і в українській юридичній практиці (наприклад,

викладачі КПІ працюють за контрактом). Однак фахівці в цій області рекомендує використовувати тільки поняття договору, так як поняття угоди ширше.

Громадяни та юридичні особи вільні в укладенні договору, крім випадків, коли обов'язковість укладення договору відповідної форми передбачена законом.

Договір укладається шляхом направлення **оферти** (пропозиції укласти договір) однієї зі сторін і **акцепту** (прийняття пропозиції) іншою стороною.

Договір набуває чинності з моменту його укладення і діє до визначеного в ньому моменту закінчення виконання сторонами зобов'язань.

Договір на виконання і передачу науково-технічної продукції укладають сторони (два підприємства), іменовані «Замовник» та «Виконавець» в особах керівників цих підприємств.

Такий вид договору містить такі основні розділи:

- предмет договору;
- права, обов'язки і відповідальність сторін;
- вартість робіт і порядок розрахунків;
- зміна умов або умови розірвання договору;
- порядок здачі та приймання роботи;
- додаткові умови;
- термін дії договору;
- юридичні адреси та реквізити сторін.

Додатками до договору є: технічне завдання, календарний план і протокол угоди про договірну ціну на науково-технічну продукцію.

Охорона інтелектуальної власності в умовах конкуренції.

При виконанні науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт створюється значна частина об'єктів інтелектуальної власності, до яких відносяться наступні розробки: оригінальних елементів і систем управління, нових технічних засобів, алгоритмів управління, програмних засобів і т.п.

При цьому виникає необхідність у виборі однієї з можливих форм охорони інтелектуальної власності: отримання патенту, свідоцтва на корисну модель або документа на промисловий зразок і документальне оформлення комерційної таємниці (так зване ноу-хау).

Патент - це право на встановлену законом монополію. У конкурентному середовищі патент має велике значення. Навіть якщо конкуренти зможуть самостійно виконати аналогічну розробку, отримавши доступ до інформації про неї, вони ризикують бути покараними за порушення виняткових прав патенто-власника.

Патент видається відповідно до національного законодавства, при цьому пов'язані з ним права носять територіальний характер і географічно обмежуються рамками країни чи регіону. Таким чином, українські патенти на винахід не мають сили на території інших країн.

Якщо інтереси бізнесу виходять за межі України, виникає необхідність закордонного патентування. Права на отримання закордонних патентів українськими громадянами і юридичними особами визначаються міжнародними договорами, в яких бере участь Україна.

Об'єктами патентного права визнаються винаходи, корисні моделі та промислові зразки. На них видаються охоронні документи - патент або свідоцтво, які відрізняються лише терміном дії. Термін дії патенту на винахід - 20 років, а свідоцтва на корисну модель - 5 років. Патенти на промислові зразки діють 10 років.

Патент видається на винахід, який задовольняє наступним критеріям для отримання патенту: новизна, наявність винахідницького рівня, промислова придатність.

Об'єктами винаходу в області електроприводу і систем автоматизації є: різноманітні пристрої (перетворювачі частоти, фільтри, електроприводи, системи управління та ін.); способи управління конкретними об'єктами, автоматичної оптимізації, самонастроювання, діагностики; комп'ютерні алгоритми і програми.

В якості корисної моделі можуть охоронятися пристрої, що не володіють винахідницький рівень, або пристрої, щодо яких цей рівень важко довести. Найчастіше корисна модель використовується для охорони пристроїв, що мають короткий термін служби.

Патент на промисловий зразок не містить формулу промислового зразка і суттєво відрізняється від патенту на винахід та свідоцтва на корисну модель. Формула характеризується простим перерахуванням істотних ознак і в першу чергу ознак зразка.

Власник патенту - це власник винаходу, корисної моделі або промислового зразка, на які видано охоронні документи, володіє винятковими правами на їх використання.

У будь-якій країні захист прав та інтересів авторів і патентовласників здійснюється шляхом використання відповідних законів при зверненні до адміністративних і судових органів влади. Спільним є судовий порядок захисту прав та інтересів патентовласників

Комерційна таємниця - це особливий різновид об'єктів інтелектуальної власності. Поряд з іншими видами таємниць (державної, медичної, особистої) вона охороняється законом.

Комерційна таємниця поширюється на відомості технічного, організаційного та фінансового характеру. Наприклад, це можуть бути: винахід, на який навмисне не подана заявка, з метою уникнення його відкритої публікації; конструкторська робоча документація; формули і методики розрахунків; інструкції по налаштуванню систем управління і окремих елементів систем; методики і результати експериментальних досліджень; програмні засоби для контролерів і комп'ютерів тощо.

Захист права на комерційну таємницю здійснюється за допомогою звернення до адміністративних і судових органів.

Правові відносини на ринку інтелектуальної власності.

В умовах ринкової економіки інтелектуальна власність виступає в якості товару поряд з матеріальними об'єктами. Товаром є права на таку власність, передача яких оформляється договором. Є можливість розпорядитися інтелектуальною власністю як в формі повної поступки прав (продажу), так і в формі видачі

виключної ліцензії. Таким чином, для правовласника існує вибір - продати право на інтелектуальну власність або надати його в тимчасове користування.

При продажу правовласник повністю поступається своїми правами новому власнику і власникові виключних прав на інтелектуальну власність.

При ліцензуванні правовласник надає іншій фізичній або юридичній особі дозвіл на вчинення в певній країні в обмежений період часу дій з інтелектуальною власністю. В цьому випадку виключні права залишаються у правовласника.

Торгівля ліцензіями включає в себе: об'єкти патентного права (патенти, свідоцтва на корисні моделі та промислові зразки), а також комерційні таємниці, результати інжинірингу тощо.

Людина, яка придбала ліцензію не тільки виплачує правовласнику грошову винагороду, що визначається ліцензійним договором, але і приймає на себе зобов'язання не розкривати ноу-хау третім особам, за винятком тих випадків, коли на це є згода особи-передавача.

Розділ 3. Основні положення про проектування електромехатронних систем (електроприводів і систем автоматизації)

Тема 3.1. Основні стадії проектування. Технічні завдання.

§1. Стадії проектування і склад проектів

Розробка конструкторської документації в загальному випадку включає в себе кілька стадій: технічна пропозиція, ескізний проект, технічний проект, робоча документація.

Технічна пропозиція - сукупність конструкторських документів, які містять технічне та техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки документації виробу.

Технічна пропозиція включає в себе наступні документи: в обов'язковому порядку пояснювальну записку та відомість технічної пропозиції, а також креслення загального вигляду, схеми, таблиці, розрахунки та ін.

Ескізний проект - сукупність конструкторських документів, які містять принципові конструктивні рішення, що дають загальне уявлення про будову та принцип роботи розроблюваного виробу, а також дані, що визначають його призначення, основні параметри і габаритні розміри. Обов'язковими документами тут є пояснювальна записка і відомість ескізного проекту.

Технічний проект - сукупність конструкторських документів, які містять остаточні технічні рішення, дають повне представлення про пристрій розроблюваного виробу, і вихідні дані для розробки його робочої документації. Обов'язковими документами тут являються креслення загального вигляду, пояснювальна записка і відомість технічного проекту.

Робоча конструкторська документація - сукупність конструкторських документів, призначених для виготовлення та випробування дослідного зразка або партії виробу.

Робоча документація обов'язково містить креслення виробу, а також можливо габаритне і пакувальне креслення, технічні умови та ін.

Номенклатура конструкторських документів, що розробляються на різних стадіях проектування, представлена в таблиці (чорні кружки - обов'язкові документи, прості - залежать від виду конкретного виробу).

У комплект конструкторської документації на всіх стадіях проектної розробки обов'язково входить відомість проекту. У відомість заносять всі розроблені для даного комплекту конструкторські документи.

Номенклатура конструкторських документів

| Шифр документа | Назва документа | Технічна пропозиція | Ескізний проект | Технічний проект | Робоча документація | | | |
|------------------|------------------------------|---------------------|-----------------|------------------|---------------------|--------------------|----------|----------|
| | | | | | Деталь | Складальна одиниця | Комплекс | Комплект |
| — | Креслення деталі | | | ○ | ● | | | |
| СК | Складальне креслення | | | | | ● | | |
| ВЗ | Креслення загального вигляду | ○ | ○ | ● | | | | |
| ТК | Теоретичне креслення | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| ГК | Габаритне креслення | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| МЕ | Електро-монтажне креслення | | | | | ○ | | |
| МК | Монтажне креслення | | | | | ○ | ○ | ○ |
| ПК | Пакувальне креслення | | | | ○ | ○ | ○ | ○ |
| По ГОСТ 2.701-84 | Схеми | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ | ○ |
| — | Специфікація | | | | | ● | ● | ● |
| ПТ | Відомість | ● | | | | | | |

| | | | | | | | | |
|----|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| | технічної пропозиції | | | | | | | |
| ЕП | Відомість ескізного проєкта | | ● | | | | | |
| ТП | Відомість технічного проєкта | | | ● | | | | |
| ПЗ | Пояснювальна записка | ● | ● | ● | | | | |
| ТУ | Технічні умови | | | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| ТБ | Таблиці | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| РР | Розрахунки | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |
| І | Інструкції | | | | ○ | ○ | ○ | ○ |

§2. Технічні завдання, вимоги і умови

Найбільш важливим завданням в процесі навчання і формування фахівця є вміння розробляти і погоджувати технічні завдання (ТЗ), технічні вимоги (ТВ) і технічні умови (ТУ).

Технічне завдання розробляють на основі вихідних вимог замовника, викладених у заявці, а також на основі результатів виконаних науково-дослідних і експериментальних робіт.

ТЗ є вихідним документом для розробки продукції і технічної документації на неї. Основні розділи ТЗ наступні:

- Найменування, область застосування і підстава для розробки.
- Призначення і виконувані функції.
- Технічні вимоги.
- Економічні показники.
- Стадії і етапи розробки.
- Порядок контролю і приймання.

Технічне завдання оформляють відповідно до загальних вимог до текстових конструкторських документів на аркушах формату А4 без рамки, основного напису і додаткових граф до неї. Номери аркушів проставляють у верхній частині над текстом.

В процесі проектування ТЗ може коригуватися і уточнюватися.

Загальні правила складання ТЗ розглянемо на прикладі проектування електротехнічних пристроїв перетворювального типу.

1. Найменування - електротехнічний пристрій (**ЦЮ**). Після аналізу та опису роботи конкретизується призначення даного перетворювального пристрою.

Наприклад:

- симетричний комутатор для включення і відключення асинхронного двигуна;
- регулятор напруги з струмообмеженням і подальшим шунтуванням контактором;
- тиристорно-контакторний пусковий пристрій;
- регулятор напруги (швидкості) асинхронного двигуна;
- трифазний регулятор напруги постійного струму;
- широтно-імпульсний перетворювач;
- автономний інвертор напруги (струму);
- перетворювач частоти з безпосереднім зв'язком і т.д.

2. Призначення і виконувані функції:

- формування пускових режимів;
- обмеження пускових струмів;
- захист від перевантажень і аварійних струмів;
- регулювання кутової частоти обертання;
- забезпечення підвищеної частоти включень в годину;
- сигналізація про включений і відключений стан;
- забезпечення різних режимів управління: ручного, автоматичного, дистанційного і т.д.

3. Технічні вимоги:

- Склад і вимоги до конструктивного влаштуванню **ЦЮ**

Наприклад, автоматичний вимикач, перетворювач, блок живлення і пульт управління, розміщені в несучій оболонці, виконаної у вигляді окремого блоку.

- Показники **ЦЮ**:

- напруга живлення;
- частота з допустимими відхиленнями;
- потужність електричної машини;
- діапазон струмообмеження в пускових і гальмівних режимах;
- допустима потужність для власних потреб або споживана потужність;
- номінальна вихідна напруга, струм і частота;
- діапазон зміни вихідних параметрів і т. п.

- Конструктивні параметри:

- ступінь захисту від твердих тіл, а також від попадання води і вологи;
- обмеження за габаритними розмірами і масою відповідно до ступеня захисту;
- забезпечення підключення до мережі відповідним кабелем;
- рівень перешкод і т.п.

- Надійність:

- коефіцієнт готовності;
- середній час напрацювання на відмову;
- середній час відновлення;
- гарантійний термін експлуатації.

- Показники технологічності - питома трудомісткість, енергоємність, матеріаломісткість.

- Показники стандартизації і уніфікації визначаються обсягом застосування типових елементів, профілів і модулів.
- Патентно-правові показники.
- Ергономічні показники, які оцінюються за бальною системою.
- Вимоги або показники безпеки.

4. Економічні показники поряд з іншими показниками якості задаються у вигляді вагових коефіцієнтів, які враховуються при виборі елементів, матеріалів і несучої конструкції пристрою в процесі проектування.

Для систем електроприводу ТЗ повинно містити вимоги за системою автоматизації управління, блокувань, діагностиці, захисту (із зазначенням уставок захисту, контролю, діагностики та сигналізації, а також роду й виду сигналів захисту, контролю, діагностики, технологічних і захисних блокувань).

Технічні умови є невід'ємною частиною комплексу технічної документації та побудовані таким чином: вступна частина, технічні вимоги, правила приймання, методи контролю (випробувань, аналізу, вимірювань), транспортування і зберігання, вказівки по експлуатації (застосування), гарантії постачальника.

Тема 3.2. Техніко-економічне обґрунтування проектних рішень

§1. Життєвий цикл промислової продукції

Життєвий цикл промислової продукції незалежно від її типу і призначення має чітку послідовність стадій і етапів, яка приведена в таблиці.

Стадії і етапи життєвого циклу промислової продукції

| Стадії життєвого циклу | Етапи життєвого циклу (підрозділи, що забезпечують їх виконання) |
|--------------------------------------|--|
| Дослідження і проектування продукції | 1. Дослідження і відпрацювання задуму (науково-дослідницькі підрозділи і підрозділи перспективного планування) |
| | 2. Розробка проектної і робочої конструкторської документації дослідного зразка (конструкторські підрозділи) |
| | 3. Виготовлення і випробування дослідного зразка (дослідне і експериментальне виробництво, випробувальні підрозділи, конструкторські підрозділи) |
| | 4. Розробка робочої конструкторської документації для виготовлення продукції (проектно-конструкторські підрозділи) |
| | 5. Вивчення досліду споживання або експлуатації (науково-дослідницькі і конструкторські підрозділи) |
| Виготовлення продукції | 1. Технологічна підготовка виробництва (спеціалізовані виробництва, технологічні і конструкторські під- |

| | |
|--|---|
| | розділи) |
| | 2. Виготовлення установочної і головної контрольної серії (основне, забезпечувальне і обслуговуюче виробництво) |
| | 3. Усталене виробництво (основне, забезпечувальне і обслуговуюче виробництво) |
| | 4. Підготовка продукції до транспортування і зберігання |
| Обіг продукції | 1. Збут (збутові організації і підрозділи) |
| | 2. Зберігання (бази і склади) |
| | 3. Транспортування (транспортні і збутові підрозділи) |
| Споживання або експлуатація і утилізація продукції | 1. Цільове використання, споживання (центри технічного обслуговування, підрозділи експлуатації) |
| | 2. Обслуговування і профілактичний ремонт (центри технічного обслуговування, підрозділи експлуатації) |
| | 3. Ремонт відновлення (ремонтні підприємства і підрозділи) |

На кожному із зазначених в таблиці етапів на промислову продукцію враховуються витрати на необхідні ресурси.

Таким чином, для електротехнічної промисловості освоєння нової продукції завжди пов'язане зі значними економічними проблемами, навіть якщо залучаються кошти зі спеціальних джерел фінансування.

§2. Інвестиційні проекти. Оцінка ефективності проектних рішень

За допомогою інвестиційного проекту вирішується важливе завдання по з'ясуванню та обґрунтуванню технічної можливості та економічної доцільності створення об'єкта. В часі інвестиційний проект охоплює період від моменту зародження ідеї про створення об'єкта і до завершення його життєвого циклу. Цей період включає в себе три фази: передінвестиційну, інвестиційну та експлуатаційну.

Найбільш складним завданням є визначення прийняттого для інвестора рівня економічної ефективності інвестицій.

Проблема оцінки економічної ефективності проекту полягає у визначенні рівня його прибутковості в абсолютному та відносному вираженні, що зазвичай характеризується як норма доходу.

Оцінку ефективності в світовій практиці рекомендується проводити за системою таких взаємопов'язаних показників:

- чистий дохід - **ЧД**;
- чистий дисконтований дохід - **ЧДД** або інтегральний ефект **net present value - NPV**;
- індекс прибутковості - **ВД** або індекс прибутковості **profitability - PI**;
- внутрішня норма доходу - **ВНД** або внутрішня норма прибутку, рентабельності **internal rate of return - IRR**;

- термін окупності або термін повернення одноразових витрат - **РВ**.

ЧД = $D - P$ - це проста різниця між дохідною частиною проекту і видатковою його частиною.

ЧДД = $(D - P) / T_p$ - перевищення сумарних результатів проекту над сумарними витратами за розрахунковий період, коли проводиться ліквідація підприємства (якщо $ЧДД > 0$, то інвестиційний проект вважається ефективним і можна вирішувати позитивно питання про його прийнятті, крім того, чим більше значення $ЧДД$, тим ефективність проекту вище).

ВД = $(D - P) / K$ - відношення ефективності проекту до капіталовкладень (в цілому якщо $ВД > 1$, то проект ефективний).

ВНД - норма, при якій приведена ефективність проекту дорівнює приведеному капіталовкладенням, тобто $ЧДД = 0$.

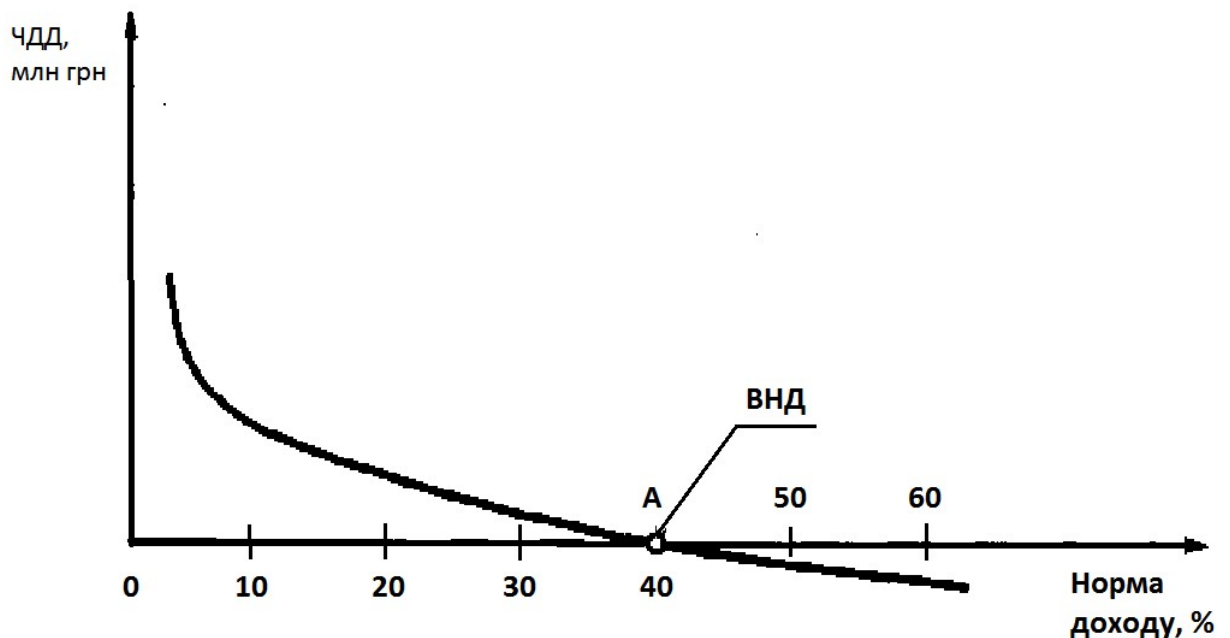
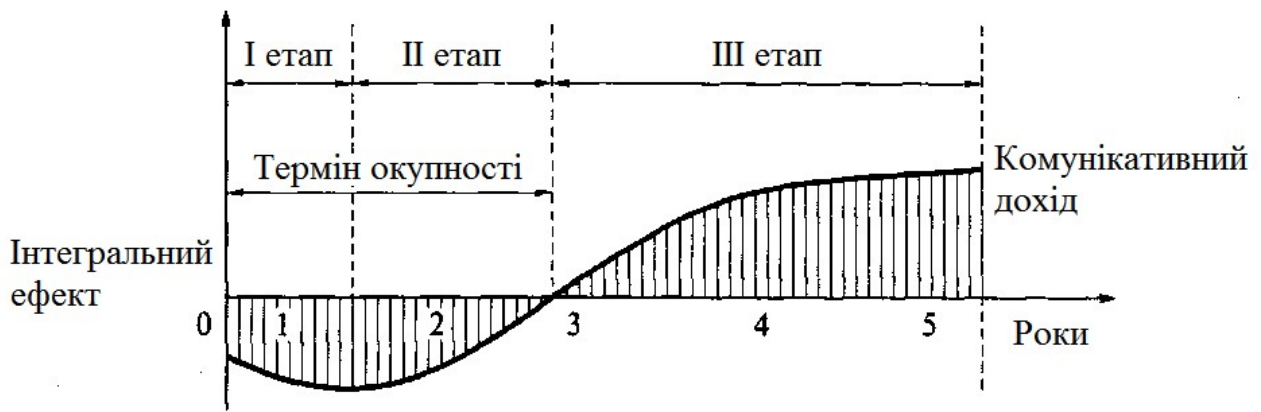


Рисунок 4 - Залежність ЧДД проекту від норми доходу

Коли **ВНД** дорівнює або більше необхідної інвестором норми доходу на капітал, інвестиції в даний проект вважаються виправданими.

Термін окупності - мінімальний часовий інтервал, коли ефективність проекту стає позитивною і залишається такого ж знака в подальшому.



I етап - інвестування виробничих затрат;
 II етап - повернення вкладеного капіталу;
 III етап - отримання доходів

Рисунок 5 - Життєвий цикл інвестицій

Крім перерахованих показників, можна використовувати і інші, характерні для конкретного проекту.

Наприклад. На сьогоднішній день має місце тенденція до застосування в різних галузях промисловості частотнорегульованих електроприводів на базі асинхронних короткозамкнених або синхронних електродвигунів.

Економічний ефект досягається за двома складовими:

- Енергозбереження в самій системі електроприводу.
- Ресурсозбереження в технологічному процесі (зменшення зносу обладнання, зниження відходів, скорочення втрат і т.п.).

Тема 3.3. Вибір електрообладнання

§1. Вибір електрообладнання відповідно до вимог по виконанню і умов експлуатації

Широке застосування електричного обладнання викликало потребу забезпечення його здатності витримувати нормальні експлуатаційні характеристики клімату тієї місцевості, для якої це обладнання призначене.

Кліматичні виконання (крім морських умов) наведені в таблиці.

У типовому позначенні електротехнічного обладнання кліматичне виконання вказує категорію приміщення, в якому допускається його експлуатація:

- 1 - експлуатація на відкритому повітрі;
- 2 - закриті приміщення, температура і вологість в яких несуттєво відрізняються від стану навколишнього повітря;
- 3 - приміщення з природною вентиляцією без штучного клімату;
- 4 - приміщення опалюються або охолоджуються і вентильовані;
- 5 - приміщення з підвищеною вологістю, де можливе тривале наявність води або часта конденсація вологи на стінах і стелі.

Приклади. 4A225M4УЗ - асинхронний двигун серії 4А з висотою осі обертання 225 мм, середньої габаритної довжини, має 4 полюса, виконання для помірної кліматичної зони, категорія приміщення 3;

ТМ-4000/10-У1 - трансформатор з природним масляним охолодженням потужністю 4000 кВА, виконання для помірної кліматичної зони, призначений для установки на відкритому повітрі.

Таблиця 2 - Кліматичні виконання електрообладнання (крім морських умов)

| Позначення виконання | | Макроклімат | Основні характеристики макрокліматичних районів | | |
|----------------------|------|---------------------------|---|---------------|--|
| Укр. | Лат. | | Середня із абсолютних температур повітря, °С | | Сполучення температур більше 20°С і вологості більше 80% 12 годин і більше за добу неперервно, міс |
| | | | Максимальна | Мінімальна | |
| П | N | Помірний | 40 або нижче | -45 або вище | Немає |
| ХЛ | F | Холодний | — | Нижче -45 | — |
| ПХЛ | NF | Помірний та холодний | 40 або нижче | Те ж | — |
| ТВ | ТН | Вологий тропічний | Вище 40 | — | Від 2 до 12 |
| ТС | ТА | Сухий тропічний | Те ж | — | Немає |
| Т | Т | Сухий і вологий тропічний | — | — | Від 2 до 12 |
| О | — | Все, окрім дуже холодно | — | -45 або нижче | Те ж |

Для оболонок електрообладнання визначені сім ступенів захисту персоналу від зіткнення з струмоведучими або рухомими частинами і попадання в нього сторонніх тіл:

0 - захист відсутній;

1 - захист від випадкового дотику людського тіла з струмоведучими або рухомими частинами, що знаходяться всередині оболонки, і попадання твердих предметів діаметром не менше 52,5 мм (захист від навмисного доступу до цих частин відсутня);

2 - захист від можливості дотику пальців людини з струмоведучими частинами, що знаходяться всередині оболонки, і попадання всередину сторонніх предметів діаметром не менше 12,5 мм;

3 - захист від зіткнення з струмоведучими частинами інструменту, дроту або інших предметів, товщина яких перевищує 2,5 мм;

4 - те ж, але з обмеженням розмірів до 1 мм;

5 - повний захист персоналу від зіткнення з струмоведучими і частинами, що рухаються і захист устаткування від шкідливих відкладень пилю;

6 - повний захист персоналу від зіткнення з струмоведучими і частинами, що рухаються і повний захист обладнання від попадання пилю.

Захист електрообладнання оболонками від попадання вологи характеризується наступними ступенями:

0 - захист відсутній;

1 - захист від крапель конденсату води, вертикально падаючих на оболонку;

2 - захист від крапель води, падаючих на оболонку, нахилена під кутом не більше 15° до вертикалі;

3 - захист від дощу, що падає на оболонку, нахилена під кутом не більше 60° до вертикалі;

4 - захист від бризок будь-якого напрямку, що потрапляють на оболонку;

5 - захист від водяних струменів, тобто води, що надходить через наконечник на оболонку в будь-якому напрямку, за умов, зазначених в ТУ;

6 - захист від впливів, можливих на палубі корабля, тобто від періодичного захльостування обладнання морською хвилею;

7 - захист від впливів, що виникають при зануренні у воду, при тиску і протягом часу, зазначених в ТУ;

8 - захист від впливів при необмежено тривалому зануренні у воду і тиску, вказаного в ТУ.

Приклади умовних позначень ступенів захисту: IP00, IP23, IP44.

IP - від *англ. International Protection*, перша цифра вказує ступінь захисту обладнання від випадкового дотику і потрапляння сторонніх твердих тіл, а друга - ступінь захисту від попадання води.

Класифікація ступенів захисту не поширюється на електричне обладнання напругою понад 1000 В, а також вибухонепроникне обладнання, проводи та кабелі.

Тема 3.4. Забезпечення електромагнітної сумісності та надійності електрообладнання

§1. Вищі гармоніки в кривих струмів і напруг і їх вплив на електрообладнання

Проблема електромагнітної сумісності електрообладнання особливо актуальна на сьогоднішній день внаслідок різкого збільшення сумарної потужності електроприводів з регулюванням частоти обертання за допомогою силових напівпровідникових перетворювачів (СНП).

При цьому, системи електроприводу і автоматизації з силовими напівпровідниковими перетворювачами і мікропроцесорними засобами управління є об'єктами, в яких найбільшою мірою проявляється проблема перешкодозахищеності в умовах потужних імпульсних електромагнітних впливів.

Електромагнітна сумісність (ЕМС) напівпровідникових перетворювачів та інших видів електрообладнання - це здатність одночасного функціонування автономних об'єктів без порушення заданих режимів роботи зі збереженням технічних і експлуатаційних режимів електрообладнання.

Розглянемо загальну схему електричної мережі рис. 6.

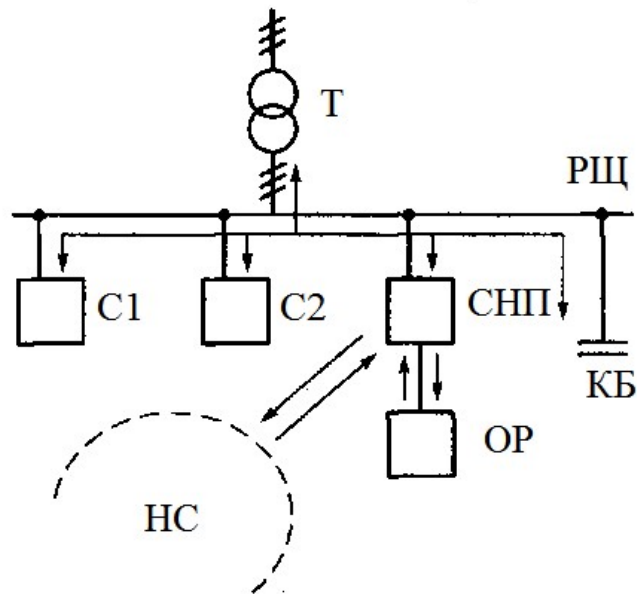


Рисунок 6 - Загальна схема електричної мережі

Схема електричної мережі містить в загальному випадку:

СНП - силовий напівпровідниковий перетворювач;

РЩ - розподільний щит (забезпечує підведення живлення);

ОР - об'єкт регулювання;

КБ - конденсаторна батарея;

Т - силовий трансформатор;

С1 - група споживачів, нечутливих до спотворень кривої напруги;

С2 - група споживачів, чутливих до спотворень кривої напруги;

НС - навколишнє середовище.

Стрілками показано вплив об'єктів електричної мережі один на одного.

З урахуванням різноманіття взаємних впливів об'єктів електричної мережі для забезпечення електромагнітної сумісності електрообладнання використовують такі заходи:

- екранування статичного перетворювача як джерела електромагнітних завад;
- захист статичного перетворювача від впливу зовнішніх перешкод;
- індивідуальний захист відповідальних споживачів;
- мінімізацію гармонійних складових напруги і струму, що генеруються в мережу.

Найбільш важливим фактором проблеми електромагнітної сумісності є генерування силовими перетворювачами вищих гармонік струму і напруги і вплив їх на якість електроенергії.

Стандарт встановлює наступні показники, які впливають на якість електроенергії:

- усталене відхилення напруги, %

$$\Delta U_{\text{уст}} = 100 (U_{\text{факт}} - U_{\text{ном}}) / U_{\text{ном}} ;$$

- усталене відхилення частоти, %

$$\Delta f_{\text{уст}} = 100 (f_{\text{факт}} - f_{\text{ном}}) / f_{\text{ном}} ;$$

- коефіцієнт небалансу лінійних напруг трифазної системи, %

$$K_{\text{неб}} = 100 (U_{\text{макс}} - U_{\text{мін}}) / U_{\text{ном}} ;$$

- коефіцієнт амплітудної модуляції лінійних напруг, %

$$K_{\text{мод}} = 100 (U_{\text{м макс}} - U_{\text{м мін}}) / (2 U_{\text{м ном}}) ;$$

- коефіцієнт спотворення синусоїдальності кривої напруги (коефіцієнт несинусоїдальності або коефіцієнт нелінійних спотворень), %

$$K_{\text{с}} = 100 (\sum U_{\text{м } i}^2)^{0,5} / U_{\text{м } 1}, \text{ де } i = 2, 3, \dots, n ;$$

- коефіцієнт пульсації напруги в мережах постійного струму, %

$$K_{\text{пул}} = 100 U_{\text{макс}} / U_{\text{ном}} .$$

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:

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

- $U_{d\text{сep}} = f(U_{d0}, \cos \alpha)$ – 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:

$$U_{n\text{ max}}^* = U_{n\text{ max}} / U_{d0} = 2 \cos \alpha [1 + (nm \operatorname{tg} \alpha)^2]^{0,5} / [(nm)^2 - 1].$$

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 $p = 6k \pm 1$ ($k = 1, 2, 3, \dots$).

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.

Розглянемо збиток від вищих гармонік напруги для електрообладнання.

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:

$$Y = Y_e + Y_i + Y_k + Y_c, \quad \text{де}$$

- Y_e — збиток, обумовлений додатковими втратами електроенергії в мережі ($Y_e = 1.5 \dots 3,0 \%$ при $K_i = 5 \%$);
- Y_i — збиток, обумовлений прискореним старінням ізоляції електричних машин і кабельних ліній (Y_i до 10% при $K_i = 5 \dots 10 \%$ і Y_i до 15% при $K_i = 10 \dots 15 \%$);
- Y_k — збиток, обумовлений впливом вищих гармонік на конденсаторні установки;
- Y_c — збиток, обумовлений помилковим спрацьовуванням пристроїв захистів і засобів автоматики.

Відзначимо, що всі складові збитку зростають зі збільшенням несинусоїдальності кривої напруги.

В електричних мережах сучасних промислових підприємств широко використовуються конденсаторні установки різного призначення, наприклад, компенсатори реактивної потужності, електричні фільтри і ін. При наявності вищих гармонік в кривій напруги на обкладках конденсатора процес старіння діелектрика протікає також значно інтенсивніше. Це явище пояснюється тим, що фізико-хімічні процеси в діелектриках, що зумовлюють їх старіння, значно прискорюються при високих частотах електричного поля.

При несинусоїдній напрузі мережі живлення зростають похибки систем захисту, індукційних лічильників, систем імпульсно-фазового управління, погіршується робота телемеханических пристроїв і т.д. Застосування додаткових технічних засобів для захисту цих систем, таких як фільтри та автономні джерела живлення, збільшує їх вартість.

Вищі гармоніки ускладнюють також використання силових кабелів в якості каналів зв'язку для телемеханических систем. Це призводить до додаткових витрат на організацію спеціальних каналів зв'язку, а в окремих випадках змушує використовувати більш дорогі пристрої телемеханіки.

§2. Способи та пристрої забезпечення електромагнітної сумісності

Технічно електромагнітну сумісність можна забезпечити різними способами:

- за допомогою мінімізації вищих гармонік напруги і струму, що генеруються перетворювачами в електричну мережу;
- зниження високочастотних коливань напруги в мережі;
- шляхом компенсації реактивної потужності;
- придушенням перешкод в каналах управління перетворювачами і т.д.

Методи і засоби забезпечення електромагнітної сумісності поділяються на два основних види: структурні і системні.

Структурні методи передбачають вплив безпосередньо на СНП. Вони полягають у виборі, побудові і оптимізації схеми перетворення і системи управління для зниження впливу перетворювача на мережу.

Структурні методи поділяються на три групи:

- схемні рішення по силовій частині, що забезпечують мінімізацію гармонійних складових напруги і струму;
- вибір оптимального способу регулювання;
- вплив на систему управління шляхом введення додаткового сигналу.

До методів першої групи в основному відносять підвищення фазності схеми випрямлення.

Методи другої групи полягають у виборі способу перетворення змінної напруги в постійну і введення спеціальних законів управління.

До методів третьої групи відносять вплив на систему управління з метою мінімізації генеруються гармонік, яке реалізується за допомогою введення зворотних зв'язків.

До системних рішень забезпечення електромагнітної сумісності відносяться:

- корекція структури електромережі;
- включення фільтрокомпенсуючих пристроїв;

- застосування в системах збудження синхронних генераторів коректорів напруги, що дозволяють стабілізувати основну гармоніку напруги (для автономних систем електроживлення).

На практиці в системах електропостачання об'єктів з потужними СНП найбільш широке застосування знайшли способи забезпечення електромагнітної сумісності, засновані на збільшенні фазності перетворювачів і застосуванні мережевих фільтрів.

Використання мережевих фільтрів є в даний час одним з найбільш перспективних способів мінімізації вищих гармонійних складових напруги в електричних мережах.

Принцип такий: для того щоб будь-яка гармонійна складова не надійшла від перетворювача в мережу, необхідно на мережевих затискачах встановити фільтр, який для цієї складової мав би опір, близький до нуля.

Електрична схема, яка пояснює такий спосіб мінімізації вищих гармонік в мережі, має вигляд:

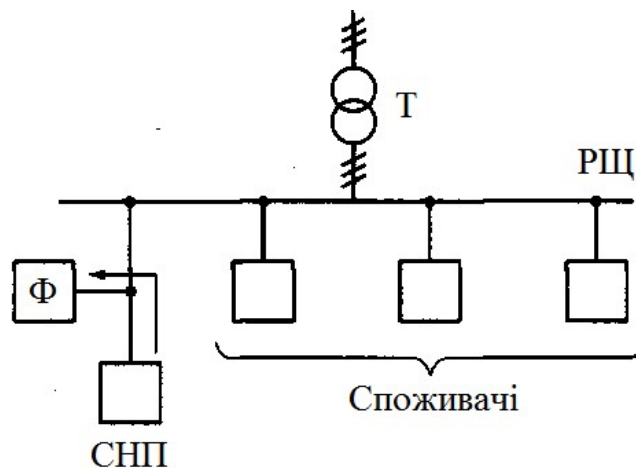


Рисунок 7 – Схема з використанням мережевого фільтру

У системах електропостачання об'єктів в даний час на території країн СНД застосовуються в основному прості режекторні фільтри, які складаються з послідовно з'єднаних конденсаторів і індуктивностей.

Регулювання параметрів індуктивностей і конденсаторів використовується поки рідко (частіше за кордоном).

Складні комбіновані фільтри, які забезпечують усунення великого числа гармонік (смугові) також в основному застосовуються за кордоном (через дорожнечу).

Мережеві фільтри розраховуються, як правило, на гармоніки 5, 7, 11, 13.

У вітчизняній промисловості мережеві фільтри проектує і виготовляє підприємство - постачальник електроприводу, до складу якого вони і входять.

Для комплектування фільтрів застосовуються конденсатори з великою одиничною потужністю 75 ... 100 кВА на напругу, відповідне номінальній напрузі мережі.

Реактори, що застосовуються в мережевих фільтрах мають нерегульовану індуктивність (ферромагнітний сердечник з робочою обмоткою).

Сучасним ефективним способом підвищення коефіцієнта потужності і зменшення коефіцієнта нелінійних спотворень є використання активних випрямлячів.

§3. Електромеханічна сумісність електродвигунів з силовими напівпровідниковими перетворювачами

Вищі гармоніки напруги викликають пульсації електромагнітного моменту електродвигунів. Це погіршує віброакустичні характеристики двигунів (збільшується акустичний шум, з'являються вібрації, можливі резонансні явища, погіршуються характеристики міцності).

Таким чином, з'являється ще одна проблема для регульованого електроприводу - необхідність забезпечення електромеханічної сумісності перетворювачів і електричних машин.

Під впливом несинусоїдальної напруги в обмотці статора двигуна протікає струм, який крім основної гармоніки містить і вищі гармонійні складові.

В результаті, в повітряному зазорі електродвигуна присутні рухомі магнітні поля. Швидкість і напрямок обертання цих полів визначаються номером гармоніки.

Тому і в роторі виникають обертові з відповідними кутовими швидкостями магнітні поля.

Таким чином, в асинхронному двигуні мають місце електромагнітні моменти двох видів - постійні і коливальні.

Постійні електромагнітні моменти виникають при взаємодії магнітних полів статора і ротора одного порядку (наприклад, 1-ої гармоніки статора з 1-ою гармонікою ротора або 5-ої гармоніки статора з 5-ою гармонікою ротора).

Колівальні електромагнітні моменти виникають в результаті взаємодії магнітних полів статора і ротора, що мають різний порядковий номер (наприклад, 1-ої гармоніки статора з 1-ою гармонікою ротора або 5-ої гармоніки статора з 5-ою гармонікою ротора).

Крім того, коливальні електромагнітні моменти виникають при взаємодії магнітного поля основної гармоніки з магнітними полями вищих гармонік.

У регульованих електроприводах постійного струму, в яких двигуни отримують живлення від перетворювачів, напруга, що підводиться до якірних затискачів, являє собою суму постійної і гармонійних складових.

Тому і в електродвигунах постійного струму також виникають коливання електромагнітного моменту.

Механічні коливання обертових частин двигуна, що виникають через наявність коливальних електромагнітних моментів, незначні і в звичайних умовах їх можна не враховувати.

Виняток становлять випадки, коли двигун використовується при частотах обертання, що становлять кілька оборотів в хвилину і нижче, а також випадки, коли необхідно дуже точне регулювання.

Якщо частота коливального крутного моменту стає рівною власній частоті коливань системи двигун-механізм, настає явище резонансу. Виникає сильний шум і вібрації, можливі механічні ушкодженнями.

У таких випадках обов'язково необхідно враховувати і забезпечувати електромеханічну сумісність перетворювача і електродвигуна.

Розглянемо способи і пристрої забезпечення електромеханічної сумісності.

Способи мінімізації шкідливого впливу вищих гармонійних складових напруги на характеристики електродвигунів підрозділяються на наступні групи:

- застосування фільтруючих пристроїв;
- використання схемотехнічних рішень при розробці перетворювачів;
- реалізація спеціальних законів управління перетворювачами;
- прийняття спеціальних конструкторських рішень при проектуванні електричних машин.

Залежно від типу електроприводу, тобто від роду струму, перераховані способи забезпечення електромеханічної сумісності реалізуються по-різному.

В сучасних автоматизованих електроприводах постійного струму в якості пристроїв управління широко застосовуються керовані випрямлячі (КВ) і широтно-імпульсні перетворювачі (ШІП).

Для таких перетворювачів характерна періодична пульсуюча крива напруги на виході.

Основних вимог до фільтрів для зменшення пульсацій два:

- фільтр не повинен суттєво змінювати режим роботи перетворювача;
- фільтр повинен забезпечувати задану за умовами електромеханічної сумісності ступінь згладжування напруги на навантаженні в усіх обговорених режимах роботи електроприводу.

Для збільшення ефективності фільтруючих пристроїв і збільшення коефіцієнта згладжування на практиці використовують багатоланкові фільтри. Коефіцієнт згладжування таких фільтрів дорівнює добутку коефіцієнтів окремих ланок.

Для забезпечення електромеханічної сумісності перетворювача та двигуна без застосування фільтруючих пристроїв необхідно використовувати перетворювачі з підвищеними значеннями частот першої гармоніки вихідного напруги.

При використанні в електроприводі в якості перетворювача керованого випрямляча доцільно застосовувати багатотактного схеми випрямлення.

Якщо в якості перетворювача використовується широтно-імпульсний модулятор, то з метою збільшення частоти пульсацій вихідної напруги, необхідно підвищувати частоту комутації силового ключа.

Для забезпечення електромеханічної сумісності електрообладнання, що входить до складу електроприводу змінного струму на основі автономного інвертора з широтно-імпульсною модуляцією, слід встановлювати як можна більш високу частоту модуляції.

Додаткові втрати потужності від вищих гармонік в двигуні зі збільшенням частоти зменшуються.

У перетворювачах ж при збільшенні частоти модуляції збільшуються втрати на комутацію в ключах, а також втрати в ланках комутації.

Отже, при проектуванні регульованих електроприводів з перетворювачами на основі інверторів з широтно-імпульсною модуляцією велике значення має

вибір оптимального значення частоти модуляції, яка для сучасних перетворювачів становить 4 ... 20 кГц.

Основний критерій - мінімальне значення сумарних втрат в електроприводі (двигун + перетворювач).

§4. Основні поняття і завдання забезпечення надійності електроприводів і систем автоматизації

Питання забезпечення надійної роботи електроприводів і систем автоматизації є основоположними при проектуванні і створенні. Повною мірою це відноситься до електроприводів і систем автоматизації.

Особливістю таких об'єктів є вимога забезпечення їх певного ресурсу, можливості і необхідності проведення регламентних і ремонтних робіт. Таким чином, це обладнання, як правило, відноситься до відновлюваного.

Надійність - комплексна властивість, яка включає в себе безвідмовність, довговічність, ремонтпридатність і збереженість. В електроенергетиці і електромеханіці ще додається: готовність, живучість і безпека.

Безвідмовність - властивість об'єкта безупинно зберігати працездатний стан протягом певного часу.

Працездатність - стан об'єкта, при якому значення всіх параметрів відповідають необхідним, розрахунковим.

Напрацювання - тривалість або обсяг роботи об'єкта в нормальному режимі функціонування.

Довговічність - властивість об'єкта зберігати працездатність до настання гранично можливого стану.

Граничний стан - коли подальше застосування об'єкта за призначенням неприпустимо чи недоцільно або відновлення його неможливо або невигідно.

Ремонтпридатність - властивість об'єкта шляхом технічного обслуговування попереджати, виявляти і відновлювати працездатність.

Відмова - перехід об'єкта з одного рівня працездатності на інший, більш низький. Відмови бувають повні і часткові.

Збереженість - властивість об'єкта зберігати значення всіх розрахункових показників протягом і після зберігання, а також транспортування.

Готовність - властивість об'єкта виконувати свої основні функції в будь-який момент часу.

Живучість - властивість об'єкта протистояти зовнішнім і внутрішнім збурень, не допускаючи скорочення функціонування нижче необхідного рівня

Безпека - властивість об'єкта не створювати небезпеки для людей і навколишнього середовища у всіх можливих режимах роботи і аварійних ситуаціях

Показники надійності наступні:

- Можливість відмови $Q(t_p)$ і ймовірність безвідмовної роботи $P(t_p)$ за за-даний час t_p ;
- Можливість відновлення $P(t_z)$ за заданий час t_z ;
- Можливість знаходження об'єкта в будь-який момент часу в стані працездатності (характеризується коефіцієнтом готовності K_g) або стану непрацездатності (характеризується коефіцієнтом простою q_{ab});

- Умовна ймовірність $Q (s / i)$ відмови об'єкта s при виникненні події i (наприклад, відмова пристрою захисту при пошкодженні обладнання).

На підставі ймовірних показників надійності можуть бути визначені критерії вибору найбільш надійних варіантів.

Наприклад, $P (tp) < P (tp)_{ном}$ - умова бракування, а $P (tp) \rightarrow max$ - умова вибору.

Надійність як властивість конкретного об'єкта виконувати задані функції часто характеризують послідовністю напрацювань на відмову t_i .

Виділяють електротехнічні об'єкти високої, середньої і низької надійності.

Об'єкти високої надійності - забезпечують високий рівень безвідмовності (ймовірність відмови за весь термін служби менше 10⁻⁶).

Об'єкти середньої надійності мають невисоку кратність резервування, тому не виключені їх відмови в процесі роботи, однак їх може і не бути.

Об'єкти низької надійності не мають додаткових елементів для підвищення надійності. Тому для таких об'єктів відмови - масові явища, ймовірність виникнення яких протягом року близька до одиниці.

Показники надійності елементів електроустановок оцінюються середніми значеннями і середньоквадратическими похибками.

Час роботи електротехнічних установок ділять на три періоди.

Перший період називають періодом підробітки, коли виходять незабаром після початку експлуатації з ладу завжди наявні вироби з прихованими дефектами.

Другий період називають періодом нормальної роботи, коли відмови вироби досить рідкісні і викликаються чисто випадковими обставинами.

Третій період - це період старіння, коли незворотні явища призводять до погіршення всіх показників функціонування об'єкта і цей процес стає непереборним.

§5. Оціночний розрахунок елементів електрообладнання

Розрахунок надійності полягає у визначенні показників надійності пристрою. Для цього складають логічну модель безвідмовної роботи пристрою.

Система вважається працездатною, якщо всі елементи справні, а відмови випадкові і незалежні. При таких умовах вихід з ладу будь-якого з елементів означає відмову всієї системи.

Таким чином, логічна модель надійності пристрою складається з послідовно включених елементів N , кожен з яких має ймовірність безвідмовної роботи $P (t)$.

Мета проведення попереднього розрахунку надійності електрообладнання - визначення елементів, схильних до відмов в найбільшій мірі. Після цього розробляються пропозиції щодо підвищення надійності цих пристроїв відповідними методами і способами.

Послідовність оцінки рівня надійності пристрою:

1. Визначити інтенсивності відмов елементів з урахуванням умов експлуатації пристрою:

$$\lambda_i = \lambda_{0i} k_1 k_2 k_3 k_4 \alpha_i (T, k_H), \text{ де}$$

- λ_{0i} – номінальна інтенсивність відмов елементів;

- k_1 и k_2 – поправочні коефіцієнти на вплив механічних чинників;
- k_3 – поправочний коефіцієнт від впливу вологості і температури;
- k_4 — поправочний коефіцієнт на тиск повітря;
- $\alpha_i (T, k_n)$ – поправочні коефіцієнти від температури поверхні елементів (T) і коефіцієнта навантаження (k_n).

2. Розбити всі елементи пристрою на групи з приблизно однаковими значеннями інтенсивності відмов.

3. Знайти добуток числа елементів N_i , кожної групи на інтенсивність відмов λ_i .

4. Розрахувати інтенсивність відмов пристрою за формулою

$$\Lambda = \sum N_i \lambda_i, \text{ где } i = 1, 2, \dots, n \text{ – число груп.}$$

5. Визначити середній час напрацювання пристрою до першої відмови

$$T_{cp} = 1/\Lambda.$$

6. Розрахувати ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого напрацювання за формулою

$$P(t_p) = \exp(-\sum N_i \lambda_i t_p).$$

Вимоги надійності вважаються виконаними, якщо середній час напрацювання пристрою на відмову відповідає заданим в ТЗ.

Розглянутий метод розрахунку надійності є універсальним і спрощеним. В основі лежить експонентний закон розподілу відмов елементів.

Слід зазначити, що для систем електроприводу і автоматизації основним показником надійності є коефіцієнт готовності, а основним методом забезпечення надійності - зниження часу відновлення після можливих відмов.

§6. Розрахунок надійності виробів з урахуванням надійності програмних засобів

Можливі два варіанти такого розрахунку.

Перший варіант є орієнтовним. У схему розрахунку надійності виробу включається фіктивний блок - «програмний виріб» з характеристиками надійності, отриманими або з його паспортних характеристик, або з результатів перевірки і випробувань. Орієнтовним цей розрахунок є тому, що виявлені під час перевірок та випробувань помилки програми, як правило, усуваються, а прогнозувати очікувані відмови вельми складно.

Другий варіант - це розрахунок надійності виробу з урахуванням впливу відмови програм, виявленого на етапі спільних випробувань апаратури і програм.

Як показники надійності частин складного виробу (об'єкта, системи) використовуються програмно-апаратурні показники надійності, тобто показники надійності частин цього виробу, керованих реальною програмою.

Такий розрахунок набуває характеру розрахунку функціональної надійності, так як показники в цьому випадку визначаються для кожної з виконуваних функцій.

Розділ 4. Розрахунок та вибір технічних і програмних засобів систем електроприводів і автоматизації

Тема 4.1. Технічні засоби систем автоматизованих електроприводів

§1. Керовані перетворювачі для низьковольтних систем електроприводів і їх компоненти

Перетворювачі змінного струму випускаються сучасною електротехнічною промисловістю в двох основних конструктивних виконаннях:

- у вигляді перетворювачів частоти, що живляться від мережі змінної трифазної напруги (безпосередні перетворювачі частоти);
- у вигляді автономних інверторів напруги, що живляться від мережі постійної напруги (перетворювачі з проміжною ланкою постійного струму).

Перетворювачі частоти другого типу включають в себе: блок силового випрямляча, ланка постійного струму і автономний інвертор напруги.

Як правило, перетворювачі частоти застосовуються в системах однодвигунного приводу. Якщо кілька автономних інверторів напруги отримують живлення від загального блоку випрямлення, то можуть бути реалізовані економічно ефективні системи багатодвигунного приводу.

Перетворювачі частоти і автономні інвертори напруги використовують для управління як асинхронними, так і синхронними двигунами.

На сьогодні область застосування частотно-регульованих електроприводів змінного струму охоплює практично всі електротехнічні установки в промисловості, сільському господарстві, військовій сфері.

Залежно від області застосування приводів змінного струму провідні фірми-виробники перетворювальної техніки пропонують їх спеціалізовані серії, які часто називають об'єктно-орієнтовані електроприводи (приклад).

Для вирішення завдань автоматизації простих виробничих механізмів, а також типових об'єктів міського, житлово-комунального господарства застосовують приводи загального призначення - стандартні. У зв'язку з гострою конкуренцією в цьому секторі на ринку сьогодні в основному представлена продукція тільки найбільших електротехнічних корпорацій (назви). Це пов'язано з тим, що у таких фірм є можливість зниження вартості своєї продукції за рахунок великих обсягів виробництва і виходу на міжнародні ринки збуту.

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 (карт). Значну частку в цьому сегменті на ринку сьогодні займає фірма Сіменс.

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

Розглянемо загальну типову структуру системи управління сервоприводом (рис.8).

Є три контури регулювання: контур струму / моменту, контур швидкості і контур положення (коментар).

Залежно від розв'язуваної задачі сигнал управління може бути поданий в необхідний контур від зовнішньої системи управління (наприклад, числового програмного пристрою - ЧПУ, програмованого контролера і т.п.).

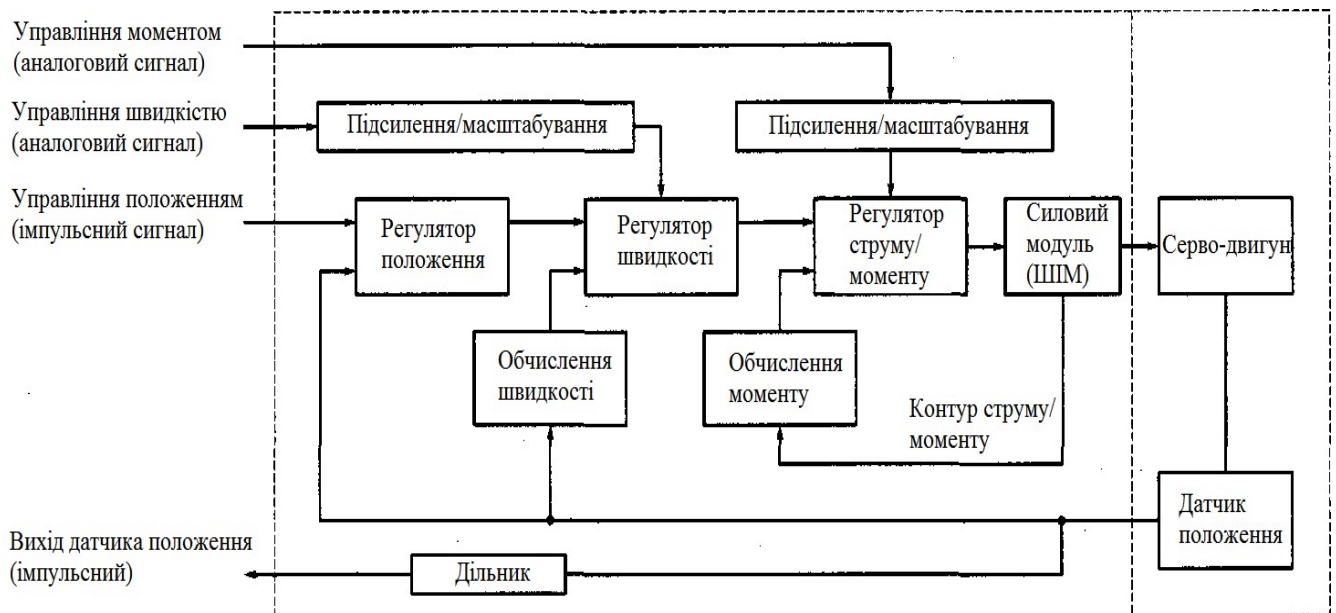


Рисунок 8 - Загальна типова структура системи управління сервоприводом

§2. Високовольтні електроприводи

Основні області застосування високовольтних приводів наступні:

- насосні станції і системи тепlopостачання будівель і споруд (насоси для подачі і розподілу питної води, циркуляції теплоносія);
- нафтова і газова промисловість (насоси та компресори);
- машинобудування (вентилятори, насоси, приводи з постійним моментом навантаження);
- харчова промисловість (насоси, тістомісильні машини, млини);
- суднобудування (приводи головних, допоміжних гребних гвинтів і підрулюючих пристроїв);
- цементна промисловість (стрічкові транспортери, повітрорудувки і дробарки);
- кар'єрні установки (стрічкові конвеєри, екскаватори, дробарки);
- підземні гірничі виробки (транспортерні машини, рудничні вентилятори);
- силові установки підприємств енергопостачання (насоси, вентилятори, вугледробарки);
- паперова промисловість (млини, насоси).

У вітчизняній промисловості найбільшого поширення набули асинхронні і синхронні електродвигуни з номінальною напругою живлення 6 і 10 кВ.

На ринку регульованих високовольтних електроприводів представлені кілька типових схем реалізації системи ПЧ-АД на 6,0 кВ.

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

Система включає в себе наступні компоненти:

- силовий вимикач середньої напруги, керований від перетворювача частоти;
- вхідний узгоджувальний триобмотковий трансформатор з вторинними обмотками, зсунутими один щодо одного на кут 30 ел. град .;
- 12-пульсний некерований випрямляч, що складається з двох діодних 6-пульсних мостів;
- ланка постійної напруги зі згладжуючими конденсаторами і вимірювальним перетворювачем (датчиком) постійної напруги;
- автономний інвертор з вимірювальними перетворювачами (датчиками) вихідного струму і напруги інвертора;
- високовольтний асинхронний двигун.

Для управління частотою обертання двигунів на 6,0 кВ з квадратичним (вентиляторним) моментом навантаження на валу додатково використовується підвищувальний вихідний синусоїдальний фільтр.

Можлива комплектація 24-пульсним блоком вхідного випрямляча.

Цифрова система управління перетворювача включає в себе алгоритм векторного керування.

Стійке регулювання вихідної частоти забезпечується в діапазоні 10: 1.

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 в даний час вважається наступна схема (Мітсубіші) побудови високовольтного перетворювача: вхідний трансформатор, багаторівневий інвертор, система управління.

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.

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

Зниження вартості досягається застосуванням двохтрансформаторної схеми: понижуючий трансформатор - випрямляч - ланка постійного струму з фільтром - автономний інвертор - підвищувальний трансформатор - високовольтний двигун.

Такий варіант дозволяє використовувати для регулювання частоти досить дешевий низьковольтний перетворювач.

Такі двотрансформаторні перетворювачі відрізняють відносна дешевизна і простота практичної реалізації, 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.

§3. Електродвигуни і мотор-редуктори

Електродвигуни. Найбільшого поширення в електроприводах змінного струму отримали низьковольтні асинхронні двигуни з коротко-замкненим ротором. Вони мають високу надійність, простотою експлуатації, порівняно низькою вартістю і хорошими регульовальними властивостями при роботі від перетворювача частоти.

Останнім часом має місце тенденція до застосування синхронних двигунів з постійними магнітами.

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 гальмівні стоянки. 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.

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.

§4. Комутаційна і захисна апаратура, дроселі та фільтри

Комутаційна і захисна апаратура, дроселі та фільтри призначені для:

- усунення небажаного впливу перетворювача частоти на двигун і мережу живлення;
- захисту перетворювача частоти і живильних кабелів;
- аварійного відключення перетворювача і двигуна від силового живлення.

Загальна схема підключення комутаційної і захисної апаратури, дроселів і фільтрів для частотно-регульованого електроприводу має вигляд представлений на рис. 9.

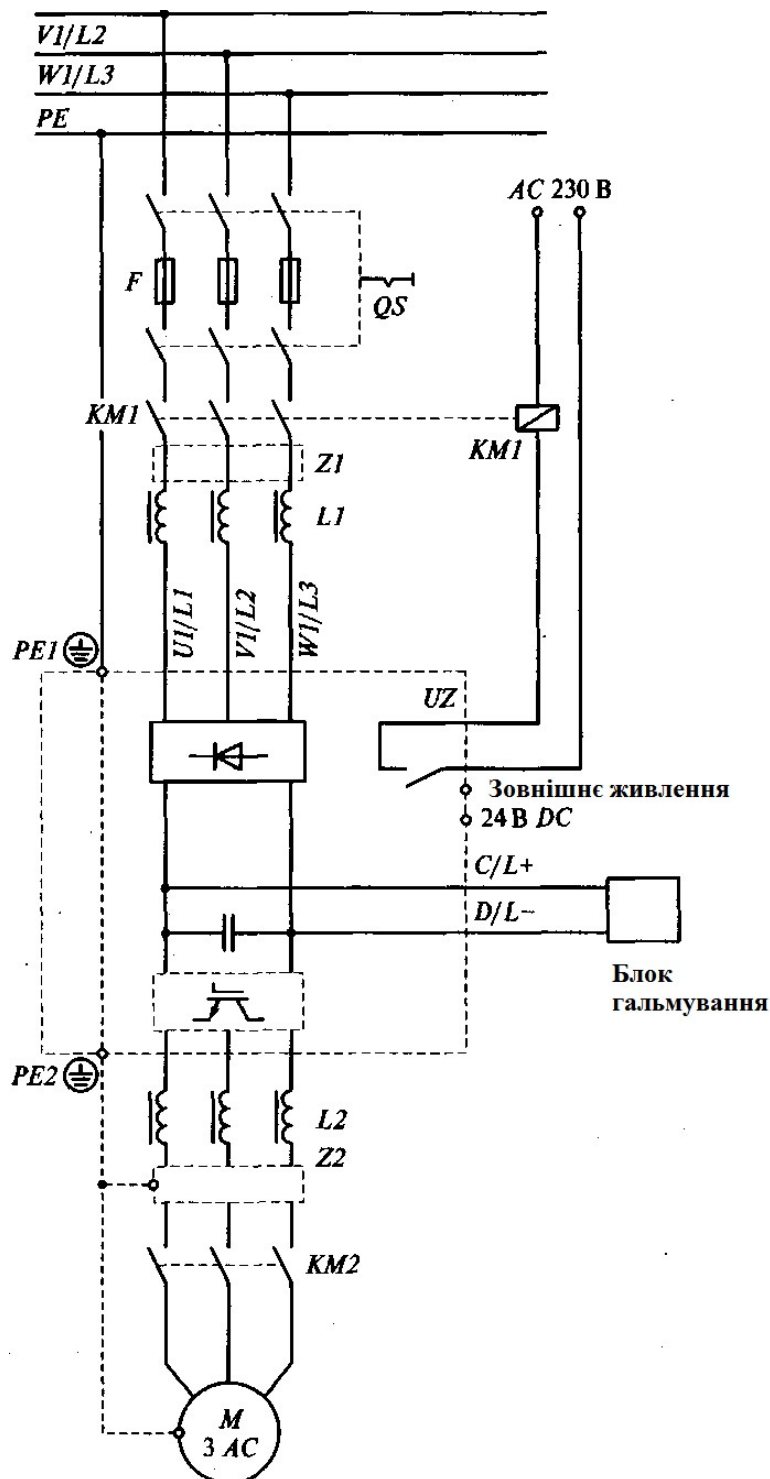


Рисунок 9 - Загальна схема підключення комутаційної і захисної апаратури, дроселів і фільтрів для частотно-регульованого електроприводу

Вибір апаратів захисту для перетворювачів частоти 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 - трьохполюсний роз'єднувач з трьома запобіжниками **F**, які захищають систему від КЗ і перевантажень.

Мережевий контактор **KM1** забезпечує функцію аварійної зупинки електроприводу, а також може використовуватися для безпечного його відключення.

Вибір мережевого контактора слід проводити за номінальним вхідним струмом перетворювача. Не рекомендується використовувати контактор для управління пуском / зупинкою приводу під навантаженням. Це призведе до небажаного зносу контактора, а також збільшить 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.

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, що постачає інвертор постійною напругою, живиться від блоку випрямлення або блоку випрямлення / рекуперації.

Вихідні дроселі **L2** компенсують ємнісні струми в довгих кабелях.

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.

Типова схема електричного підключення інвертора до ланки постійного струму має вигляд представлений на рис. 10.

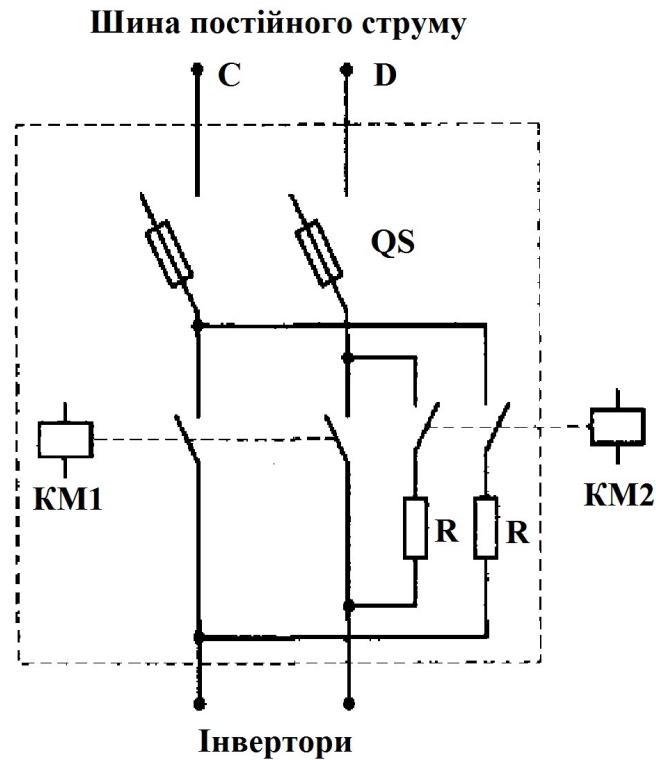


Рисунок 10 - Типова схема електричного підключення інвертора до ланки постійного струму

На схемі позначено:

QS – двополюсний роз'єднувач з двома запобіжниками;

R – два опори для попереднього заряду конденсаторного фільтра;

KM1 – з'єднувальний контактор.

У базовій версії перетворювача з'єднувальним контактором можна керувати за допомогою електроніки інвертора, отже, можна включити або виключити інвертор, коли ланка постійного струму знаходиться під напругою. При включенні і виключенні імпульси інвертора заблоковані, тобто перемикання відбувається не під струмом.

Блоки 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. Блоки гальмування в діапазоні потужностей до 20 кВт складаються з напівпровідникового ключа і вбудованого навантажувального резистора. Блоки гальмування в діапазоні потужностей понад 50 кВт вимагають підключення зовнішнього навантажувального опору.

Варіант схеми підключення гальмівного блоку і гальмівного опору до перетворювача частоти має вигляд представлений на рис.11.

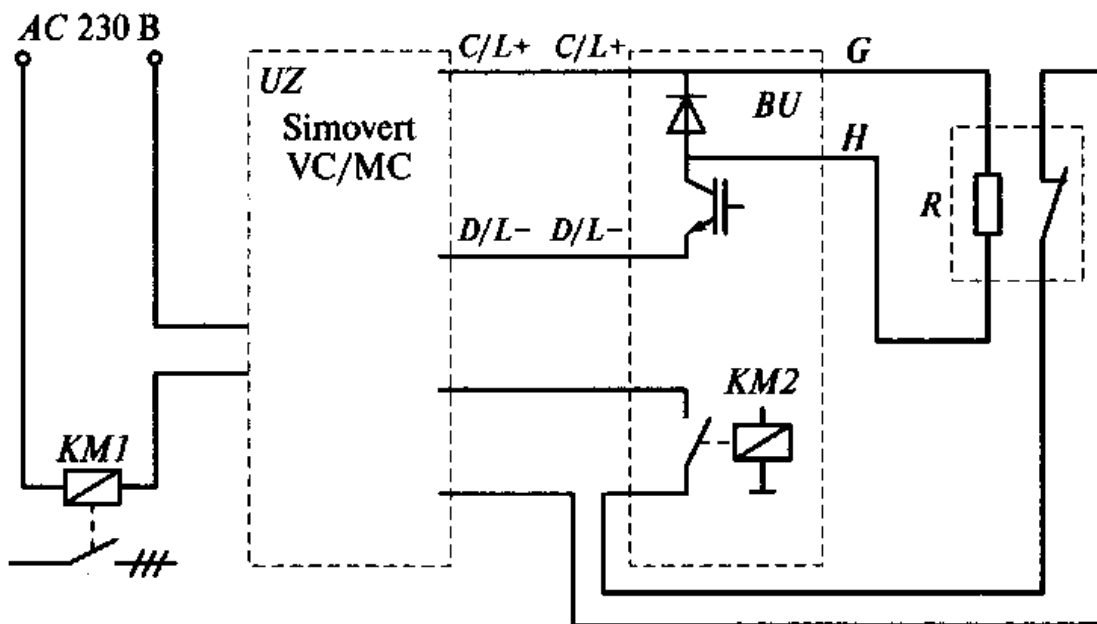


Рисунок 11 - Схема підключення гальмівного блоку і гальмівного опору до перетворювача частоти

§5. Пристрої плавного пуску і гальмування асинхронних двигунів

Пристрій плавного пуску і гальмування (ППП) являє собою тиристорний регулятор напруги, що забезпечує плавний пуск і зупинку трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором. Дані пристрої є сучасною альтернативою традиційним способам пуску за допомогою впливу на напругу статора асинхронного двигуна (перемикання зірка / трикутник, автотрансформаторний пуск, введення додаткових опорів в статорний ланцюг).

На відміну від традиційних способів ППП за рахунок плавного тиристорного регулювання напруги на статорних обмотках забезпечує безступінчатий пуск і зупинку двигуна, захист механізмів і двигунів, а також зв'язок з системами автоматизації.

Застосування ППП є економічним рішенням, що дозволяє зменшити вартість експлуатації механізмів шляхом зниження механічних впливів і поліпшення експлуатаційної готовності обладнання, а також зменшити вплив пуску двигунів на електричну мережу за рахунок обмеження кидків струму і провалів напруги в мережі.

Найбільш часто ППП застосовуються для насосів, вентиляторів, компресорів та конвеєрів.

Випуск ППП здійснюється більшістю компаній - виробників електроприводів і систем автоматизації.

§6. Засоби модернізації існуючих приводів постійного струму

На сьогоднішній день діє багато електроприводів постійного струму, які знаходяться в експлуатації більше 15 років і оснащені аналоговими системами управління. При їх модернізації механічну систему і силову частину електроприводу зберігають, а секцію управління з замкнутими контурами

регулювання струму якоря і швидкості двигуна замінюють мікропроцесорним модулем.

Фірма Siemens пропонує на ринку готове технічне рішення з модернізації систем управління приводів постійного струму в діючих промислових установках. Це економічно вигідний спосіб отримання сучасного електроприводу постійного струму, що володіє всією повнотою функцій тиристорного перетворювача з мікропроцесорною системою управління.

Крім секції управління такий модуль містить силову секцію з тиристорним мостом для живлення обмотки збудження двигуна.

Фрагмент принципової схеми підключення силових ланцюгів і ланцюгів управління представлений на рисунку 12.

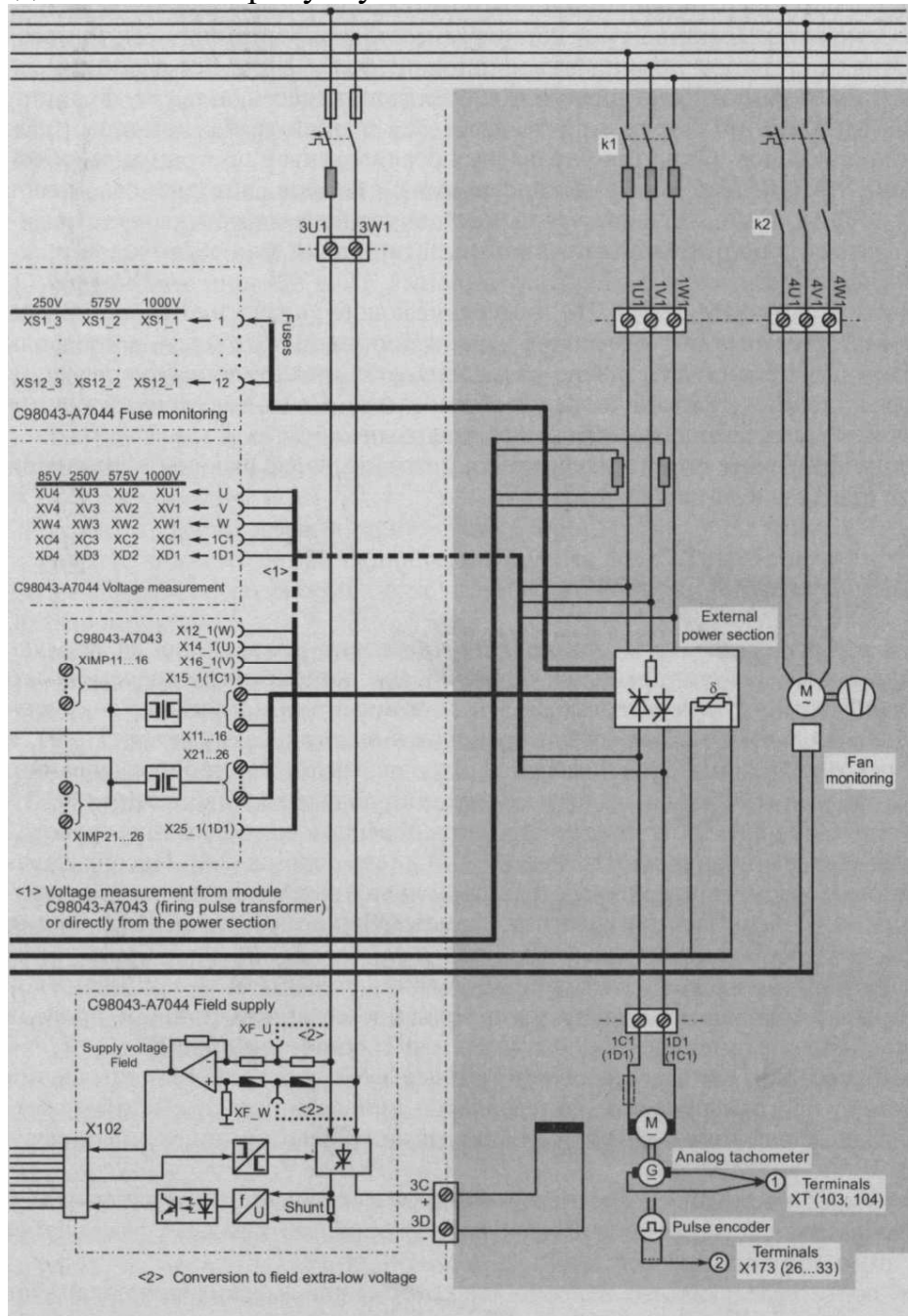


Рисунок 12 - Фрагмент принципової схеми підключення силових ланцюгів і ланцюгів управління

§7. Кабелі та проводи

При виборі, розведенні та підключенні кабельно-провідникової продукції для систем регульованих електроприводів постійного і змінного струму керуються чинними нормативними документами по використанню кабелів і проводів в електричних мережах (ПУЕ), а також рекомендаціями виробників підключається електрообладнання.

Особлива увага при розведенні і підключенні силових і слабкострумівих ланцюгів до регульованих електроприводів приділяється дотриманню вимог електромагнітної сумісності (ЕМС), так як перетворювачі частоти розраховані для роботи в промислових умовах, де має місце високий рівень електромагнітних завад.

Загальна схема підключення силових і слабкострумівих провідників в системі електроприводу наведена на рисунку 13.

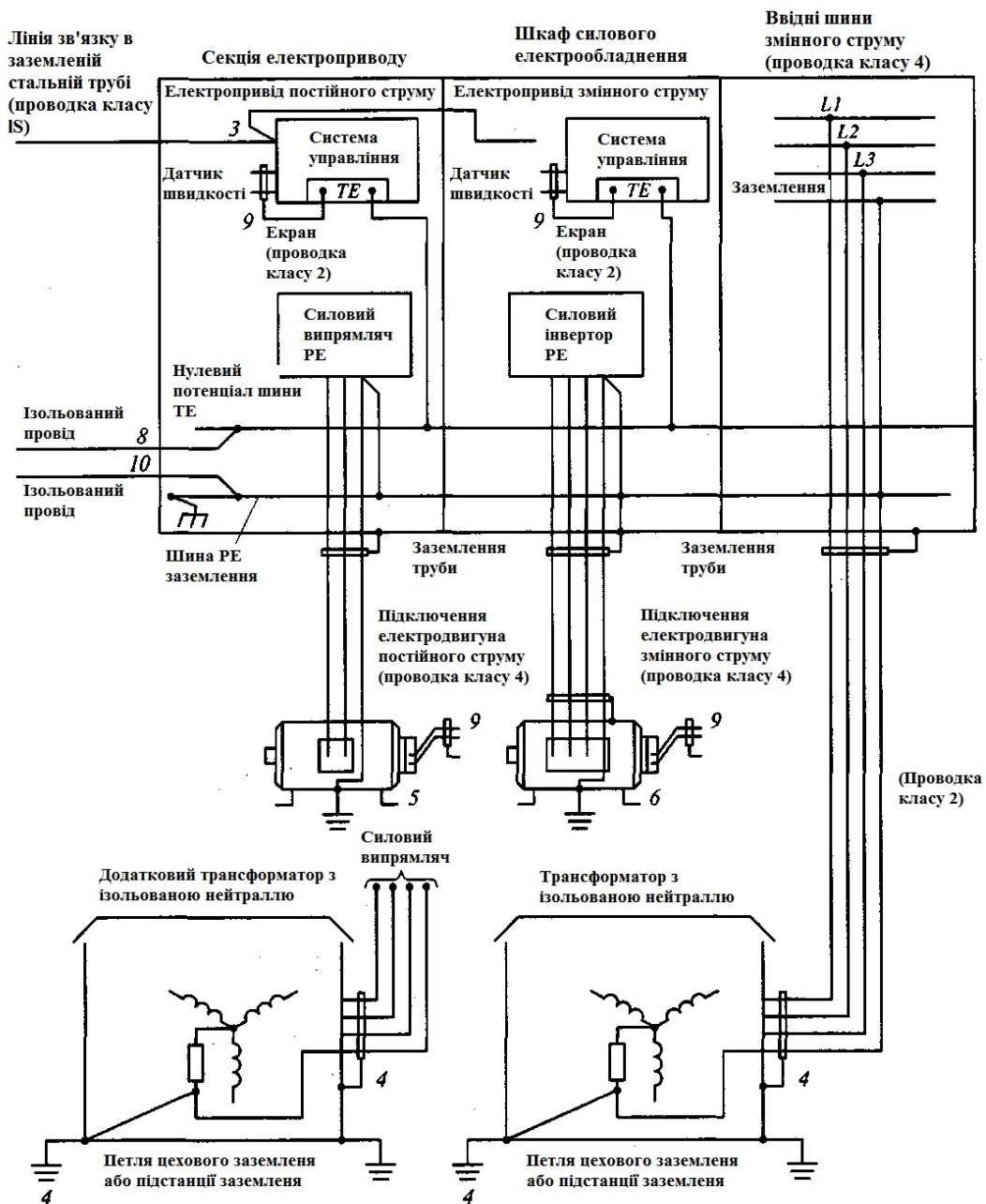


Рисунок 13 - Загальна схема підключення силових і слабкострумових провідників в системі електроприводу

§8. Датчики в системах електроприводу

Датчики швидкості сьогодні широко використовуються в системах комплектних електроприводів постійного і змінного струму. Аналогові тахогенератори, що застосовувалися раніше замінюють сьогодні більш точні, надійні і перешкодостійкі цифрові датчики - абсолютні і інкрементальні енкодери, а також оптикоелектричні вбудовані датчики для реєстрації відрізків шляху, кутів повороту або числа обертів - резольвера.

Ці датчики застосовують разом з системами числового програмного управління (ЧПУ), приводами і пристроями позиціонування.

Електроніка датчиків підсилює вхідні сигнали і перетворює їх у вихідні сигнали такого вигляду:

- диференціальні сигнали TTL і інтерфейс передачі RS422 (рівень 5В DC, роздільна здатність 5000 імп / об);
- аналогові сигнали (рівень 5В синусоїдальний, роздільна здатність 2500 імп / об);
- сигнали HTL (рівень 24В DC, роздільна здатність 2500 імп / об).

Тема 4.2. Розрахунок режимів роботи і вибір автоматизованих електроприводів

§1. Розрахунок та вибір комплектних електроприводів і їх компонентів

Актуальним завданням сьогодні при проектуванні систем електроприводів і автоматизації типових виробничих механізмів і технологічних комплексів є облік наступних факторів:

- забезпечення необхідних технічних характеристик системи;
 - відповідність міжнародним стандартам і положенням;
 - економічність прийнятих технічних рішень;
 - надійність та універсальність;
 - стійкість до зовнішніх факторів, що діють з боку навантаження, мережі живлення, навколишнього середовища;
 - оптимізація за критеріями енерго- і ресурсозбереження;
- простота в обслуговуванні і ремонтпридатність.

Ретельне опрацювання технічних рішень при початковому розрахунку і виборі комплектного електроприводу, як правило, допомагає запобігти появі проблем при пуско-налагоджуванні та подальшій експлуатації електроприводу, а також знизити рівень витрат на впровадження системи.

Основні питання, на які необхідно звертати особливу увагу при виборі електроприводу змінного струму на базі асинхронного двигуна наступні:

- Вибір номінальної потужності перетворювача частоти по номінальній потужності двигуна з урахуванням відповідності номінального струму двигуна номінальному вихідному струму перетворювача.

- Облік необхідного робочого діапазону регулювання швидкості двигуна.

- Можливість роботи приводу в гальмівному режимі з віддачею енергії гальмування через модуль інвертора на ланку постійного струму з використанням гальмівних резисторів або модулів рекуперації енергії гальмування в мережу живлення.

- Облік довжини силового кабелю для підключення двигуна (при перевищенні допустимої довжини кабелю потрібно передбачати спеціалізований фільтр на виході перетворювача частоти).

- Для надійного функціонування електроприводу необхідно забезпечити відповідність параметрів мережі живлення технічними характеристиками перетворювача.

Розглянемо обмеження режимів з боку двигуна в системі ПЧ - АД при роботі під навантаженням (рис.14).

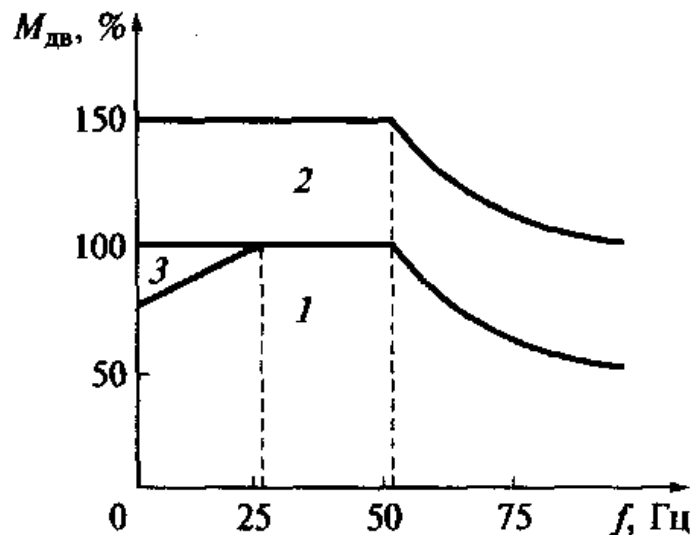


Рисунок 14 - Обмеження режимів з боку двигуна в системі ПЧ - АД при роботі під навантаженням

На рис. 14 виділено такі зони:

1 - зона роботи з номінальним моментом при номінальній швидкості (використовується охолодження за допомогою вбудованого вентилятора на валу двигуна);

2 - зона роботи зі збільшеним моментом двигуна (в більшості випадків перегрів двигуна не відбувається через нетривалість роботи і вентиляція може бути природною);

3 - зона тривалої роботи на зниженій швидкості (застосовується примусове охолодження від зовнішнього незалежного вентилятора).

Вибір системи ПЧ - АД визначається вимогами, що пред'являються до діапазону регулювання швидкості, і характеристикою навантаження приводного механізму.

Розглянемо найбільш поширені механічні характеристики для різних типів навантажень (рис. 15).

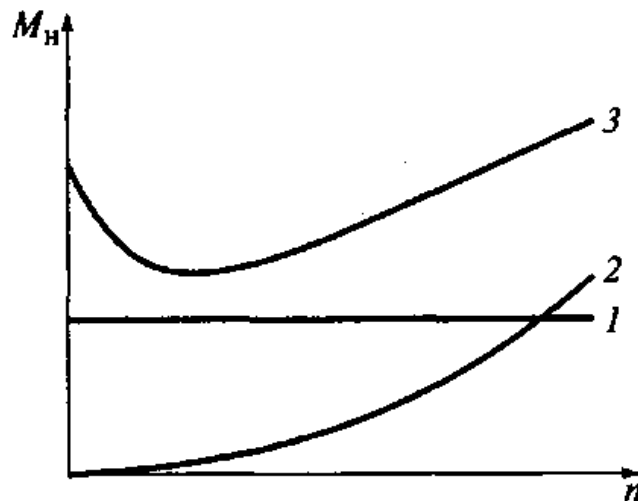


Рисунок 15 - Механічні характеристики для різних типів навантажень

- 1 – з постійним моментом, не залежних від швидкості (підйомні установки, конвеєри);
- 2 – зі змінним моментом, що залежать від швидкості (турбомеханізми);
- 3 – з нелінійною залежністю моменту від швидкості (спеціальні механізми).

§2. Визначення гармонік струму і напруги в електромережі, що живить перетворювач частоти

Випрямний міст в складі перетворювача частоти є джерелом високочастотних гармонік струму і напруги.

Для розрахунку рівня гармонік в конкретній мережі живлення необхідно знати:

- повний опір мережі, значення якого впливає на рівень струму короткого замикання мережі;
- номінальні параметри живильного трансформатора;
- повний опір питомих електроприймачів.

Склад гармонік, що надходять в мережу живлення, залежить від режиму роботи приводу. Розглянемо руховий режим роботи приводу з використанням некерowanego випрямляча і генераторний режим з використанням модуля випрямлення / рекуперації, взявши за основу відповідні еквівалентні схеми.

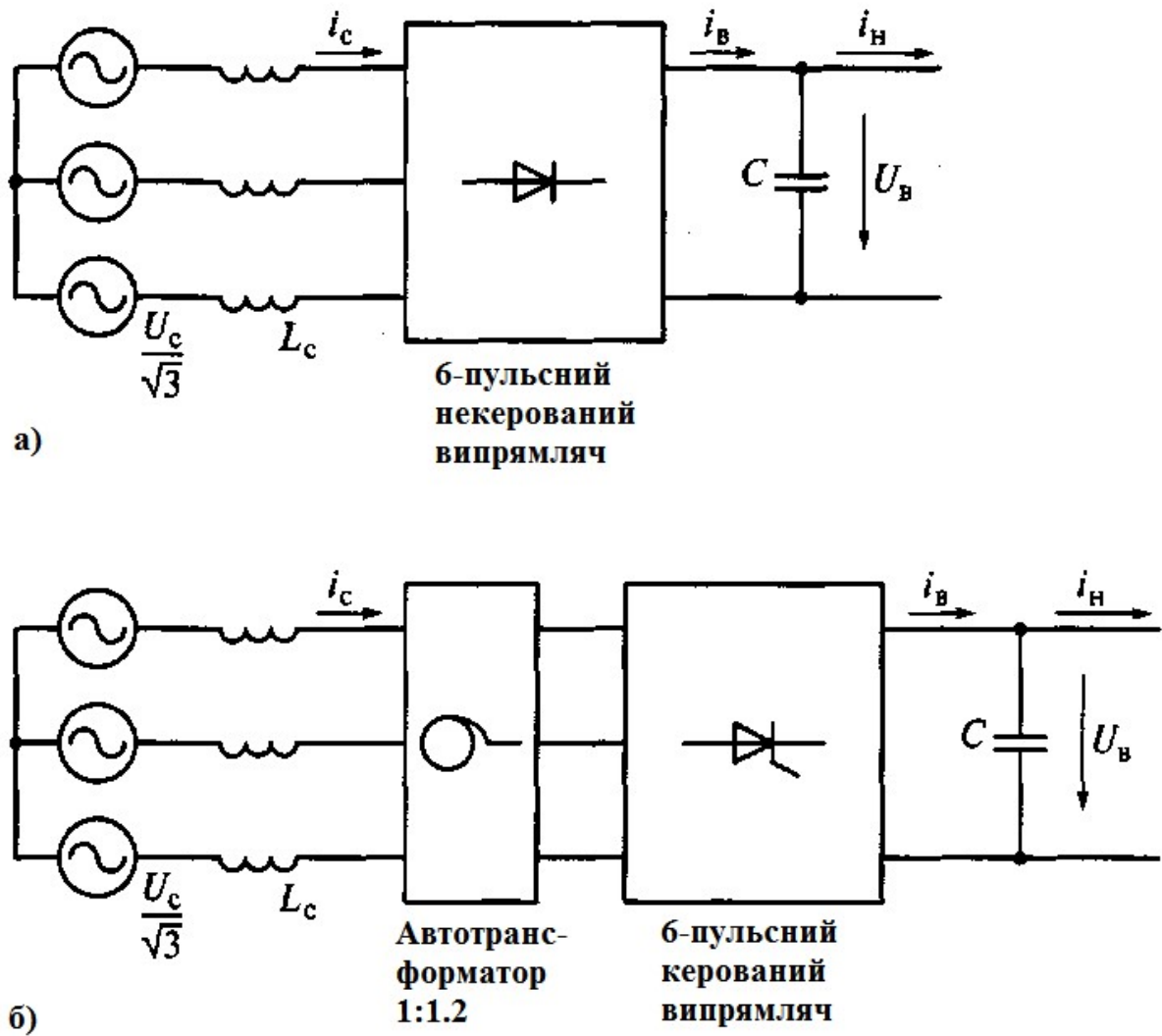


Рисунок 16 - Еквівалентна схема системи мережа живлення - ПЧ: а — для рухового режиму роботи з використанням некерованого випрямляча; б — для генераторного режиму роботи з використанням модуля випрямлення / рекуперації.

Приклад аналізу гармонійного складу розглянемо для перетворювача частоти потужністю 90 кВт (рис. 17).

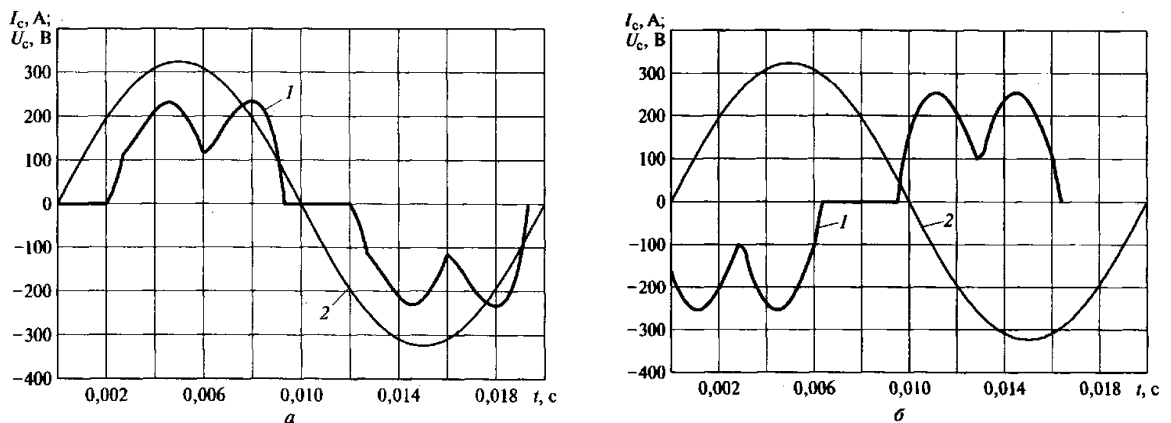


Рисунок 17 - Графіки зміни струму (1) і напруги (2) мережі живлення в руховому і генераторному режимах

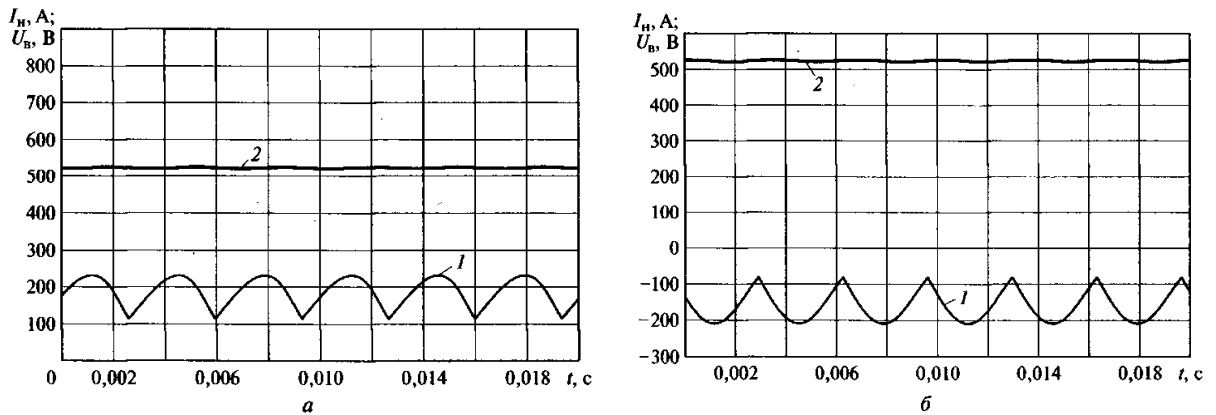


Рисунок 18 - Графіки зміни струму (1) і напруги (2) в ланці постійного струму в режимі руху (а) і генераторному (б)

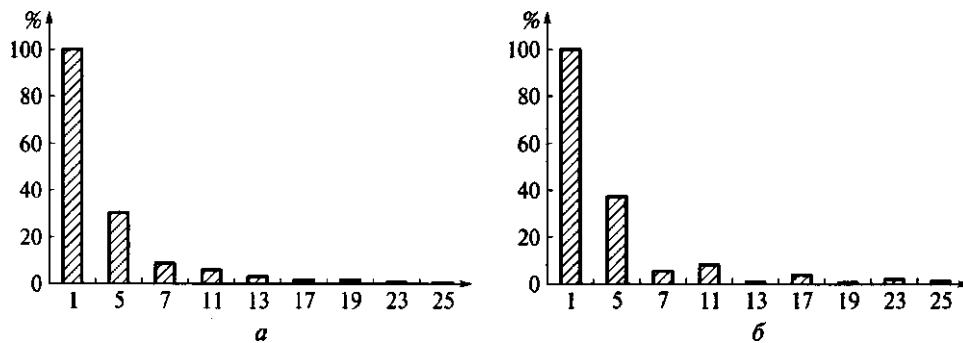


Рисунок 19 - Гармонійний склад струму мережі живлення у відсотках від основної гармоніки в режимі руху (а) і генераторному (б)

§3. Електроприводи безперервної дії без рекуперації енергії гальмування в мережу.

Режими розгону і гальмування. Якщо в режимі роботи механізму з великим моментом інерції, слід дотримуватися високодинамічного розгону / гальмування, слід враховувати зміну моменту, обумовленого інерційністю механізму, тобто при розгоні необхідно забезпечувати додатковий динамічний момент.

Відповідно до основного рівняння руху електроприводу необхідний сумарний момент складається з статичного і динамічного моментів.

Режим розгону / гальмування механізму визначається типом навантаження.

Для приводів насосів і вентиляторів момент навантаження (опору) визначається квадратичною залежністю і графіки зміни моментів двигуна і навантаження при розгоні мають вигляд рис.20.

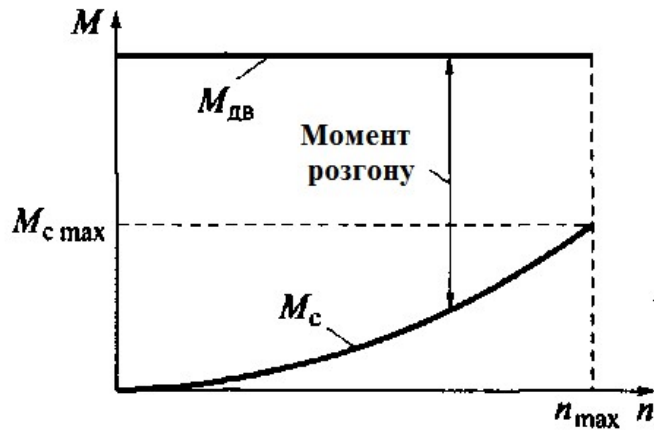


Рисунок 20 - Графіки зміни моментів двигуна і навантаження при розгоні для приводів насосів і вентиляторів

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. 21.

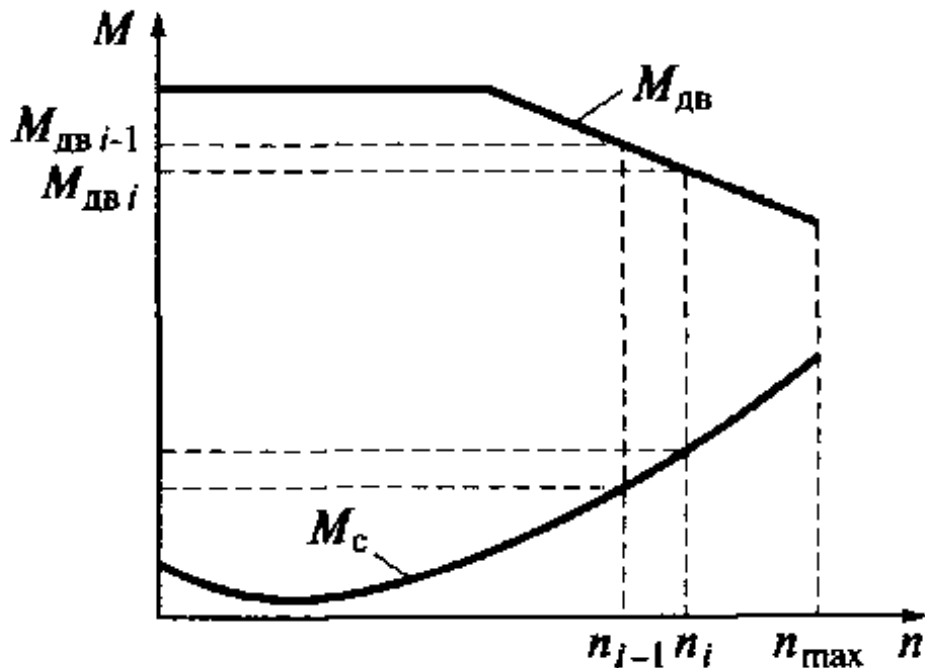


Рисунок 21 - Графіки зміни моменту навантаження від частоти обертання при не квадратичній залежності

Розрахунок і вибір гальмівних резисторів в системах без рекуперації енергії в електромережу. Для здійснення зупинки або зниження швидкості приводів в генераторному режимі використовуються блоки гальмування з вбудованими або зовнішніми гальмівними резисторами.

Гальмівні резистори пропонуються виробниками перетворювальної техніки в якості додаткової комплектації до перетворювачів частоти і вибираються виходячи з конкретних параметрів режиму гальмування за каталожними даними.

Основними параметрами, що служать для вибору гальмівних резисторів є:

- номінальний опір;
- тривалість включення в процентах від загального часу робочого циклу;
- пікова потужність гальмування протягом певного часу;
- потужність гальмування в тривалому режимі;
- температура навколишнього середовища.

Наприклад, параметри гальмівних резисторів для приводів фірми Siemens вказуються з розрахунку циклічності гальмування 90 с.

Графічна ілюстрація рис. 22.

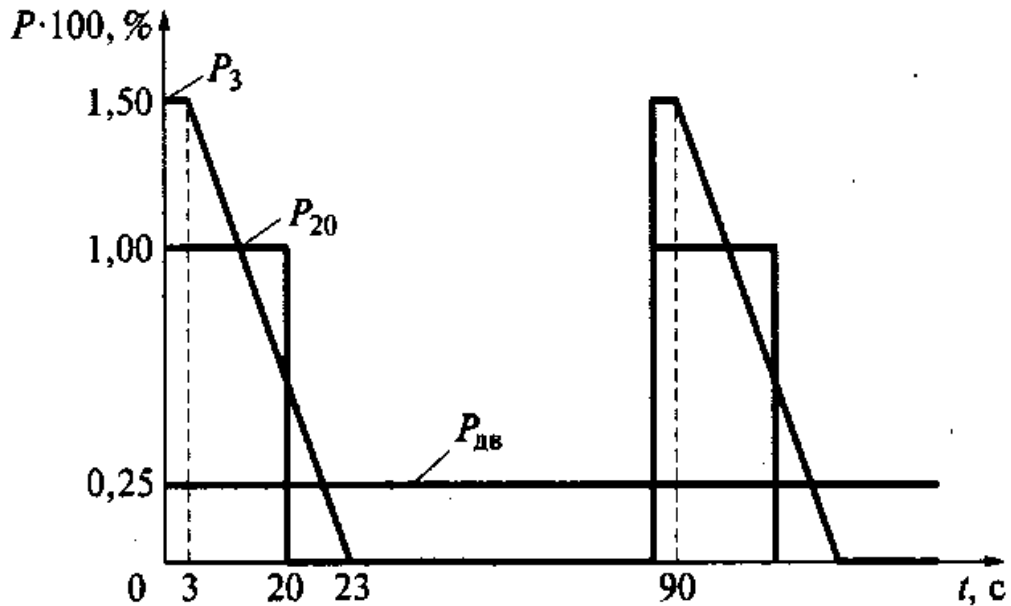


Рисунок 22 - Параметри гальмівних резисторів для приводів фірми Siemens вказуються з розрахунку циклічності гальмування 90 с.

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 приводу. 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 $P_{т.ср}$.

3. Вибрати гальмівне опір з умови $P_{20} > 4 P_{т.ср}$.

4. Визначити максимальну (пікову) потужність гальмування $P_{т.мах}$ і перевірити виконання умови $P_{т.мах} < 1,5 P_{20}$. Якщо умова не виконується, необхідно вибрати гальмівний резистор більшої потужності.

Якщо реальний час циклу не дорівнює 90 с, процедура вибору гальмівного резистора зводиться до побудови діаграми зміни потужності гальмування протягом робочого циклу і вибору на ній відрізка часу 90 с, де значення $r_{т.ср}$ максимальне. Подальші дії відповідно до пунктів 3 і 4 описаної методики.

§4. Електроприводи циклічної дії з рекуперацією енергії гальмування з мережу.

Для здійснення зупинки або зниження швидкості приводів в генераторному режимі використовуються блоки рекуперації гальмівної енергії в мережу живлення.

Використання модулів рекуперації енергії в мережу економічно виправдано для індивідуальних або багатодвигунових приводів загальною потужністю понад 150 ... 200 кВт, що працюють в генераторному режимі з певною циклічністю.

Фактично використовуються два варіанти для ЧРП: два мости на керованих вентилях, включених зустрічно паралельно (стандартний простий алгоритм управління) або один міст на керованих вентилях, що працює в режимі активного випрямляча (спеціальний алгоритм управління).

Розділ 5. Розробка конструкторської документації

Тема 5.1. Загальні правила виконання електричних креслень і схем

§1. Правила виконання креслень

Найбільш вживаними є креслення загального вигляду, складальне креслення і креслення деталі.

Креслення загального виду (ВЗ) містить зображення складальної одиниці та інші дані, необхідні для розуміння принципу роботи і взаємодії її складових частин.

Креслення загального виду відноситься до проектних документів і розробляється на стадіях технічної пропозиції, ескізного і технічного проектів

Складальне креслення (СК) містить спрощене зображення складальної одиниці та інші дані, необхідні для її виготовлення (складання). На складальному кресленні складові частини складальної одиниці забезпечуються полицями-виносками, на яких проставляються номери позицій цих складових частин. номери відповідають порядковим номерам частин в специфікації.

Креслення деталі - це конструкторський документ, що містить зображення деталі та інші дані, необхідні для її виготовлення і контролю.

Креслення деталей відносяться до робочої конструкторської документації. Розробка креслень деталей виробу здійснюється після розробки креслення загального вигляду.

§2. Правила виконання схем

Стандарти ЕСКД встановлюють комплектність, вимоги та правила розробки та оформлення схемної документації на виробі 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 і т.п.).

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 проектування.

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 проектування, і їх нomenклатура визначається необхідністю забезпечення виготовлення, контролю і експлуатації виробу.

Тема 5.2.Креслення електровиробів (приклад)

§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 автоматизованого робочого місця оператора (рис.23).

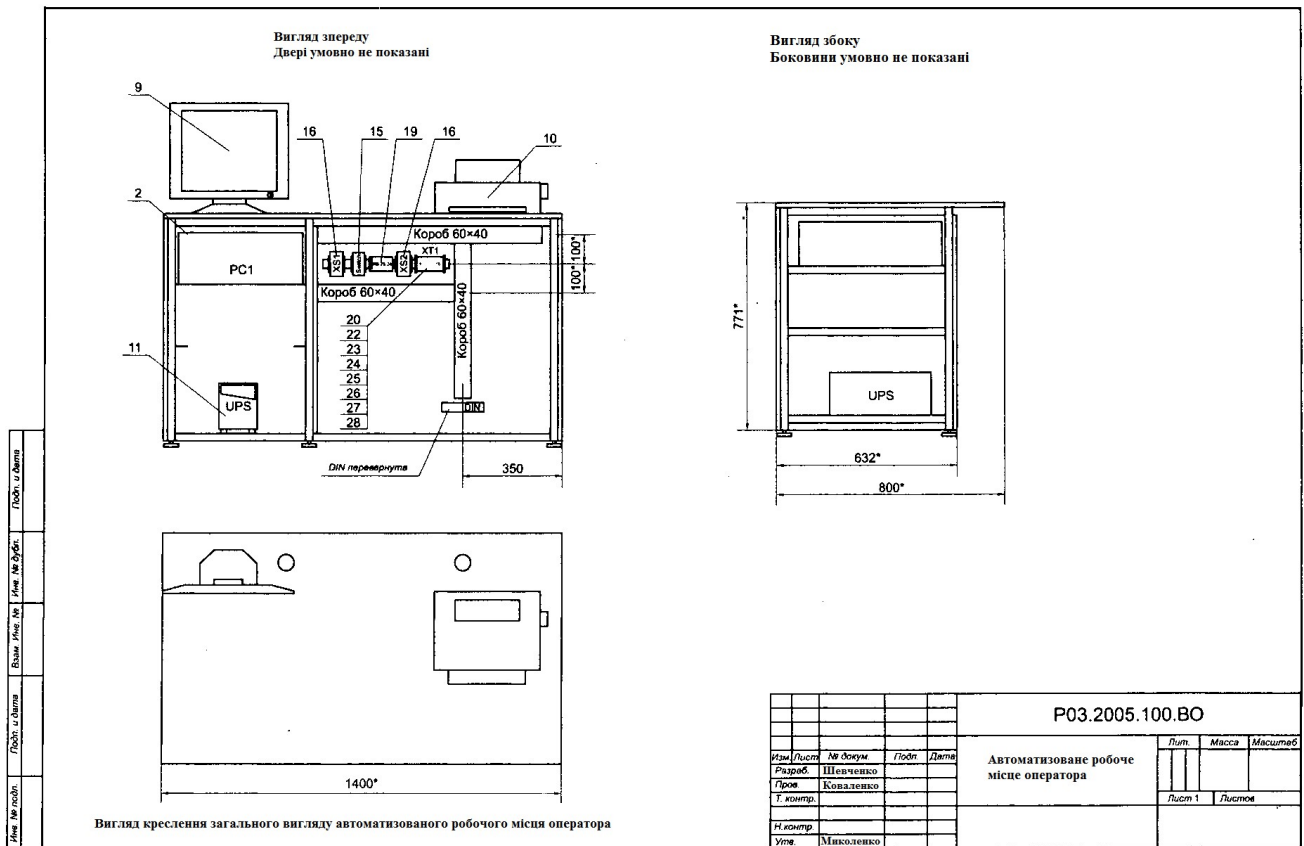


Рисунок 23 – Приклад креслення загального вигляду автоматизованого робочого місця оператора

§2. Складальне креслення

Розглянемо приклад оформлення складального креслення шафи управління (рис. 24). На кресленні позначені: основні розміри шафи; основні модулі системи управління (контролер, елементи управління, блок живлення і ін.); монтажна панель (вид спереду); основні розрізи шафи (А-А, Б-Б). Для зручності монтажу на складальному кресленні наведені установочні розміри елементів автоматизації, а також спосіб їх кріплення (наприклад, коробка).

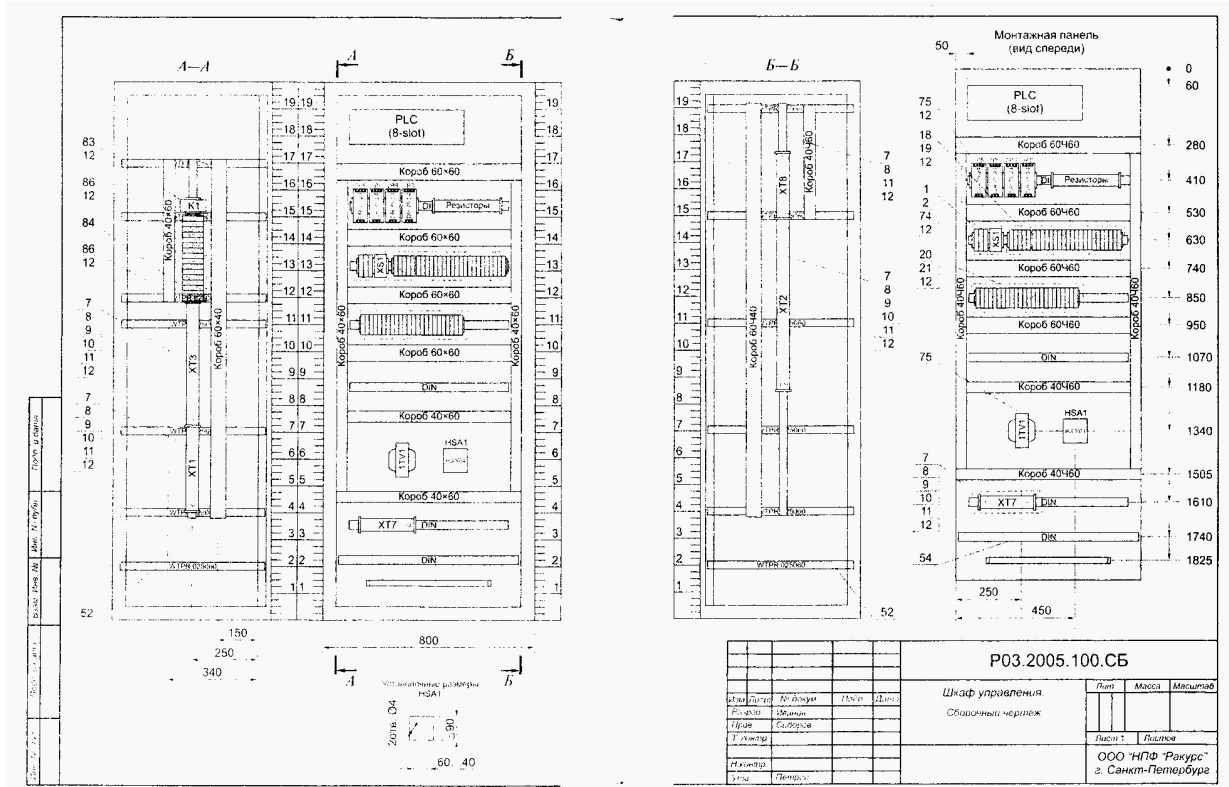


Рисунок 24 – Приклад оформлення складального креслення шафи управління

Тема 5.3. Схеми структурні і функціональні (приклад)

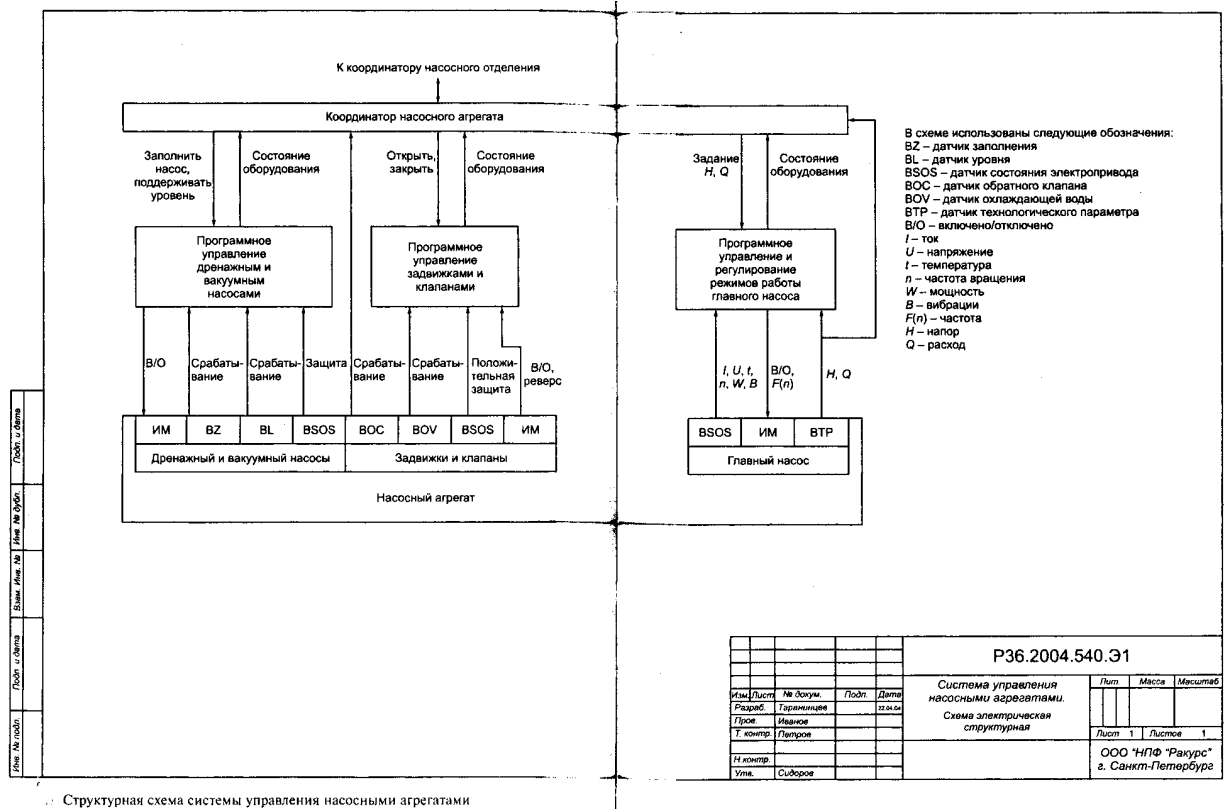
§1. Схеми електричні структурні

На структурній схемі (рис. 25) всі основні функціональні частини виробу зображуються у вигляді прямокутників. Основні складові частини виробу зображуються, як правило, без урахування їх дійсного розташування, однак графічне побудова схеми має наочно показувати взаємодію його функціональних частин.

У структурну схему входять об'єкт, електроприводи, система автоматизації, інформаційні та керуючі засоби.

Стрілками показують основні потоки передачі інформації від об'єкта та управляючі від системи управління.

Розглянемо приклад структурної схеми системи керування насосними агрегатами (рисунок нижче).



Структурная схема системы управления насосными агрегатами

Рисунок 24 – Пример оформления схемы электрической структурной

В ньому виділено три рівні управління.

На нижньому рівні вирішуються функціональні завдання - регулювання окремих змінних процесу (частоти обертання двигуна головного насоса) і програмне керування виконавчими пристроями виділених частин агрегату (головного насоса, вакуумного і дренажного насосів, а також засувки і клапанів).

На другому рівні вирішується завдання управління основними змінними в вихідному трубопроводі - напором і тиском, а також завдання координації управління для нижнього рівня управління.

На третьому - верхньому рівні управління - забезпечується координація управління декількома насосними агрегатами: пуск, зупинка, корекція параметрів режиму в залежності від головної мети управління насосним відділенням, наприклад за критерієм мінімізації енергоспоживання.

§2. Схеми електричні функціональні

Функціональні схеми призначені для роз'яснення процесів, що відбуваються у виробі в цілому, а також в окремих його функціональних частинах. Отже, для одного виробу може бути випущено кілька функціональних схем.

Функціональні схеми електроприводів і систем автоматизації визначають функціонально-блокову структуру окремих вузлів виконавчих механізмів, силової частини приводів, управління і регулювання, автоматичного контролю, сигналізації, а також оснащення об'єкта управління приладами і засобами автоматизації.

При розробці схем вирішують наступні завдання: отримання інформації про роботу електроприводів і технологічного обладнання, безпосередній вплив на

технологічний процес з метою управління ним, регулювання і стабілізація технологічних змінних, контроль і реєстрація технологічних змінних процесу та стану обладнання.

Результатом розробки функціональних схем систем автоматизації є:

вибір приводів виконавчих механізмів робочих машин, керованих безпосередньо або дистанційно;

вибір основних технічних засобів автоматизації (ТЗА);

вибір методів вимірювання технологічних змінних;

розміщення ТЗА на щитах, пультах, технологічному обладнанні.

При розробці необхідно враховувати наступні вимоги:

Функціональні схеми електроприводу роз'яснюють процеси, що протікають в окремих функціональних частинах або електроприводі в цілому. Вони використовуються для вивчення принципів роботи елементів і систем, а також при їх налагодження, регулюванню, контролі та ремонті. На функціональній схемі зображуються функціональні частини (елементи) електроприводу (або окремі пристрої і функціональні групи), які беруть участь в процесі, ілюстровані схемою, зв'язки між цими частинами або конкретні електричні, магнітні і механічні з'єднання (проводи, обмотки, вали).

Як приклад розглянемо функціональну схему системи керування електроприводом повороту (рис. 25).

У середині прямокутників, що позначають регулятори, задатчик інтенсивності і інші елементи, наведені часові характеристики, реалізовані ними процесів управління, тимчасові функції, логічні операції, тимчасові затримки і інші функції.

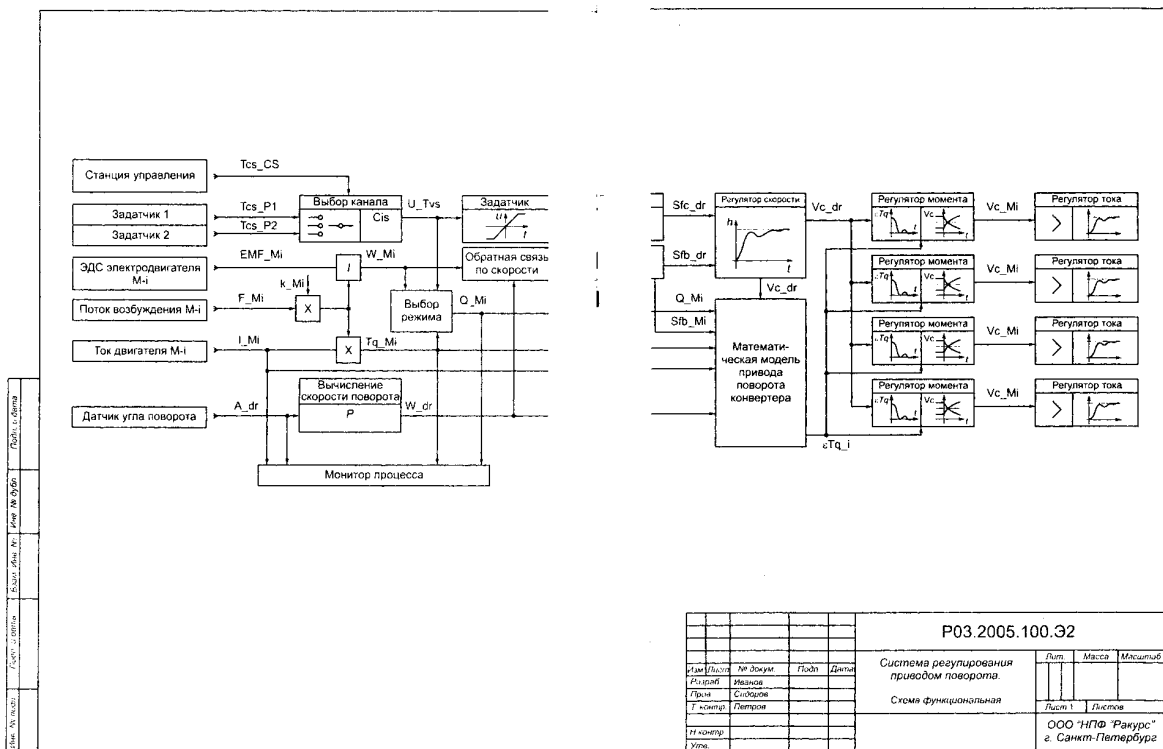


Рисунок 25 – Приклад оформлення функціональної схеми системи керування електроприводом повороту

Тема 5.4. Схеми електричні принципові

§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, конструктивно об'єднані і 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 окремій схемі 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 обраних 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).

§2. Принципові схеми автоматизованих однодвигунних електроприводів механізмів

Пристрої управління складними об'єктами, що містять групу однодвигунних електроприводів, зазвичай компонується 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 і т.д.);

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 пристрою установки листа (ПУЛ) перед ножицями для різання листового прокату з переліком елементів (рис. 26).

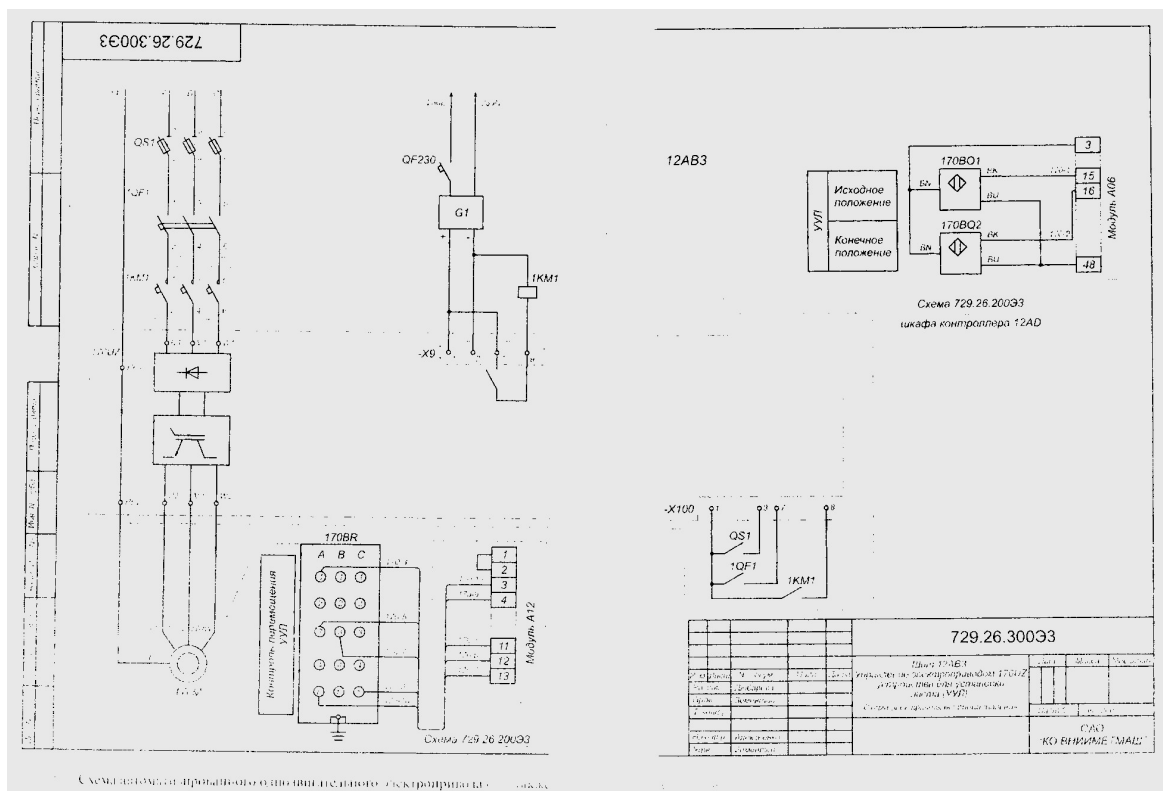


Рисунок 26 – Приклад оформлення функціональної схеми керування електроприводом пристрою установки листа

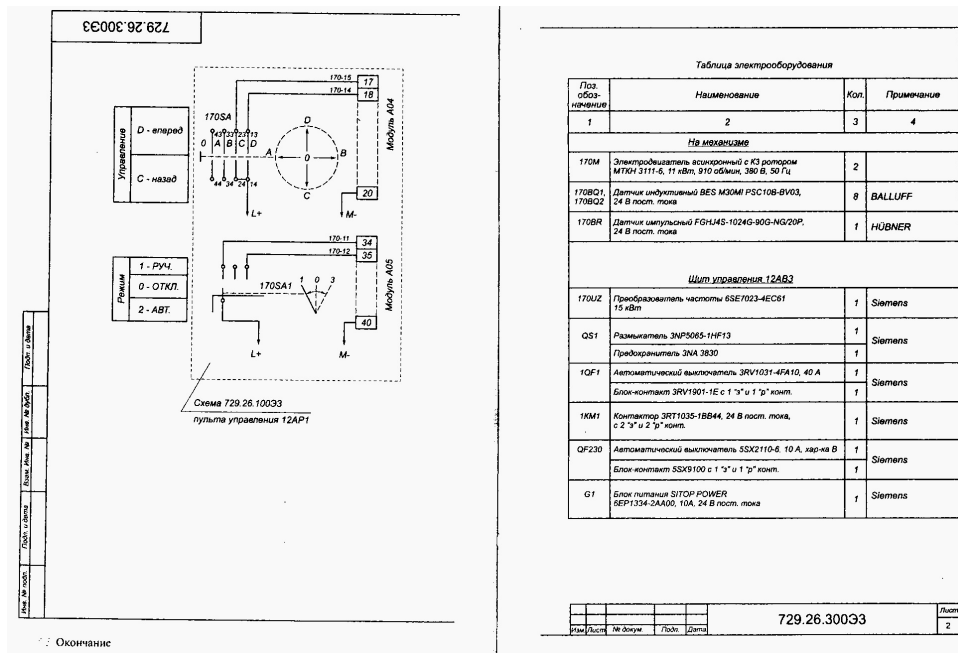


Рисунок 27 – Приклад оформлення функціональної схеми керування електроприводом пристрою установки листа

§3. Принципові схеми автоматизованих багатодвигунових електроприводів механізмів

Системи багатодвигунових електроприводів, що мають електричні зв'язки з силовими ланцюгами живлення від загального перетворювача або по ланцюгах управління, прийнято зображати на одній схемі. При цьому електродвигуни можуть мати механічний зв'язок відповідно до кінематичних особливостей технологічного об'єкта або через опрацьований матеріал.

На рис. 28 в якості прикладу наведено один з двох листів принципової схеми двохдвигунного електроприводу змінного струму для механізму різання ножиць листового прокату, виконаного на базі комплектних частотно-регульованих електроприводів з рекуперацією енергії в мережу.

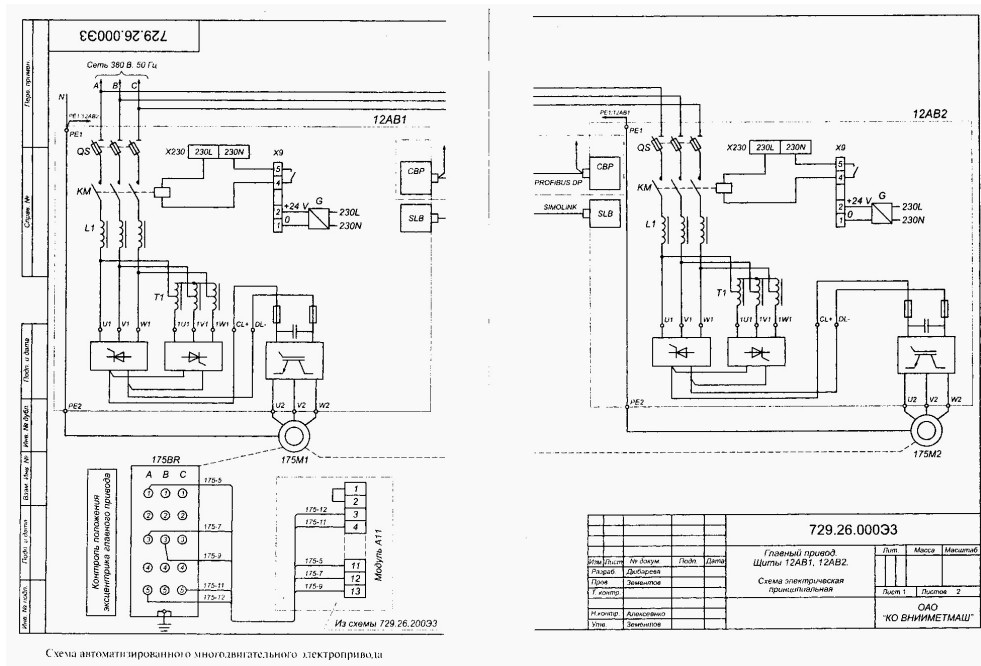


Рисунок 28 – Принципова схема двухдвигунного электропривода змінного струму для механізму різання ножиць листового прокату

§4. Схеми систем автоматизації

Як приклад схеми систем автоматизації на (рис. 29) представлений перший з семи аркушів схеми електричної принципової шафи управління повітрянагрівачем.

На схемі показані елементи автоматизації (датчики, комутаційно-захисна апаратура, елементи сигналізації і т.д.).

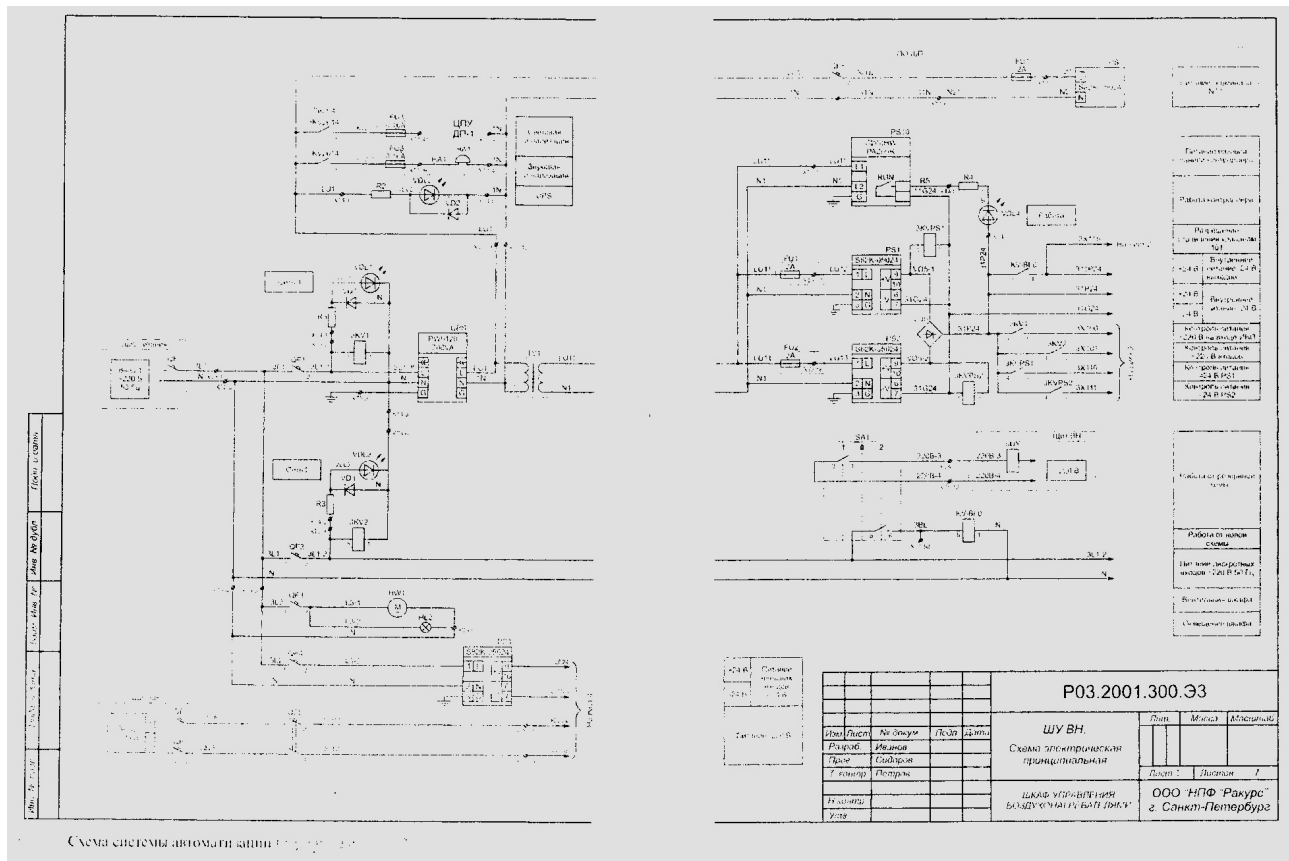


Рисунок 29 – Схема електрична принципова шафи управління повітронагрівачем

Тема 5.5. Схеми з'єднань, підключення та розташування

§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 розміщенню їх в пристрої.

На рис. 30 показано приклад першого аркуша схеми з'єднань силового щита.

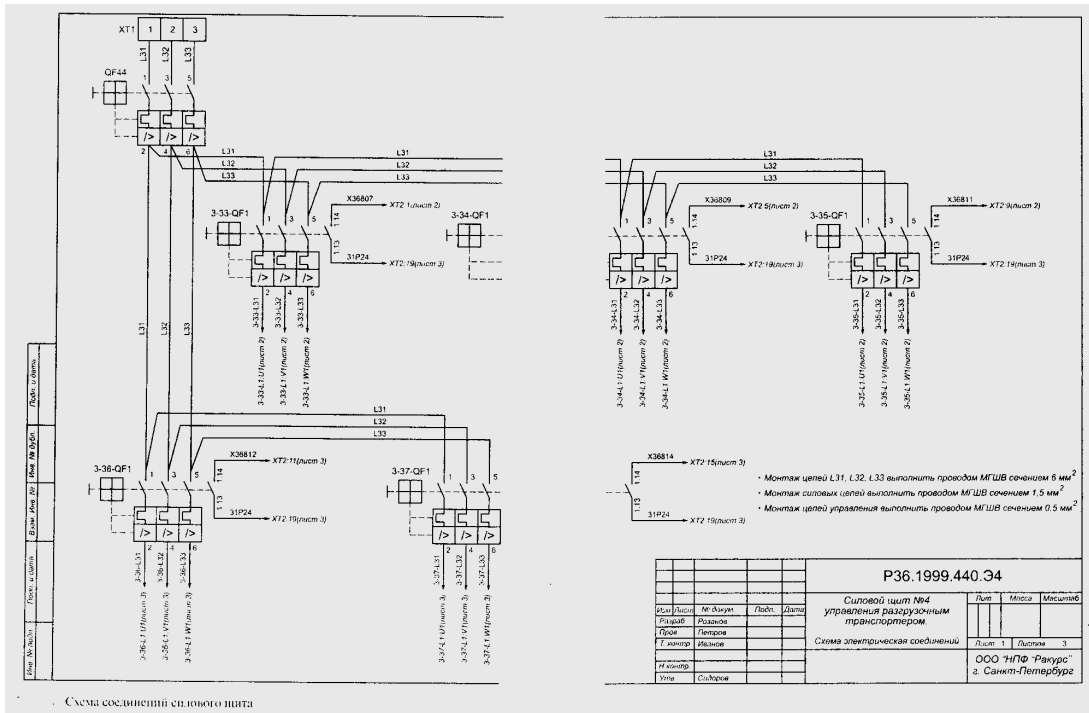


Рисунок 30 – Схема з'єднань силового щита

§2. Схеми електричні підключення

Схема підключення показує зовнішні підключення виробу. На цій схемі повинні бути зображені виріб, його вхідні і вихідні елементи (роз'єми, затискачі і т.п.) 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 показаний на рис. 31.

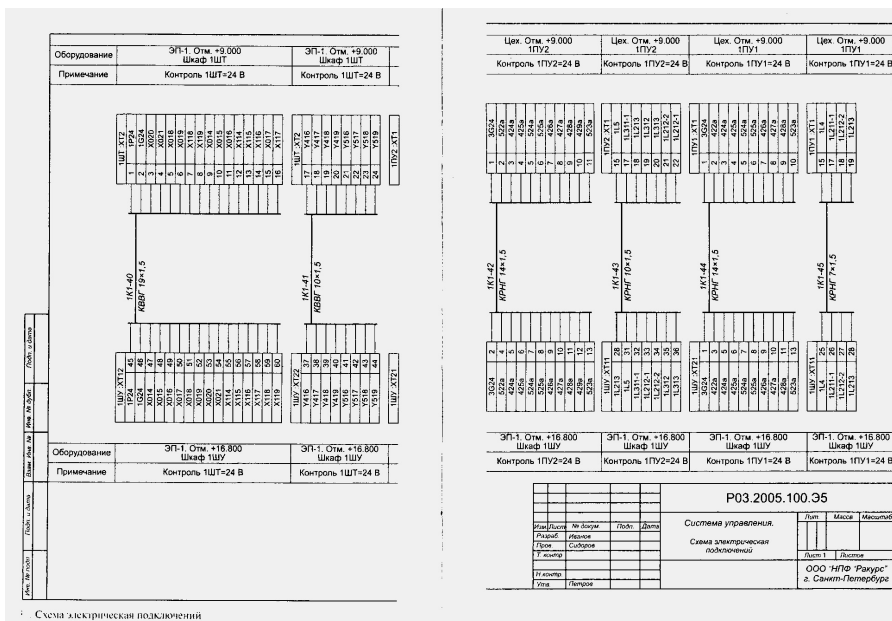


Рисунок 32 – Приклад зображення і позначення проводів зовнішнього монтажу

§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 електроприводу.

Як приклад на рис. 33 показана схема розташування технічних засобів управління ділянкою ножиць поперечного різання листового прокату.

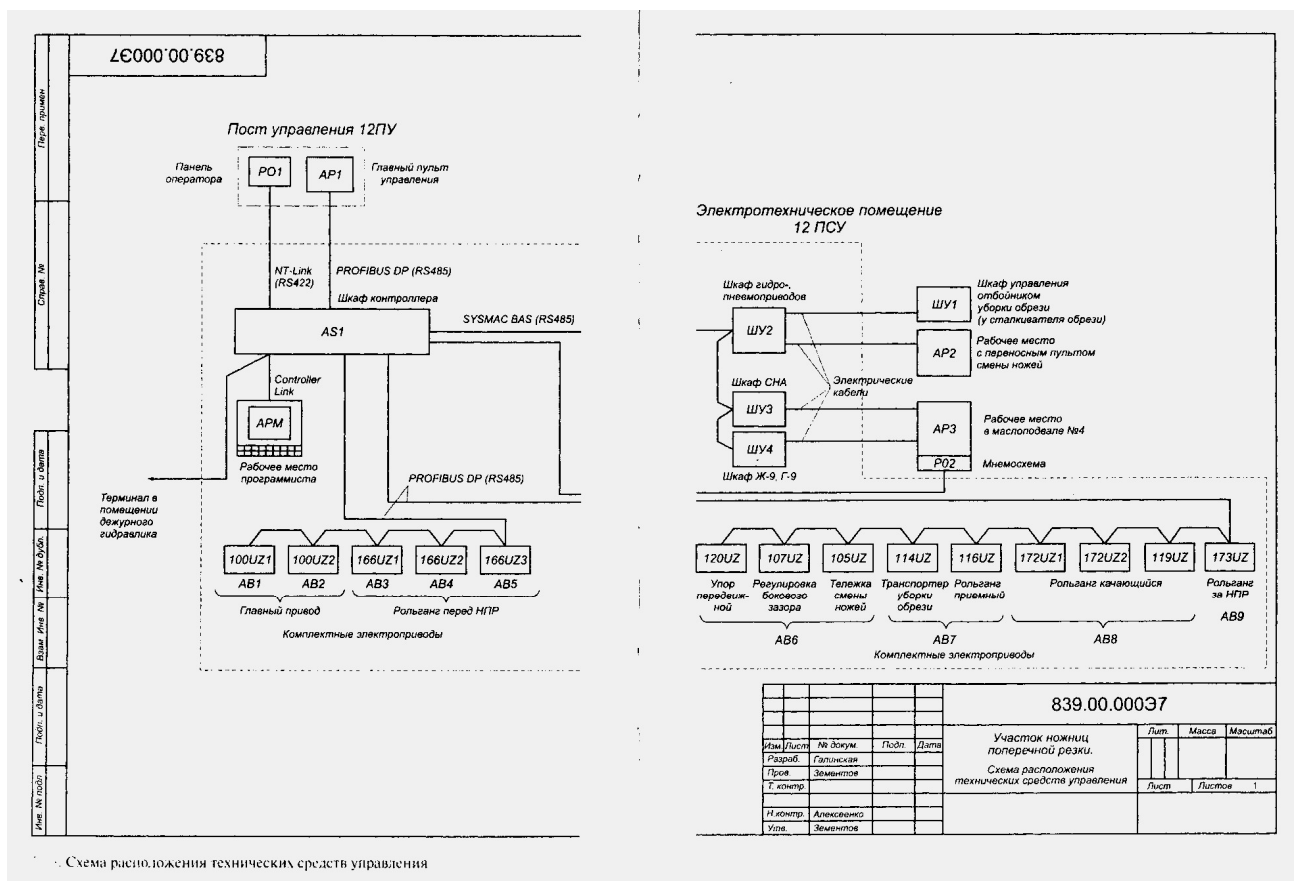


Рисунок 33 – Схема розташування технічних засобів управління ділянкою ножиць поперечного різання листового прокату

Список рекомендованої літератури

Базова література:

1. Инжиниринг электроприводов и систем автоматизации : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / [М. П. Белов, О. И. Зементов, А. Е. Козярук и др.; под ред. В. А. Новикова, Л. М. Чернигова. — М.: Издательский центр «Академия», 2006. — 368 с.
2. Шаповал С. Л. Инжинірінг будівель : практикум: навчальний посібник / С. Л. Шаповал, О. О. Палієнко, Н. М. Плешкань ; за ред. А. А. Мазаракі. Київ : КНТЕУ, 2018. – 231 с.
3. Иванов В. В. Модели и эвристические методы управления проектами обратного инжиниринга. Дисс. доктора технических наук. Одесса, 2016, 437 с. http://www.osmu.odessa.ua/spec_rada/Ivanov/Ivanov_disert_gl_1.pdf
4. Шаповал С. Л. Громадське будівництво : навчальний посібник / С. Л. Шаповал ; за ред. А. А. Мазаракі. Київ : КНТЕУ, 2015. – 359 с.
5. Закон України про регулювання містобудівної діяльності <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3038-17>.
6. Закон України про дозвільну систему у сфері господарської діяльності <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2806-15>.
7. ДБН А.2.2-3-2014 СКЛАД ТА ЗМІСТ ПРОЕКТНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ НА БУДІВНИЦТВО http://www.afo.com.ua/doc/DBN_A.2.2-3-2014.
8. ДБН А.3.1-5-2016 ОРГАНІЗАЦІЯ БУДІВЕЛЬНОГО ВИРОБНИЦТВА <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-294>.

Допоміжна література:

1. Колб Ант.А., Колб А.А. Теорія електроприводу: Навч. посібник. - Д.:НГУ, 2006. - 511 с.
2. Шульга О.В. Автоматизоване керування електроприводами: навчальний посібник. – Полтава: ПолНТУ, 2007 – 293 с.
3. Баховець Б. О. Автоматизований електропривод : навч. посіб. / Б. О. Баховець. – Рівне : НУВГП, 2010. 238 с
4. . О.Ю. Синявський, В.В. Савченко, В.В. Козирський, В.Я. Бунько, В.Ю. Рамш; За ред. О.Ю. Синявського. Електропривод та автоматизація – К.: ФОП Ямчинський О.В. 2019. 619с.

Інформаційні ресурси

1. <http://www.nipbati.nubip.edu.ua/course/view.php?id=276>
2. <https://www.eti.ua/>
3. <https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/>
4. <http://budtehnika.pp.ua/1668-tipi-elektroprivodv.html>
5. <http://promfactor.com/ua>
6. <https://www.svaltera.ua/>
7. <https://www.ed-era.com/>
8. <https://vumonline.ua/>
9. <https://www.coursera.org>