

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерії та енергетики
Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної
екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

МЕЛЬНИЧЕНКО ОЛЕКСАНДР ГЕННАДІЙОВИЧ

УДК 621.313

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Підвищення надійності електромеханічного обладнання підприємства

(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело _____

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Сукманюк Олена Миколаївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

к.і.н., доцент

(науковий ступінь, вчене звання)

АНОТАЦІЯ

Мельниченко О.Г. Підвищення надійності електромеханічного обладнання підприємства. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Поліський національний університет, Житомир, 2024.

В роботі проведений аналіз рішень щодо підвищення надійності роботи електромеханічного обладнання. Наведені особливості роботи та надійність електромеханічного обладнання.

Обґрунтовано впровадження АВР на трансформаторній підстанції. Наведені вимоги до пристрою та роботи АВР, а також здійснено розрахунок параметрів АВР. Вибрано напруги спрацьовування для перемикання вводу системи електроживлення та силового устаткування комутації струмів навантаження АВР.

Розробка рішення щодо підвищення надійності роботи підйомально-транспортного обладнання. Здійснено порівняльний аналіз електроприводів підйомально-транспортного обладнання та розрахунок параметрів асинхронного двигуна. Вибрано елементи силового каналу електроприводу та визначено механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному скалярному керуванні.

Ключові слова: надійність, електромеханічне обладнання, електропривод.

ABSTRACT

Melnuchenko O. Increasing the reliability of the enterprise's electromechanical equipment. Qualification work for obtaining Master's Degree in specialty 141 - Electrical energetics, electrical engineering and electromechanics. – Polissia National University, Zhytomyr, 2024.

The paper analyzes solutions to improve the reliability of electromechanical equipment. The features of the operation and reliability of electromechanical equipment are presented.

The implementation of automatic transfer switch at a transformer substation is justified. The requirements for the device and operation of automatic transfer switch are presented, and the calculation of automatic transfer switch parameters is carried out. The operating voltages are selected for switching the input of the power supply system and power equipment for switching the load currents of the automatic transfer switch.

Development of a solution to improve the reliability of lifting and transport equipment. A comparative analysis of electric drives of lifting and transport equipment and calculation of the parameters of an asynchronous motor are carried out. Elements of the power channel of the electric drive are selected and the mechanical characteristics of the asynchronous motor with frequency scalar control are determined.

Keywords: reliability, electromechanical equipment, electric drive.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РІШЕНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	7
1.1. Особливості роботи електромеханічного обладнання	7
1.2. Надійність електромеханічного обладнання	9
1.3 Висновки по розділу 1	14
РОЗДІЛ 2. ВПРОВАДЖЕННЯ АВР НА ТРАНСФОРМАТОРНІЙ ПІДСТАНЦІЇ	15
2.1. Аналіз видів АВР	15
2.2. Вимоги до пристрою та роботи АВР	16
2.3. Розрахунок параметрів АВР	17
2.3.1. Вибір напруги спрацьовування для перемикання вводу системи електроживлення	17
2.3.2. Вибір силового устаткування комутації струмів навантаження АВР	17
2.4. Алгоритм вибору виду АВР	18
2.5. Висновки до розділу 2.	20
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ПІДІЙМАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ	21
3.1 Порівняльний аналіз електроприводів підіймально- транспортного обладнання	21
3.2. Вибір електродвигуна	25
3.3. Розрахунок та вибір елементів силового каналу електроприводу	26
3.4. Вибір конструкції підіймально-транспортного механізму	27
3.4.1 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна	28
3.4.2. Визначення механічних характеристик асинхронного двигуна при частотному скалярному керуванні	30
3.5. Оцінка ефективності технічних рішень	35
3.6. Висновки по розділу 3	36
ВИСНОВКИ	37
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	38

ВСТУП

В даний час не знайдеться галузі людської діяльності, де б не застосовувалася електрика. І хоча у нашій країні виробляється достатньо електроенергії, проте проблема безперебійного електропостачання залишається актуальним.

Відповідно до п/п 1.2.18 Правил влаштування електроустановок [1] по надійності електропостачання всі споживачі електричної енергії (Електроприймачі) поділяються на три категорії:

I категорія – «електроприймачі, перерва електропостачання яких може спричинити небезпеку для життя людей, загрозу для безпеки держави, значні матеріальні збитки, розлад складного технологічного процесу, порушення функціонування особливо важливих елементів комунального господарства, об'єктів зв'язку та телебачення.

До електроприймачів першої категорії приділяється особлива група електроприймачів, безперебійна робота яких необхідна для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрози життю людей, вибухів та пожеж» [1, 2].

II категорія – «електроприймачі, перерва електропостачання яких призводить до масового недовідпустку продукції, масових простоїв робітників, механізмів та промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських та сільських мешканців» [1].

III категорія – «всі інші електроприймачі, які не підпадають під визначення першої та другої категорій». [1].

Підприємство ТОВ «САВ-ТРАНС» належить до II категорії споживачів електроенергії, перебої у мережі її електропостачання можуть призвести до масових простоїв робітників, механізмів та промислового транспорту, порушення нормальної діяльності значної кількості міських мешканців. Розвиток підприємства ТОВ «САВ-ТРАНС», збільшення обсягів перевезень, необхідність виконання робіт у визначені терміни пред'являють до автомобільного транспорту високі вимоги щодо технічної готовності. Постійно зростаюча потреба в ремонті автомобілів, зміни їх конструкцій та конструкції технологічного обладнання, а також постійне вдосконалення технології ремонту машин вимагають безперервного вдосконалення ремонтної бази на підприємстві. Покращення якості ремонтних робіт можна добитися збільшенням обсягів робіт, застосування сучасного обладнання, сучасної технології, висококваліфікованих працівників, а так само шляхом модернізації застарілого ремонтно-технологічного устаткування, поліпшення організації праці, кращої компонуванням ділянок та організації робочих

місце, суворим дотримання прогресивних технологій відновлення та ремонту.

Отже, метою даної роботи є зменшення збитків ТОВ «САВ-ТРАНС», що пов'язані з перериванням нормальної діяльності підприємства, проведенням вчасного ремонту та технічного обслуговування за рахунок впровадження автоматичного введення резерву на трансформаторній підстанції.

Передбачається, що автоматичне введення резерву скоротить час перемикання з основної лінії електропостачання на резервну. Це дозволить виключити перезапуск у роботу всього технологічного обладнання та зменшити ймовірність поломки електромеханічного обладнання від раптового зникнення електроенергії.

Заміна нерегульованого асинхронного електроприводу на регульований також дозволить уникнути підвищених навантажень на електродвигуні та механічних частинах приводу під час пуску та зупинки, що дозволить збільшити їхній термін служби.

Ці заходи збільшать термін безаварійної експлуатації електромеханічного обладнання та дозволять підвищити надійність його роботи.

Для реалізації та досягнення мети роботи необхідно вирішити такі завдання:

1. Впровадити АВР на трансформаторній підстанції.
2. Модернізувати електропривод підйимально-транспортного обладнання.
3. Оцінити ефективність прийнятих технічних рішень.

Об'єкт дослідження – процес забезпечення надійної роботи електротехнічного обладнання ТОВ «САВ-ТРАНС».

Предмет дослідження – безаварійної експлуатації електромеханічного обладнання.

Публікації:

Мельниченко О. Г. Алгоритм вибору виду АВР. Наукові читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науковопедагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики. 20 травня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 116-118.

Сукманюк О. М., Мельниченко О. Г. Аналіз причин відмови електромеханічного обладнання. Студентські читання–2024: матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та

енергетики. 31 жовтня 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024 С. 129-134.

Сукманюк О. М., Мельниченко О. Г. Порівняльний аналіз електроприводів підйимально транспортного обладнання. Матеріали VIII міжнародної науковопрактичної конференції «Біоенергетичні системи». 12-14 листопада 2024 р. Житомир: Поліський національний університет, 2024. С. 18-22.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ РІШЕНЬ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1. Особливості роботи електромеханічного обладнання

Обладнання ТОВ «САВ-ТРАНС», що використовується для ремонту та технічного обслуговування, має свою особливість. Ремонт і ТО автотранспорту проводиться в ремонтній майстерні. Біля ремонтної майстерні знаходиться асфальтований майданчик із накриттям для виконання зварювальних робіт. Безпосередньо біля майстерні знаходиться склад запасних частин та матеріалів. Необхідно відмітити, що на сьогоднішній день не всі ремонтні дільниці зведено до приміщення майстерні. Так, кузня знаходиться в пристосованому для робіт приміщенні. Дільниця по зарядці АКБ знаходиться в гаражі. В приміщенні РМ заходиться зварювальне відділення, слюсарно-механічне та ремонтно-монтажне.

У ТОВ «САВ-ТРАНС» від підприємств постійно надходять заявки на відновлення роботоздатності деталей. По мірі надходження деталей відновлялися без розробки технологічного процесу спеціалістами підприємства на універсальному устаткуванні. Трудомісткість і собівартість усунення дефектів була висока, що ускладнювало взаєморозрахунки підприємств зменшувало коефіцієнт готовності МТП району і прилеглих підприємств інших районів.

Варто зазначити, що обладнання підприємства, задіяне в основному технологічному процесі, має наступну особливість. Регулювання швидкості обертання електроприводу, потрібна для забезпечення заданих показників технологічного процесу, що здійснюється за допомогою електромеханічних варіаторів, мотор-редукторів. Електропостачання електроприводу конвеєра та іншого технологічного та спеціального обладнання здійснюється від РУ-6/0,4кВ та силових трансформаторів, розташованих на відкритому майданчику, що належить підприємству. Подання електроенергії на підприємство здійснюється за двома повітряними кабельними лініям Ф32 та Ф58.

По кабельним лініям електрична енергія надходить на трансформаторну підстанцію ТП-26 з трансформатором типу ТМГ-400 6/0,4кВ потужністю 400кВА та комплектну трансформаторну підстанцію КТП-26а з трансформатором типу ТМ-400 6/0,4кВ потужністю 400кВА.

Схема електропостачання підприємства представлена на рис. 1.1.

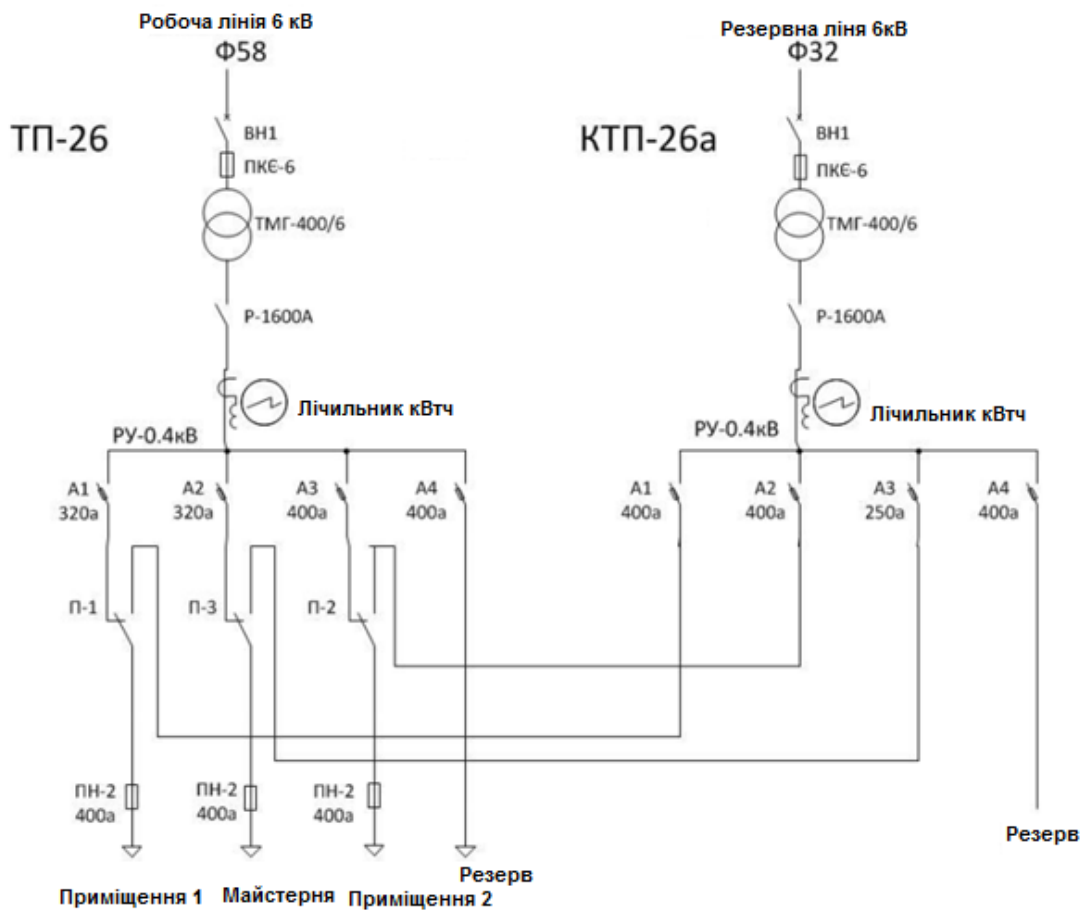


Рисунок 1 – Лінійна схема електропостачання підприємства ТОВ «САВ-ТРАНС»

У нормальному режимі все обладнання підприємства живиться від робочої лінії $\Phi 58$, а резервна лінія $\Phi 32$ не використовується (перебуває в резерві).

При зникненні напруги на робочій лінії черговий електрик за допомогою приладу переконається про відсутність напруги на вводі у майстерні, після перевірки здійснює перемикання рубильниками П1÷П3 [1,3]. На всі дії черговий електрик витрачає біля 10÷15хв. Після відновлення подачі електроенергії по резервній лінії перезапуск всього технологічного обладнання.

Процес запуску в роботу технологічного обладнання триває біля 25хв. Тому сумарні втрати часу при раптовій аварії, пов'язаної із зникненням напруги живлення складають біля 40 хв.

Аналіз аварійних зупинок виробничого процесу показує, що найчастіше причина даних переривань пов'язана з перервою в електропостачанні основного електромеханічного обладнання та його внутрішні несправності.

Значні економічні втрати на ТОВ «САВ-ТРАНС» пов'язані з неефективним використанням обладнання, що призводить до збільшення витрат на виробництві.

Тому, керуючись розробками провідних фірм, проводиться робота з впровадження нових, найбільш економічних та відповідних міжнародним стандартам якості (ISO) видів обладнання.

1.2. Надійність електромеханічного обладнання

Проблема забезпечення надійності електропостачання електромеханічного обладнання є міжнародною, що підтверджується численними публікаціями [7,8].

Надійність включає цілий набір базових параметрів: безвідмовність, ремонтпридатність, довговічність, відновлюваність, збереження, готовність.

Існує декілька методів визначення надійності системи електропостачання. Для забезпечення необхідної надійності потрібно проаналізувати причини, що призводять до відмови обладнання.

Причини відмов можна розділити на дві групи [6]:

- 1) несправності та пошкодження елементів, що входять в енергетичну систему постачання електроенергії;
- 2) некваліфіковані дії обслуговуючого персоналу (помилки при ремонті елементів системи або перемикання).

Надійність, яка визначається класом причин 1, називається апаратною, а класом 2 – експлуатаційною.

Апаратна надійність має свої особливості під час експлуатації обладнання та проходить 3 стадії розвитку, позначені на рис. 1.1.

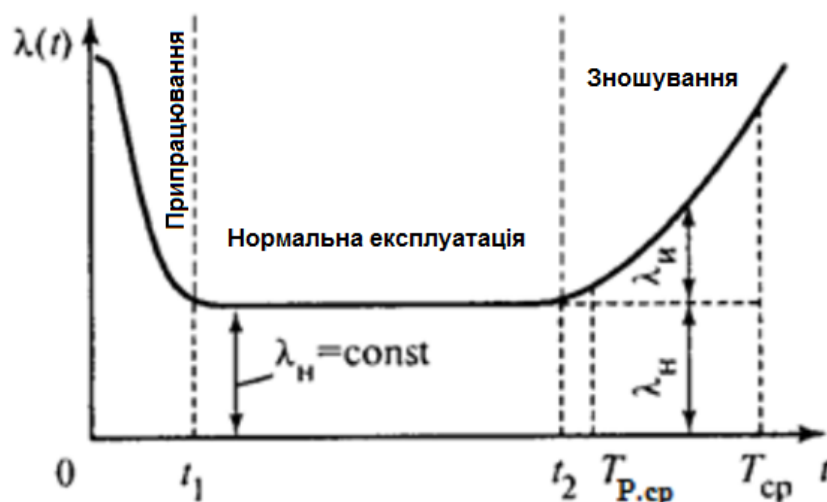


Рисунок 1.1 – «Крива життя» обладнання

На рис. 1.1 представлено графік інтенсивності відмов обладнання $\lambda(t)$, яка є умовною щільністю ймовірності виникнення відмови за аналізований час. Інтенсивність відмови визначається за формулою [3]:

$$\lambda(t) = \frac{1}{P(t)} \frac{dQ(t)}{dt} = \frac{n(t)}{N_0 - (n)}, \quad (1.1)$$

де $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи устаткування в заданому інтервалі часу. Вона визначається за такою формулою:

$$P(t) = \frac{N_0 - (n)}{n(t)}, \quad (1.2)$$

де N_0 – початкова кількість досліджуваних об'єктів;

$n(t)$ – число об'єктів, що відмовили за час t ;

$Q(t)$ – ймовірність відмови, яка вказує на те, що в інтервалі часу t відбудеться хоч одна відмова [6];

$$Q(t) = \frac{n(t)}{N_0}, \quad (1.3)$$

На періоді часу $t_0 - t_1$, який називається часом приробітку підвищена кількість відмов обладнання обумовлена конструкторськими та технологічними недопрацюваннями, а також помилками персоналу під час монтажу обладнання та його експлуатації. У даний період через зазначені помилки відбувається стрибок частоти відмов.

На періоді часу $t_1 - t_2$ інтенсивність відмов приблизно постійна і обумовлена лише непередбаченими відновлюваними відмовами. Даний період є нормальною експлуатацією обладнання. За цей період кількість відмов мінімальна і вони мають раптовий характер. Найчастіше ці відмови пов'язані з надзвичайними зовнішніми обставинами.

На періоді часу, більшому t_2 інтенсивність відмов починає збільшуватися, що з старінням і зносом устаткування. У цьому періоді часу, званому старінням, спостерігається поступове збільшення відмов обладнання під впливом постійно діючих зовнішніх факторів. Відмови у даний період стають частіше, а їх виникнення проявляється раптово та не піддається прогнозуванню.

За даними спостереження за роботою електроустаткування ТОВ «САВ-ТРАНС» за 2023 р. сталося 6 випадків зникнення електроенергії, один – 240 хв, один - 180 хв, один - 120 хв, один 30 хв, один 15 хв, одна - 1 год., а також відмова в роботі силового трансформатора 30 хв. Дані щодо відмов занесені до таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Статистика відмов електропостачання за 2023 р.

Номер відмови	Причина відмови	Тривалість відмови, год	Примітка
1	Перерва подачі електроенергії	4	
2	Перерва подачі електроенергії	3	
3	Перерва подачі електроенергії	2	
4	Перерва подачі електроенергії	0,5	
5	Перерва подачі електроенергії	0,25	
6	Перерва подачі електроенергії	1	
7	Аварія на силовому трансформаторі	0,5	
Всього		11,25	

Виходячи з річного робочого фонду трансформаторного обладнання підстанції інтенсивність відмов електропостачальних мереж за 2023 р. згідно з формулою (1.1) склала:

$$\lambda_1(t) = \frac{(4 + 3 + 2 + 0,5 + 0,25 + 1)}{8760} = 12,2 \cdot 10^{-4}$$

де 10,75 год. – тривалість відмов електропостачальних мереж;
8760 годин – фонд робочого часу у 2023р. при цілодобовій роботі обладнання.

Інтенсивність відмов обладнання трансформаторної підстанції:

$$\lambda_2(t) = \frac{(0,5)}{8760} = 5,7 \cdot 10^{-5}$$

Причини відмов експлуатаційної надійності поділяються на дві групи. У першу входять причини, що викликані низькою кваліфікацією персоналу або недостатністю досвіду. Другу групу складають причини, зумовлені технічною складністю пристроїв і схем обладнання, з яким працює обслуговуючий та ремонтний персонал. Як приклад можна розглянути наявність на силовій трансформаторній живильній підстанції великої кількості вимикачів, роз'єднувачів та іншої комутаційної апаратури, які підвищують ризик здійснення неправильних перемикачів. При цьому можливі

наслідки призведуть до коротких замикань на устаткування або відключенням відповідальних технологічних комплексів.

У загальному випадку, незалежно від того, з якої причини відбулася відмова, подія, що його спричинила, відбувається випадковим чином.

Для забезпечення необхідного ступеня надійності обладнання в даний час використовують такі засоби [7]:

- резервування;
- технічне обслуговування;
- ремонт;
- управління процесами, що відбуваються в системі.

Резервування забезпечує підвищення надійності за рахунок надлишково введених елементів. Існує кілька видів резервування: структурне, функціональне, тимчасове та інформаційне.

Одним із основних питань економічного обґрунтування найкращого показника надійності електропостачання підприємства є об'єктивна оцінка кількісного значення економічних втрат (збитків) Раптове зникнення електроенергії у системі електропостачання підприємства призведе до наступних негативних наслідках:

1. Пошкодження основного обладнання, псування, поломка інструменту.
2. Порушення технологічного процесу.
3. Випуск браку, псування сировини та готової продукції.
4. Простій обладнання та не завантаженість робочого персоналу в час перерви в електропостачанні.
5. Недовипуск або невчасне вироблення продукції.
6. Додаткові економічні витрати, пов'язані зі зміною режиму роботи підприємства через необхідність організації додаткових робочих змін для виробництва продукції.
7. Непродуктивні витрати різних видів енергії (газу, стиснутого повітря тощо).
8. Зниження прибутку через зменшення виробництва продукції.
9. Накладення штрафів великими клієнтами за зрив строків постачання продукції.

Для розрахунку збитків від аварійних перерв електроенергії використаємо формулу [5]:

$$Z_{ав} = Z_p + B_{пр}, \quad (1.4)$$

де $Z_{ав}$ — збитки від аварійних перерв електроенергії;

Z_p – збитки від раптовості порушення електропостачання, що призводить до пошкодження обладнання, інструменту, випуску браку, втрати сировини тощо.

$V_{пр}$ – витрати за простій виробничого персоналу, що залежить від величини обмеження навантаження та його тривалості, кількості простоюючих працівників, їх кваліфікації.

Збитки від раптового порушення електропостачання підприємства залежить від кількості аварій протягом року $\lambda_{ав}$, їх тривалості $\tau_{ав}$ та глибини порушення електропостачання, що характеризується ступенем обмеження максимального електричного навантаження споживачів N_{max} [6]:

$$U_{вн} = \lambda_{ав} \cdot N_{max} \cdot \varepsilon \cdot U_{вн}(\varepsilon, \tau_{ав}), \quad (1.5)$$

де ε – ступінь обмеження максимального навантаження споживача:

$$\varepsilon = N_{обм} / N_{max} \quad (1.6)$$

$N_{обм} = \varepsilon N_{max}$ – обмеження максимального навантаження споживача:

$U_{вн}(\varepsilon, \tau_{ав})$ – питомі збитки від раптовості порушення електропостачання, залежить від ступеня обмеження навантаження та тривалості перерви електропостачання, грн/кВт навантаження, що відключається [2].

Витрати за простій залежать від кількості та тривалості перерв електропостачання $\lambda_{ав}$ і $\tau_{ав}$ згідно з наступною формулою [6]:

$$Z_{зп} = C_{пт} \cdot \sigma_1 \cdot \sigma_2 \cdot \tau_{ав} \cdot N_{max} \cdot \varepsilon \cdot \lambda_{ав}, \quad (1.7)$$

де $C_{пт}$ – питома годинна зарплата виробничим робітникам, віднесена до 1кВт максимального навантаження [6];

$\sigma_1 \approx 0,9$ – «коефіцієнт можливості часткового корисного використання вимушено простоюючого персоналу [6]

$\sigma_2 = 0,67$ – «коефіцієнт зменшення оплати виробничим робітником за час вимушеного простою (2/3 оплати праці за вимушений простій) [6];

Питома годинна зарплата виробничим робітникам, віднесена до 1кВт максимального навантаження розраховується за формулою [6]:

$$C_{пт} = O_{пгр} \cdot K_{вр} / P_{заг}, \quad (1.8)$$

де $O_{пгр}$ – середня погодинна оплата праці виробничого робітника;

$K_{вр}$ – кількість виробничих робітників;

$P_{заг}$ – загальна споживана підприємством потужність.

1.3. Висновки до першого розділу

Основні напрями підвищення надійності стосовно ТОВ «САВ-ТРАНС» пов'язані зі структурним резервуванням та збільшенням терміну служби та міжремонтного інтервалу електромеханічного обладнання.

Виходячи з проведеного аналізу схеми електропостачання виявлено, що на підприємстві є резервна лінія електроживлення. Таким чином, рішення проблеми підвищення надійності електропостачання підприємства можливе за рахунок впровадження автоматичного введення резерву (АВР). Це рішення також дозволить скоротити збитки від аварійного відключення електроенергії.

По-друге, підвищити надійність роботи електромеханічного обладнання на підприємстві можливе за рахунок зміни системи електроприводу.

РОЗДІЛ 2. ВПРОВАДЖЕННЯ АВР НА ТРАНСФОРМАТОРНІЙ ПІДСТАНЦІЇ

2.1. Аналіз видів АВР

Один з основних шляхів вирішення проблеми забезпечення стабільної подачі електроенергії полягає у впровадженні автоматичного введення резерву(АВР) у схему електропостачання підприємства.

Для вибору оптимального автоматичного введення резерву з врахуванням специфіки ТОВ «САВ-ТРАНС» необхідно провести аналіз АВР, запропонованих на ринку [3-8].

Усі АВР за типом виконання силових комутаторів поділяються на два види – електромеханічні та електронні.

У електромеханічних АВР роль силових комутаторів відіграють потужні контактори, автоматичні вимикачі або рубильники, які включаються електродвигуном.

В електронних АВР комутація струмів здійснюється електронними ключами (тиристорами чи транзисторами).

АВР на контакторах є найпоширенішими через простоту конструкції та низьку вартість комплектуючих. У даних АВР зазвичай застосовуються два контактори із взаємним електричним блокуванням спільно з електромеханічною. Найчастіше вони оснащуються реле контролю фаз, що встановлюється лише на одну фазу. Таке рішення здешевлює вартість АВР, але не дозволяє контролювати напругу на всіх трьох фазах і відповідно є менш вибірковим. Час перемикання в контактора АВР коливається в межах 0,1-0,8 сек.

Електромеханічні АВР на автоматичних вимикачах з електроприводом практично повністю відповідають АВР на контакторах за характеристиками також дозволяють реалізувати блокування (як електричне, так і механічне) при схемі з двома незалежними входами. Основною відмінністю їх від контакторних є збільшена кількість робочих перемикачів (від 3000 до 10000) порівняно з контакторними (близько 1000).

В електронному АВР, як вказувалося раніше, силовим комутуючим елементом є потужні тиристори чи транзистори. Завдяки високій швидкодії тиристорів, дані АВР забезпечують мінімальний час перемикання з основного введення резервний (не більше 5мсек). Кількість гарантованих перемикачів в електронних АВР практично необмежено (понад 1000000).

Для визначення надійності різних типів АВР необхідно виявити та прорахувати параметри, що впливають на надійність їхньої роботи.

2.2. Вимоги до пристрою та роботи АВР

Перед тим, як провести вибір автоматичного введення резерву, необхідно позначити основні вимоги до них.

- 1) пристрої АВР системи електропостачання повинні спрацьовувати:
 - максимально швидко після втрати електроенергії на основній лінії;
 - при будь-якому зникненні напруги на власних шинах споживача без аналізу причин виниклої несправності, якщо не передбачено блокування запуску від певного виду захисту. Наприклад, дуговий захист шин повинен блокувати запуск АВР з метою запобігання розвитку аварії;
 - з необхідною затримкою під час виконання певних технологічних циклів. Наприклад, під час увімкнення під навантаження потужних електродвигунів можливе «просідання» напруги, яке швидко закінчується;
 - завжди тільки одноразово, бо інакше можливе багаторазове включення на коротке замикання, що не усувається, здатне повністю зруйнувати збалансовану електричну систему» [5].
- 2) при використанні АВР повинні бути вжиті заходи, що виключають можливість замикання між собою двох незалежних джерел живлення один на одного, вимогам ПУЕ, та як правило потребують наявності не тільки електричного, а й механічного блокування комутуючих елементів [5].
- 3) затримка часу перемикавання з основного вводу на резервний має бути мінімальною і залежать від характеристик споживачів електроенергії. Однак, якщо в енергосистемі є джерела безперебійного живлення (ДБЖ), то час перемикавання не має суттєвого значення. Система АВР повинна мати можливість регулювання (збільшення) часу перемикавання на резервну лінію в тому у випадку, якщо робота електроустаткування не критична до часу перемикавання. Це дозволить уникнути зайвих перемикань при короткочасному провалі напруги живлення.
- 4) система АВР повинна мати можливість регулювання порогів спрацьовування АВР в діапазоні контрольованої напруги для основного та резервного вводу. Перш ніж зробити перемикавання на резервну лінію необхідно переконатися, що на ній є необхідна напруга. При цьому система не повинна реагувати на короткочасне просідання напруги на основному вводі.
- 5) наявність індикації стану та можливість управління АВР в ручному режимі [5].

2.3. Розрахунок параметрів АВР

При проектуванні системи гарантованого електропостачання, призначеної для забезпечення роботи електроустаткування підприємства, виникає завдання вибору конкретного виду автоматичного вводу резерву.

Для забезпечення безперебійної подачі електроенергії на ТОВ «САВ-ТРАНС» та швидкого відновлення електроживлення споживачів потрібно розробити нову систему електропостачання. Розв'язання даного завдання забезпечує АВР, який може підключити незалежне джерело електроенергії (другу лінію подачі електроенергії через трансформатор, акумуляторну батарею, генератор тощо). У такому разі перерва електропостачання може становити не більше $0,3 \div 0,8$ секунд.

2.3.1. Вибір напруги спрацьовування для перемикання вводу системи електроживлення

Більшість обладнання підприємства живиться трифазною напругою 380В з глухо заземленою нейтраллю і частотою мережі живлення 50Гц. Найчастішою причиною зникнення напруги в системі живлення є аварія на енергопостачальній лінії. Дані аварії відбуваються більше 7 відключень на рік. Тому АВР зобов'язаний контролювати рівень напруги в мережі і при його зниженні до значення спрацьовувати [6]:

$$U_{cp} = (0,25 \dots 0,4) \cdot U_{ном}, \quad (2.1)$$

тобто при напрузі, що дорівнює

$$U_{cp} = 95 \dots 150 \text{ В.}$$

зробити перемикання на резервне живлення.

2.3.2. Вибір силового устаткування комутації струмів навантаження АВР

Розрахунок робочого струму АВР

Для проектування елементів, що входять до складу АВР, нам необхідно визначити максимальну величину струму, що проходить через АВР.

Використовуючи технічну документацію на обладнання, що встановлене на підприємстві, знаходимо загальну потужність, що перемикається АВР, по формулі [2, 7]:

$$P_{заг} = P_{ц1} P_{ц2} P_{\delta}, \quad (2.2)$$

де $P_{ц1}=74$ кВт – потужність всього обладнання, встановленого в ділянці 1.

$P_{ц2} = 93$ кВт – потужність всього обладнання, встановленого в ділянці 2;

$P_{\partial} =23$ кВт – потужність всього обладнання, встановленого в майстерні.

Тоді $P_{заг} =74 + 93 + 23=190$ кВт.

$$I_{ном} = \frac{P_{заг}}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi}, \quad (2.3)$$

де $U = 380$ В – лінійна напруга мережі;

$\cos \varphi = 0,76$ – коефіцієнт потужності.

$$I_{ном} = \frac{190000}{\sqrt{3} \cdot 380 \cdot 0,76} = 380,76 \text{ А.}$$

Тоді

Для забезпечення гарантованої довготривалої роботи АВР рекомендується брати коефіцієнт запасу [5]:

$$K_3 = 1,3$$

В результаті отримуємо:

$$I_{АВР} = K_3 \cdot I_{ном} = 1,3 \cdot 380,76 = 494,98 \approx 500 \text{ А}$$

Відмітимо також, що здатність навантаження трансформатора КТП-26а тип ТМ-400 6/0,4кВ 400кВА розраховується за формулою:

$$I_n = P_n : U_n : \sqrt{3} = 400000 : 380 : 1,732 = 607,75 \text{ А.}$$

Таким чином, для забезпечення гарантованої роботи автоматичне введення резерву та комутаційна апаратура підприємства повинні вибиратися за струмом, рівним або більшим, ніж 607,75А.

Вибираємо із стандартного найближчого значення 630А. Саме на струм 630А ми проектуватимемо силову апаратуру АВР.

2.4. Алгоритм вибору виду АВР

Існує кілька видів АВР [4-6], проблема вибору оптимального варіанта АВР вирішується з кожним споживачем індивідуально, однак є загальні критерії вибору, які можна систематизувати.

Насамперед споживачеві необхідно визначитися з напругою на вводах. Якщо для електропостачання споживача використовується напруга не вище 10кВ, то можна використовувати АВР з будь-якими комутуючими пристроями: на контакторах, автоматичних вимикачах та тиристорах.

Природно, що на тиристорах АВР коштуватиме значно дорожче.

По-друге, необхідно знати параметри навантаження: яке споживається потужність та максимальний струм навантаження. Відомо, що автоматичні вимикачі виготовляються практично на будь-які струми, той час, як використання контакторів та тиристорів на струмах вище 1000А стає небажаним, а понад 5000А неможливим.

По-третє, тому що тиристорні АВР використовують у своєму складі логічні програмовані контролери, які критичні до температури навколишнього середовища, то їх використання можливе тільки в опалюваних приміщеннях із температурою не нижче +5°C.

По-четверте, якщо забезпечення безперебійної роботи обладнання на підприємстві потрібно забезпечити мінімальний час перемикання на резервне електропостачання, то в даному випадку необхідно використовувати тільки тиристорні АВР.

Також важливим питанням є кількість вводів електроенергії та характеристики альтернативних джерел енергії. Зазвичай для підприємства є два джерела електроенергії, набагато рідше три.

Як джерело електроенергії на резервному ввіді найчастіше використовується або друга кабельна лінія, або дизельний або газовий генератор. При використанні генератора знадобиться ускладнення схеми АВР задля забезпечення його запуску.

Також у виборі типу АВР відіграє ціновий сегмент. До бюджетних можна віднести АВР на контакторах, а до середніх – на автоматичних вимикачах. У тих же випадках, коли обладнання критичне до швидкості відновлення електропостачання, доцільно використовувати дорогі тиристорні АВР.

Для спрощення вибору АВР нами було розроблений алгоритм його вибору.

Алгоритм вибору виду АВР.

Виходячи з алгоритму, представленого на рис. 2.1, стосовно ТОВ «САВ-ТРАНС», отримуємо:

- напруга живлення 380В;
- приміщення, трансформаторної підстанції, де буде встановлено АВР, неопалювальне;
- максимальний струм навантаження 630А, що менше 1000А;
- час перемикання не є критичним.

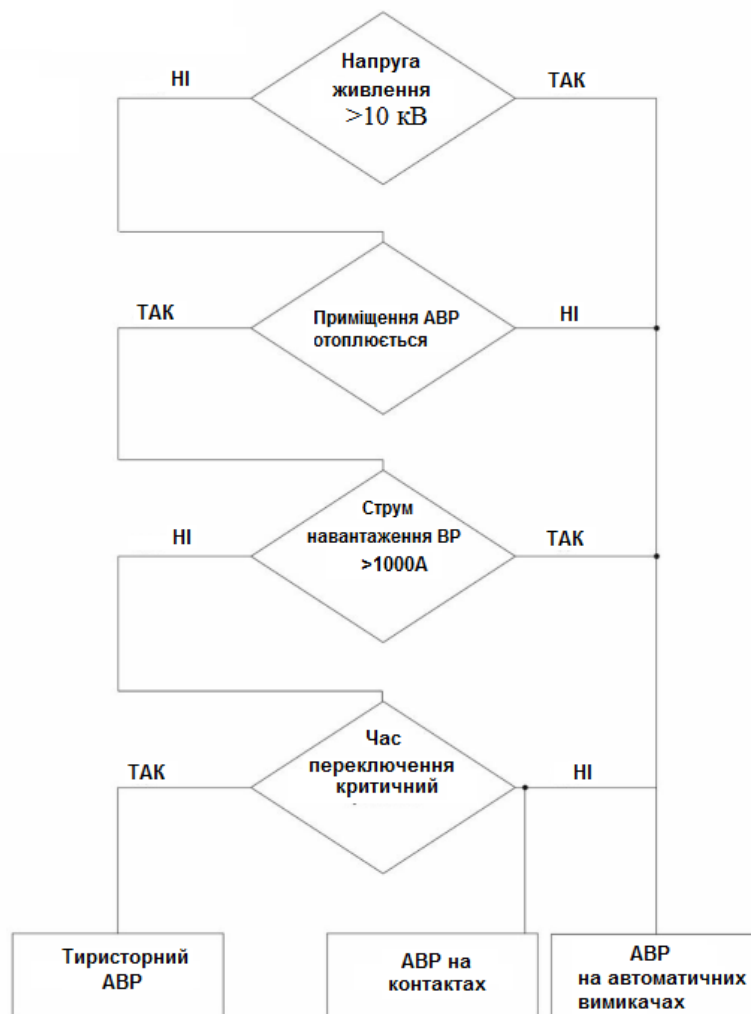


Рисунок 2.1 – Алгоритм вибору АВР

Відповідно до розробленого алгоритму, враховуючи, що АВР буде розташовуватися в неопалюваному приміщенні, залишається вибір з двох типів АВР: на контакторах та автоматичних вимикачах. Ґрунтуючись на даних про кількість гарантованих перемикачів, вибір виду АВР зупиняємо АВР на автоматичних вимикачах.

2.5. Висновки до розділу 2.

1. Для ТОВ «САВ-ТРАНС» доцільно використати АВР на автоматичних вимикачах, оснащений програмованим контролером, т.к. він дозволяє працювати в неопалюваних приміщеннях.

2. Прийнятним є АВР типу ТСМ 630/630А 3р (ats-tsm-630А-3р-pro) ЕКФ PROxima, так як даний пристрій відповідає струму 630А, оснащене програмованим багатофункціональним контролером з можливістю регулювання параметрів захисту.

3. Алгоритм вибору АВР має складатися із послідовних етапів:

- визначення робочої напруги;
- температурний режим роботи АВР;
- потужність навантаження, споживаний струм;
- критичність часу перемикання між введеннями АВР.

4. Застосування алгоритму дозволяє прискорити процес вибору АВР для конкретного споживача.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РОБОТИ ПІДЙІМАЛЬНО-ТРАНСПОРТНОГО ОБЛАДНАННЯ

3.1 Порівняльний аналіз електроприводів підйімально-транспортного обладнання

Особливості сучасних технологічних процесів під час ремонту визначають вибір нових конструкцій електроприводів та вимоги до них. Основні з цих особливостей наступні: необхідність подачі кількох деталей в одну виробничу точку, підвищена продуктивність обладнання, обмеження моменту в елементах механізму.

На підставі особливостей технологічних процесів формуються вимоги до електроприводу підйімально-транспортного механізму. Найбільш важливими вимогами є:

- 1) регулювання кутової швидкості двигуна відносно в невеликому діапазоні, що необхідно для отримання знижених швидкостей і більше точного переміщення;
- 2) наявність плавного пускового моменту, зниження ймовірності поломок деталей приводу;
- 3) забезпечення необхідної жорсткості механічних характеристик приводу, особливо регульовальних, з тим щоб низькі швидкості майже не залежали від моменту валу.

В даний час для реалізації даних вимог як електропривода для підйімально-транспортних механізмів застосовується нерегульований асинхронний електропривод.

До його переваг відносять простоту пристрою і нескладність технічного обслуговування.

Однак недоліків у цього приводу набагато більше:

- висока ймовірність утворення заторів, що призводить до перегріву та поломці електроприводу;
- підвищений знос транспортного механізму,
- висока питома витрата енергії, пов'язана з конструкцією підйомно-транспортного механізму.

Двигун нерегульованого асинхронного приводу працює в номінальному режимі, що виключає можливість зміни частоти обертання і не забезпечує високої продуктивності з відносно малими втратами енергії.

Аналізуючи існуючий підйимально-транспортний механізм, приходимо до висновку, що доцільно провести його модернізацію.

Таким чином, керуючись розробками провідних фірм та фахівців у галузі транспортування матеріалів, скористаємося наступними розробками:

1) електропривод підйимально-транспортного механізму виконаємо регульованим.

2) для приводу механізму застосуємо двигун – редуктор.

Відомі різні способи регулювання кутової швидкості електроприводів змінного струму, найбільшого поширення їх отримали такі:

1) реостатне регулювання;

2) перемиканням числа пар полюсів;

3) зміною напруги;

4) частотне регулювання.

Всі ці способи детально описані в науково-технічній літературі та підручники для вузів. Проаналізуємо їх переваги та недоліки.

«Введення резисторів у ланцюг ротора (реостатне регулювання) дозволяє, як і для двигуна постійного струму, регулювати кутову швидкість двигуна. Плавність регулювання залежить від числа ступенів вмикаємих резисторів. Регулювання здійснюється вниз від основної кутової швидкості. Енергетичні показники регульованого електроприводу за цикл залежать від режиму роботи. При тривалому режимі вони значно нижчі, ніж при повторно-короткочасному. В обох випадках вони тим вищі, чим менший діапазон регулювання і чим більшу частину часу привід працює на підвищених швидкостях. Реостатне регулювання застосовується для двигунів із фазним ротором» [8].

Недоліками такого способу є:

1) необхідність дискретної зміни опору в роторному ланцюзі за допомогою силових апаратів, що керуються дистанційно або вручну, що дає ступінчасте регулювання швидкості та виключає можливість використання замкнутих систем автоматичного керування;

2) невисока швидкодія;

3) великі втрати енергії» [8].

Існує інший спосіб регулювання кутової швидкості шляхом перемикання числа полюсів. Такий спосіб реалізується практично в асинхронні електродвигуни з короткозамкненим ротором, де перемикання полюсів проводиться в обмотці статора, обмотка ротора при цьому автоматично пристосовується до обраного числа полюсів.

Використання двигуна з фазним ротором недоцільне через ускладнення конструкції двигуна. Регулювання кутової швидкості перемиканням числа

полюсів не є плавним, а ступінчастим. Разом з тим, що розглядається спосіб регулювання є дуже економічним і відрізняється механічними характеристиками, що мають велику жорсткістю. Завдяки своїм перевагам двигуни з перемиканням полюсів знаходять застосування там, де не потрібно плавного регулювання швидкості. З урахуванням особливостей роботи підйимально-транспортних механізмів можна зробити висновок, що використовувати такий спосіб регулювання у нашому випадку не можна [8].

Якщо регулювати напругу, що підводиться до трьох фаз статора асинхронного двигуна, то можна змінювати максимальний момент, не змінюючи критичного ковзання. Пристроєм для регулювання напруги може бути, наприклад, тиристорний регулятор напруги (ТРН); при цьому в кожній фазі статора двигуна знаходяться два зустрічно-паралельно включені тиристора. Керуючи кутом включення тиристорів (фазове управління), можна плавно змінювати активне значення напруги. Регулювання кутової швидкості двигуна при даному способі відбувається за рахунок зменшення модуля жорсткості механічних характеристик і здійснюється вниз від номінальної кутової швидкості. Плавність регулювання визначається плавністю зміни напруги; при застосуванні ТРН кутова швидкість регулюється безступінчасто. Такий спосіб регулювання неекономічний для двигунів з короткозамкненим ротором, його можна використовувати тільки при малій потужності та в короткочасному режимі роботи. Застосування такого способу недоцільно для приводу, оскільки зменшуються пусковий момент та швидкодія електроприводу, що не відповідає вимогам до даного механізму [8].

З розвитком напівпровідникової техніки дедалі більше знаходить застосування частотного регулювання кутової швидкості. Частотне регулювання найкраще використовується в асинхронному двигуні з короткозамкненим ротором.

Економічні вигоди частотного регулювання особливо суттєві для приводів, що працюють у повторно-короткочасному режимі.

Для здійснення частотного регулювання кутової швидкості знаходять застосування перетворювачі частоти (ПЧ), на виході яких за необхідним співвідношенню чи незалежно змінюється як частота, так і амплітуда напруги [8].

Останнім часом у зв'язку з розробкою потужніших транзисторів, розрахованих на напругу до 1000 В і струм у кілька десятків і навіть сотень ампер, стало можливим виробництво транзисторних перетворювачів частоти. Транзисторний ПЧ економічніший і надійніший, ніж тиристорний, через меншу кількість перемикаючих елементів. Ці перетворювачі можуть

виконуватися і з інверторами з ШІМ. У цьому випадку кількість елементів скорочується ще різкіше проти тиристорним АІН ШІМ.

Транзисторні перетворювачі частоти для регульованих електроприводів малої та середньої потужності є більш перспективними, ніж тиристорні. Саме такий вид перетворювача застосовується для приводу механізму. Підсумовуючи, можна сказати, що частотне регулювання кутової швидкості є найекономічнішим [8].

При виборі конкретної системи електроприводу слід враховувати не тільки технічні особливості функціональних елементів електроприводу, а також і сформовані партнерські зв'язки з конкретними постачальниками даних виробів. Крім того, обладнання, що встановлюється, повинно розміститися в існуючих виробничих площ. Для того, щоб електропривод працював в оптимальному режимі, необхідно правильно вибрати перетворювач частоти.

Для оцінки технічних характеристик приводу відповідність вимогам до механізмів необхідно провести математичне моделювання спроектованого приводу та проаналізувати результати моделювання.

Загалом модернізація електроприводу потребує вирішення ряду типових задач. Наприклад, необхідно: вибрати мотор-редуктор, провести розрахунок та вибір елементів силового каналу; виконати математичне моделювання приводу для перевірки його роботоздатності.

3.2. Вибір електродвигуна

З врахуванням споживаної електродвигуном потужності вибираємо мотор редуктор, параметри двигуна якого представлені в табл. 3.1 редуктора у табл. 3.2.

Таблиця 3.1 - Параметри асинхронного двигуна IMM90L2S4

Типорозмір двигуна	Потужність, кВт	Струм, I _n , А	Момент Н·м	ККД, %	Коефіцієнт потужності	Ковзання, %	$\frac{M_{пуск}}{M_{ном}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$	$\frac{I_{пуск}}{I_{ном}}$	Вага, кг
Синхронна частота обертання 3000 об/хв										
IMM90L2S4	2,20	4,4	7,3	83,4	0,87	5,0	1,8	3,0	7,0	16,5

Для отримання заданої частоти обертання в електроприводі застосуємо співвісний редуктор виробництва S.T.M. Італія марка AMF 40/2 з передавальним числом 1/7.6

Таблиця 3.2 - Параметри співвісного редуктора АМФ 40/2

Крутний момент на вихідному валу		Передавальне відношення		Потужність електродвигуна, кВт		Швидкість обертання вихідного валу $n_1/xв$		Типорозмір редуктора
T_{min}	T_{max}	I_{min}	I_{max}	P_{min}	P_{max}	M_{min}	M_{max}	
400	1000	3,478	2332.7	0.55	7.50	0.65	432	10...180

3.3. Розрахунок та вибір елементів силового каналу електроприводу

Максимальний струм через ключі інвертора визначаються виразом [8]:

$$I_{max} = \frac{P_{ном} \cdot k_1 \cdot \sqrt{2} \cdot k_2}{\eta_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \sqrt{3} \cdot U_{л}}, \quad (3.1)$$

$$I_{max} = \frac{2200 \cdot 1,4 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,1}{0,85 \cdot 0,87 \cdot \sqrt{3} \cdot 380} = 9,83 \text{ А}$$

де $P_{ном}$ – номінальна потужність двигуна, Вт;

k_1 – коефіцієнт допустимої короточасного перевантаження по струму, необхідний для забезпечення динаміки ЕП [8];

k_2 – коефіцієнт допустимої миттєвої пульсації струму [8];

$\eta_{ном}$ – комінальний ККД двигуна;

$U_{л}$ – лінійна напруга двигуна, В.

Таким чином, вибираємо стандартний перетворювач частоти - ATV312HU30N4 (Schneider Electric) (IP20, P = 3 кВт, $U_1 = 380 \dots 500$ В, $I_1 = 10.9$ А, $I_2 = 8.3$ А, $f_1 = 47.5 \dots 63$ Гц, $f_2 = 0 \dots 500$ Гц, $U_2 = 0 \div U_1$, В.

Управління швидкістю обертання електроприводу будемо здійснювати потенціометром 10кОм, винесений на пульт управління оператора. Схема керування електроприводу з частотним перетворювачем представлена на рис. 3.1

Для узгодження роботи електродвигуна з перетворювачем частоти необхідно провести параметрування останнього. Основні параметри електродвигуна необхідно внести в пам'ять перетворювача частоти ATV312HU30N4.

Програмування меню перетворювача частоти ATV312HU30N4 [drc-] показано в табл.3.3.

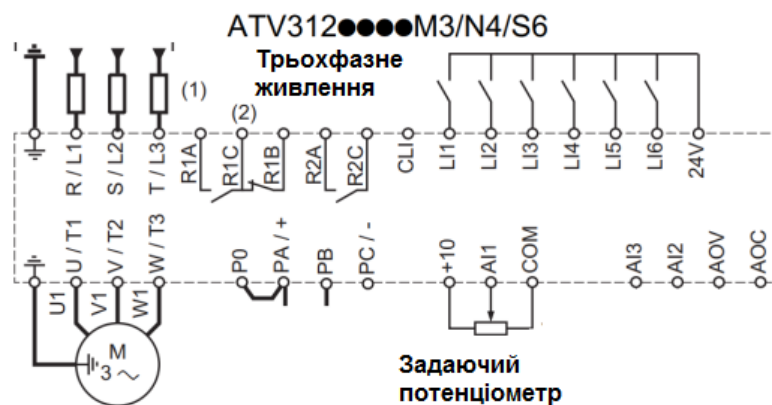


Рисунок 3.1 Схема керування електроприводом із частотним перетворювачем

Таблиця 3.3 - Параметри меню [drc-] перетворювача частоти ATV312HU30N4

Код	Опис	Одиниця виміру	Величина
bFr	Частота стандартного двигуна	Гц	50
Uns	Номінальна напруга двигуна	В	380
Frs	Номінальна частота двигуна	Гц	50
nCr	Номінальний струм двигуна	А	4,4
COS	Косинус φ двигуна		0,87

3.4. Вибір конструкції підйимально-транспортного механізму

Внаслідок великої різноманітності транспортуючих машин для вирішення однієї і тієї ж задачі можна використовувати різні конструкції.

Основним критерієм вибору транспортуючої машини є її відповідність комплексу заданих технічних вимог та техніко-економічна ефективність її застосування. Найважливішими умовами вибору машини є забезпечення надійності її роботи в заданих умовах, а також задоволення вимог екології та безпеки праці. Ці умови в ряді випадків змушують приймати менш витратні рішення щодо економічної оцінки.

Технічні показники вибору конструкції. Вибір оптимального типу конструкції визначають такі фактори:

- характеристика вантажу, що транспортується;
- необхідна продуктивність машини;
- довжина та конфігурація траси транспортування вантажу;
- способи завантаження та розвантаження;
- умови роботи машини;

- надійність машини.

Економічні чинники вибору машини. Необхідність відповідати всім вище розглянутим технічним факторам можуть бути кілька типів конструкцій механізмів.

Остаточне рішення приймається після проведення техніко-економічного аналізу вибраних варіантів конструкцій.

Під час його проведення визначають:

- капітальні витрати на створення (придбання) та встановлення;
- експлуатаційні витрати та собівартість;
- чисельність робітників, зайнятих на роботах;
- терміни окупності капітальних витрат.

3.4.1 Розрахунок параметрів асинхронного двигуна

Довідкові дані асинхронного двигуна IMM90L2 наведені в таблиці 3.4

Таблиця 3.4. Характеристика асинхронного двигуна IMM90L2

Номінальна потужність	$P_H = 2,2\text{кВт}$
ККД	$\eta = 0,834$
Коефіцієнт потужності двигуна	$\cos \varphi = 0,87$
Номінальна фазна напруга	$U_\phi = 220\text{В}$
Число фаз обмотки статора	$m=3$
Параметри Г-подібної схеми заміщення у відносних одиницях:	
Головний індуктивний опір	$x'_\zeta = 2,7$
Індуктивний опір розсіювання обмотки статора	$x'_1 = 0,05$
Активний опір розсіювання обмотки статора	$r'_1 = 0,07$
Індуктивний опір розсіювання обмотки ротора	$x''_2 = 0,08$
Активний опір розсіювання обмотки ротора	$r''_2 = 0,04$

Розрахунок номінального фазного струму статора:

$$I_\phi = \frac{P_2}{m_1 \cdot U_\phi \cdot \cos \varphi \cdot \eta}, \quad (3.2)$$

$$I_\phi = \frac{2200}{3 \cdot 220 \cdot 0,87 \cdot 0,834} = 4,57\text{А.}$$

Розрахунок індуктивного опору розсіювання:

$$x_1 = \frac{2x'_1 \cdot x_\zeta}{x_\zeta + \sqrt{x_\zeta^2 + 4x'_1 x_\zeta}}, \quad (3.3)$$

$$x_1 = \frac{2 \cdot 0,05 \cdot 2,7}{2,7 + \sqrt{2,7^2 + 4 \cdot 0,05 \cdot 2,7}}$$

Розрахунок активного опору розсіювання:

$$r_1 = r'_1 \cdot x_1 / x'_1, \quad (3.4)$$

$$r_1 = 0,07 \cdot \frac{0,045}{0,05} = 0,06.$$

Визначення коефіцієнта переводу відносних одиниць фізичні відповідно до формули:

$$c = \frac{U_\phi}{I_\phi}, \quad (3.5)$$

$$c = \frac{220}{4,57} = 48,1.$$

Розрахунок активного опору обмотки статора:

$$R_c = r_1 \cdot c = 0,06 \cdot 48,1 = 2,88, Ом \quad (3.6)$$

Розрахунок взаємної індуктивності фаз ротора і статора:

$$L_w = \frac{x_\zeta \cdot c}{2\pi f} = \frac{2,7 \cdot 48,1}{314} = 0,412 \text{ Гн.} \quad (3.7)$$

Визначення повної індуктивності фази статора:

$$L_c = \frac{(x_\zeta + x_1 c)}{2\pi f}, \quad (3.8)$$

$$L_c = \frac{(2,7 + 0,04 \cdot 48,1)}{314} = 0,418 \text{ Гн.}$$

Визначення активного опору обмотки ротора:

$$R_p = \frac{r_2'' \cdot c}{c_1^2} = \frac{0,04 \cdot 48,1}{1,25^2} = 1,23, Ом \quad (3.9)$$

$$\text{де } c_1 = \frac{0,05}{0,04} = 1,25.$$

Визначення повної індуктивності фаз ротора:

$$L_p = \frac{(x_\zeta + \frac{x_2''}{2}) \cdot c}{2\pi f \cdot c_1} \quad (3.10)$$

$$L_p = \frac{(2,7 + \frac{0,08}{1,25^2}) \cdot 48,1}{314} = 0,422 \text{ Гн.}$$

Розрахунок коефіцієнта електромагнітного зв'язку ротора і статора:

$$k_c = \frac{L_w}{L_c}, k_p = \frac{L_w}{L_p} \quad (3.11)$$

$$k_c = 0,985, k_p = 0,980.$$

Розрахунок коефіцієнта розсіювання обмоток:

$$\theta = (1 - k_c \cdot k_p), \quad (3.12)$$

$$\theta = (1 - 0,985 \cdot 0,980) = 0,034.$$

Розрахунок перехідної індуктивності статора:

$$L_c' = L_c \cdot \theta, \quad (3.13)$$

$$L_c' = 0,418 \cdot 0,0340 = 0,014 \text{ Гн.}$$

Розрахунок індуктивного опору розсіювання статора:

$$x_{c\theta} = 2\pi f (L_c - L_w), \quad (3.16)$$

$$x_{c\theta} = 314(0,418 - 0,412) = 1,91 \text{ Ом,}$$

Розрахунок індуктивного опору розсіювання ротора:

$$x_{p\theta} = 2\pi f (L_p - L_w), \quad (3.17)$$

$$x_{p\theta} = 314(0,422 - 0,412) = 3,14 \text{ Ом.}$$

3.4.2. Визначення механічних характеристик асинхронного двигуна при частотному скалярному керуванні

Розрахунок критичного моменту механічних характеристик

$$M_k = \frac{3h^2 \cdot U_c^2}{2 \cdot f_c \cdot \omega_c \cdot \left(R_c \pm \sqrt{R_c^2 + (f_c \cdot x_k^2)} \right)}, \quad (3.18)$$

$$M_k = \frac{3 \cdot 220^2}{2 \cdot 314 \cdot \left(2,8 + \sqrt{2,8^2 + 4,7^2} \right)} = 27,96 \text{ Нм.}$$

$$\text{де } f_c = 1.$$

$$h=1.$$

Отже, при зниженні частоти зменшується величина критичного моменту та знижується жорсткість показників. Це пояснюється тим, що зі зростанням навантаження відбувається падіння напруги на активному опорі статорної обмотки. У свою чергу це призводить до зменшення магнітного потоку, а отже, до зниження електромагнітного моменту.

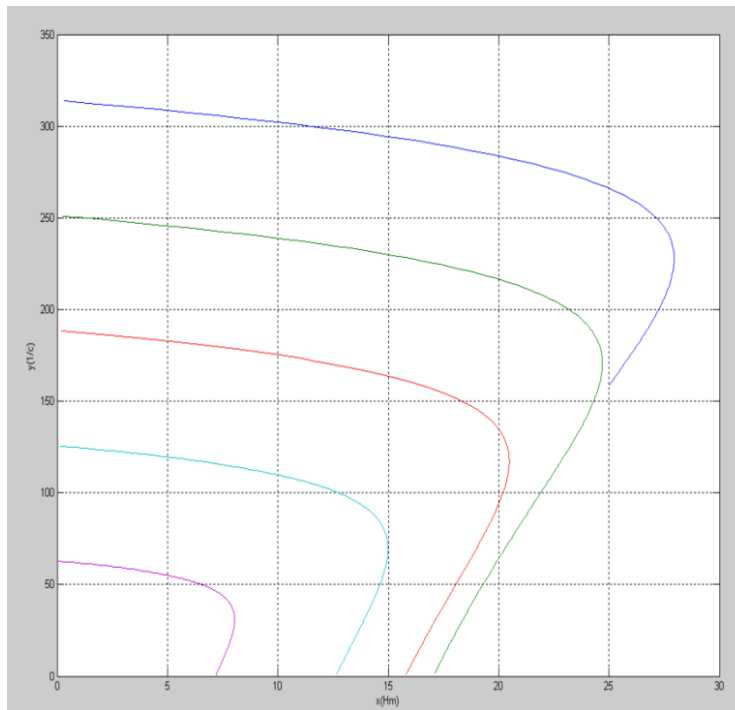


Рисунок 3.5 – Механічні характеристики асинхронного двигуна при частотному регулюванні $U_c / f_c = const$.

Для побудови механічних характеристик при $M_k = const$ необхідно знайти відносні величини напруги на статорі двигуна при зміні частоти, використовуючи наступний вираз [8]:

$$27,96 = \frac{3h^2 \cdot 220^2}{2 \cdot f_c \cdot 314 \cdot \left(2,8 + \sqrt{2,8^2 + f_c \cdot 4,7^2} \right)}, \quad (3.19)$$

В ході розрахунку отримуємо:

1. При $f_c = 0,2$ величина $h=0.373$.
2. При $f_c = 0,4$ величина $h=0.545$.

3. При $f_c = 0,6$ величина $h=0,703$.
4. При $f_c = 0,8$ величина $h=0,840$.

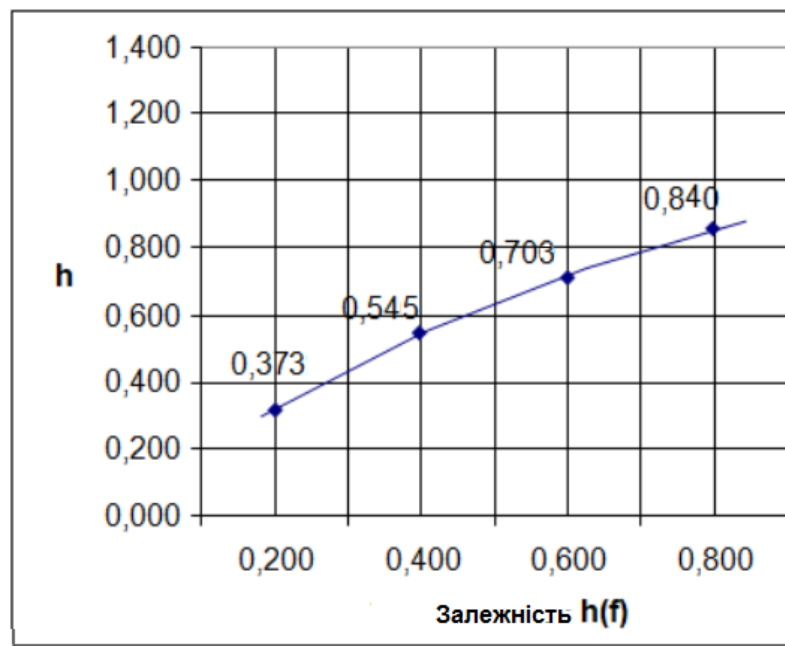


Рисунок 3.6 – Залежність

Для забезпечення регулювання швидкості обертання ротора електродвигуна з постійним моментом потрібно реалізувати пропорційне частотне регулювання з $I \cdot r$ компенсацією.

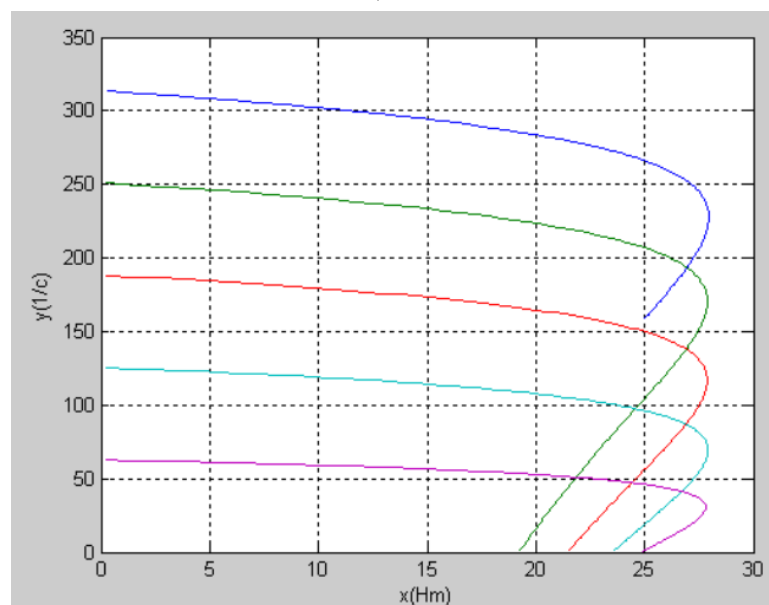


Рисунок 3.8 – Механічні характеристики при пропорційному частотному регулюванні з $I \cdot r$ компенсацією

Математичне моделювання режимів роботи електроприводу з частотним керуванням [8].

Для математичного опису та моделювання асинхронного електроприводу з частотним керуванням узагальнені вектори величин

асинхронного двигуна записуються в ортогональній системі координат α, β , нерухомий щодо статора [8]:

$$\begin{aligned} U_c &= U_{c\alpha} + j \cdot U_{c\beta}; \\ i_c &= i_{c\alpha} + j \cdot i_{c\beta}; \\ \phi_c &= \phi_{c\alpha} + j \cdot \phi_{c\beta}; \\ \phi_p &= \phi_{p\alpha} + j \cdot \phi_{p\beta}. \end{aligned} \quad (3.21)$$

Система координат α, β зручна при аналізі систем, коли в ланцюзі статора машини має місце не симетрія, зокрема, включені транзисторні ключі автономного інвертора, чи існує коротке замикання статорних ланцюгів. Крім того, вісь α збігається з магнітною віссю α фази реальної асинхронної машини. Звідси проекція струму $i_{c\alpha}$ буде дорівнювати реальному струму двигуна [8].

Складемо рівняння асинхронного двигуна при $\omega_k = 0$ і $U_p = 0$.

$$\left. \begin{aligned} i_{c\alpha} &= \frac{1}{L_c'} \cdot \phi_{c\alpha} - \frac{k_p}{L_p} \cdot \phi_{p\alpha}; & i_{p\alpha} &= -\frac{k_c}{L_p'} \cdot \phi_{c\alpha} + \frac{k_p}{L_p} \cdot \phi_{p\alpha} \\ i_{c\beta} &= \frac{1}{L_c'} \cdot \phi_{c\beta} - \frac{k_p}{L_p} \cdot \phi_{p\beta}; & i_{p\beta} &= -\frac{k_c}{L_p'} \cdot \phi_{c\beta} + \frac{k_p}{L_p} \cdot \phi_{p\beta} \end{aligned} \right\} \quad (3.22)$$

де $L_c' = \theta \cdot L_c$, $L_p' = \theta \cdot L_p$, $k_c = \frac{L_w}{L_c}$ і $k_p = \frac{L_w}{L_p}$ – відповідно коефіцієнти зв'язку статора і ротора;

$$\theta = \left(1 - \frac{L_w^2}{L_c \cdot L_p}\right) = -k_c \cdot k_p \text{ – коефіцієнти розсіювання.}$$

Як було показано вище, «позначення електромагнітного моменту асинхронного двигуна є векторним добутком просторових векторів струму та потокозчеплень. Вибір того чи іншого виду рівняння для електромагнітного моменту здійснюється за умови раціональної побудови структурної схеми математичної моделі [8].

$$M_e = 1,5 \cdot (\phi_{c\alpha} \cdot i_{c\beta} - \phi_{c\beta} \cdot i_{c\alpha}). \quad (3.23)$$

Математична модель асинхронного двигуна побудована по рівнянням (3.11 -3.17) в системі координат (α, β) і наведена на рис. 3.9.

В якості вхідних напруг $U_{c\alpha}$ і $U_{c\beta}$ подаються сигнали від джерел «SineWave» [8].

$$U_{c\alpha} = U_w \cdot \cos \omega_0 \cdot t;$$

$$U_{c\beta} = U_w \cdot \sin \omega_0 \cdot t.$$

де $U_w = \sqrt{2} \cdot 220 = 310\text{В}$ – амплітуда вхідної напруги;

$\omega_0 = 314^{-1}$ – кутова частота електромагнітного поля статора.

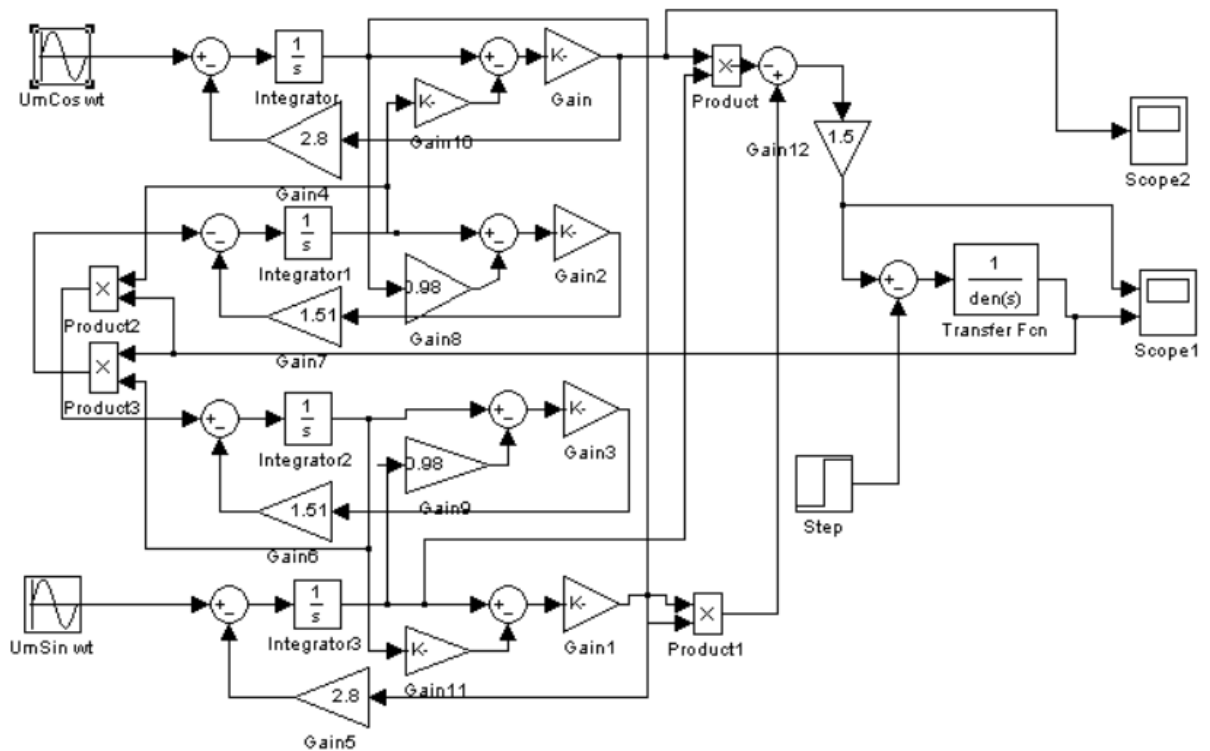


Рисунок 3.9 – Математична модель асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором і нерухомій системі координат (α, β) .

У вікні блоку налаштування SineWave необхідно встановити амплітуду – 310, кругову частоту – 314 rad/sec та фазу коливань – 1,57 rad, а у вікні налаштування блоку SineWave 1 задати амплітуду – 310, кругову частоту - 314 rad/sec та фазу коливань – 0 rad. Вікно налаштувань SineWave активується після перенесення джерела сигналу у робочу область моделювання. Застосування блоків SineWave забезпечує живлення статорних ланцюгів асинхронного двигуна двофазною змінною напругою [8].

Момент опору навантаження на валу двигуна створюється блоком Step. Для дослідження роботи асинхронного електроприводу з пропорційним законом скалярного частотного керування необхідно живити статорні обмотки від моделі перетворювача частоти (модель IGBT - Inverter). Для створення моделі IGBT-Inverter використовуємо модель гармонійних коливань регульованої частоти, яка є модель ідеального перетворювача частоти.

На рис. 3.10а наведені порівняльні осцилограми електромагнітного моменту M_E та кутової швидкості ротора асинхронного двигуна при прямому пуску (криві 1) та частотному пуску (криві 2). При частотному пуску використовувався пропорційний закон частотного управління $U_c/f_c = \text{const}$. Як видно з осцилограм, електромагнітний момент M_E двигуна при частотному пуску підтримується в середньому на одному рівні, що дозволяє забезпечити

постійний динамічний момент та плавний розгін двигуна. При цьому відсутня ударний крутний момент, і рух ротора двигуна починається м'яко.

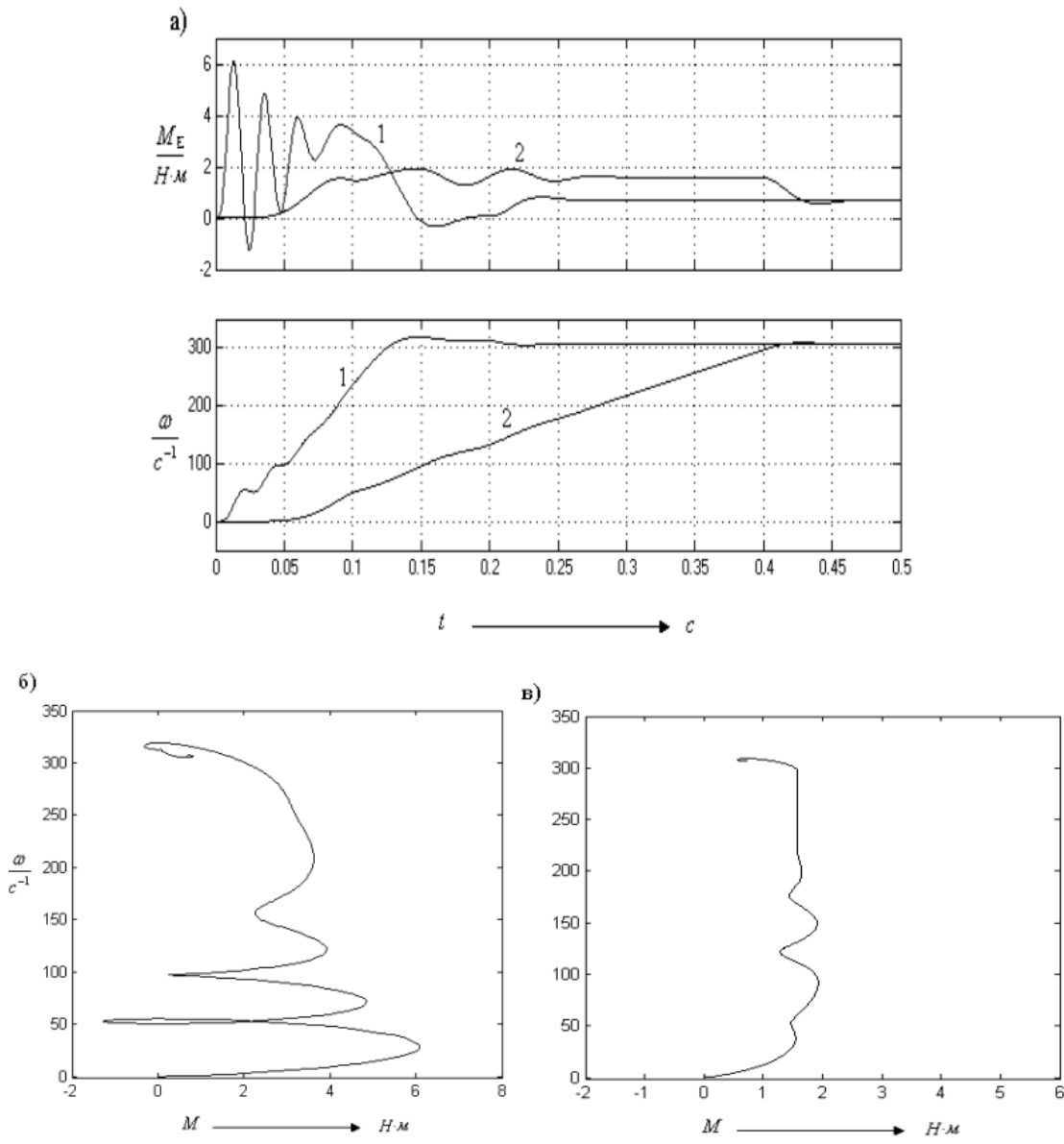


Рисунок 3.10 – Результати моделювання процесів запуску асинхронного двигуна.

Порівняння динамічних характеристик $\omega = f(M)$ показує, що частотне управління пуском дозволяє приблизити характеристику (рис. 3.10в) до кривої, що забезпечує пуск двигуна з більш постійним моментом ніж характеристикою (рис. 3.10,б) прямого пуску асинхронного двигуна.

3.5. Оцінка ефективності технічних рішень

На підставі лінійної схеми електропостачання підприємства ТОВ «САВ-ТРАНС» відповідно до рисунка 1.1 було доведено, що є структурне

резервування лінії електроживлення. Воно полягає у наявності двох незалежних трансформаторних підстанцій, кожна з яких може здійснювати електропостачання підприємства. Відомо [11], що при паралельному з'єднанні двох резервованих ланцюгів результуюча надійність системи підвищується.

Одним із показників надійності системи є коефіцієнт вимушеного простою, що визначається за формулою [11]:

$$K_{ВП} = \frac{\omega \cdot T_T}{8760}, \quad (3.24)$$

де ω – кількість відказів за рік;

T_T – середня тривалість однієї відмови.

Відомо [11], що менше даний коефіцієнт, тим вища надійність системи. Виходячи з даних про відмови за 2023 рік, зазначених у таблиці 1.1, середній час відновлення електропостачання на підприємстві:

$$T_{Ві} = \frac{T_{сум}}{\omega} = \frac{11,25}{6} = 1,87 \text{ год.} \quad (3.25)$$

Визначаємо коефіцієнт вимушеного простою:

$$K_{Ві} = \frac{6 \cdot 1,87}{8760} = 12,84 \cdot 10^{-4}.$$

При впровадженні АВР у систему електропостачання підприємства середній час вимушеного простою обладнання:

$$T_{АВР} = 0,8 \text{ сек} = 2,217 \cdot 10^{-4} \text{ год.} \quad (3.26)$$

Тоді коефіцієнт вимушеного простою при впровадженні АВР складе:

$$K_{Ві} = \frac{6 \cdot 2,217 \cdot 10^{-4}}{8760} = 1,518 \cdot 10^{-4}.$$

3.6. Висновок по розділу 3

Як видно з отриманих результатів, під час впровадження в систему електропостачання автоматичного введення резерву, коефіцієнт вимушеного простою багаторазово зменшується, а, отже, надійність системи підвищиться.

При впровадженні АВР у систему електропостачання підприємства коефіцієнт вимушеного простою складе $1,518 \cdot 10^{-4}$ у порівнянні $12,84 \cdot 10^{-4}$ без впровадження АВР.

ВИСНОВОК

У даній кваліфікаційній роботі обґрунтовано доцільність встановлення автоматичного введення резерву в систему електропостачання ТОВ «САВ-ТРАНС» та заміни нерегульованого асинхронного приводу підйимально-транспортного механізму на частотно регульований асинхронний привід.

З метою підвищення надійності електропостачання обладнання підприємства проведено аналіз різних видів автоматичного введення резерву (АВР), здійснено розрахунок та вибір силового обладнання для АВР, розроблено алгоритм вибору виду АВР та розраховано величину шкоди від зникнення електроенергії до впровадження автоматичного введення резерву та після його застосування.

Для збільшення міжремонтного інтервалу та зниження кількості відмов обладнання підприємства опрацьовано варіант заміни асинхронного приводу на привід з перетворювачем частоти. Зросте його ремонтпридатність, зменшиться кількість аварійних поломок обладнання, зросте інтервал між плановим ремонтом та обслуговуванням, скоротиться час відновлення роботоздатного стану устаткування. Всі ці параметри входять до показника надійності, а, отже, надійність роботи електромеханічного обладнання підвищиться.

При впровадженні АВР у систему електропостачання підприємства коефіцієнт вимушеного простою складе $1,518 \cdot 10^{-4}$ у порівнянні $12,84 \cdot 10^{-4}$ без впровадження АВР.

Таким чином, поставлена мета підвищення надійності електромеханічного обладнання підприємства досягнута і всі поставлені завдання вирішено.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
2. Бабюк, С. М., Красножоний, О. В., Барило, В. П., & Брич, Б. В. (2020). Фактори, що впливають на надійність електропостачання. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2, 84-85.
3. Бабюк С. , Клебан К. , Танасійчук В. Шляхи підвищення надійності електропостачання // Зб. наук. праць / Терн. нац. тех. універ. ім. І. Пулюя. Тернопіль, 2021. С. 61.
4. Бондаренко, А.Ф. Про трактування критерію надійності N - 1 / А.Ф. Бондаренко, В. П. Герих // Електричні станції. 2005. № 6. Концепція забезпечення надійності в електроенергетиці. -, 2004. Надійність систем енергетики. Збірка рекомендованих термінів. - 2007. - 192 с.
5. ДНАОП 0.00-2.32-2001 Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.
6. Казанський С.В. Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник [Текст] / С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, Б.М. Сердюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с. – ISBN 978-966-622-453-1.
7. Зорін В.В., Штогрін Є.А., Буйний Р.О. Електричні мережі та системи: навчальний посібник для студентів вищ. техн. навч. закл.– Ніжин ТОВ “Видавництво” Аспект-поліграф”, 2011. – 248 с.
8. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів [Текст] : [затв. ... Наказ М-ва палива та енергетики України 25.07.2006 № 258] / М-во палива та енергетики України. - Х. : Індустрія : Енергетичні рішення, 2012. - 318 с.
9. Рожков П. П. Конспект лекцій з дисципліни «Надійність електричних мереж» для магістрів денної та заочної форм навчання за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка (освітні програми «Електротехнічні системи електроспоживання» та «Електротехнічні системи електроспоживання (освітньо-наукова)») / П. П. Рожков, С. Е. Рожкова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 85 с.
10. Малкин, П. А. Нормативи надійності при перспективному проектуванні розвитку енергосистем // Методичні питання дослідження надійності великих систем енергетики. Вип. 57. Завдання надійності систем енергетики для суб'єктів стосунків в енергетичних ринках. - Київ: Знання України, 2007. С. 10-11.

11. Сегеда М. С. Електричні мережі та системи: Підручник / М. С. Сегеда. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 488 с.