

УДК 631.171:621.311

ПОГОДЖЕНО

ДИРЕКТОР ННІ ЕНЕРГЕТИКИ,

ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

ЗАВДУВАЧ КАФЕДРИ

ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ,

ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЙ

АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ПРОФ., Д.Т.Н. /КАПЛУН В.В./

ВЧЕНЕ ЗВАННЯ, НАУКОВИЙ СТУПІНЬ ПІДПИС

ДОЦ, К.Т.Н. / ОКУШКО О.В./

ВЧЕНЕ ЗВАННЯ, НАУКОВИЙ СТУПІНЬ ПІДПИС

„ ” 2022 Р.
ЧИСЛО МІСЯЦЬ РІК

„ ” 2022 Р.
ЧИСЛО МІСЯЦЬ РІК

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему: «Розроблення енергозберігаючого електроприводу пресового механізму на базі асинхронного двигуна потужністю 16 кВт»

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Магістерська програма «Енергоінжиніринг»

Програма підготовки освітньо-професійна

Керівник магістерської роботи

К.Т.Н., ст. викл

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

/Васюк В.В./

Нормоконтроль

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

/Усенко С.М./

Консультанти

К.Т.Н., доцент

О.В./

(науковий ступінь та вчене звання)

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Окушко

Виконав

(підпис)

/Омельченко Р.Л./

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ
І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Завідувач кафедри електротехніки,
електромеханіки та електротехнологій

професор, д.т.н. _____ Окушко О.В.
(підпис)

2022 р.
ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
ОМЕЛЬЧЕНКУ РУСЛАНУ ЛЕОНІДОВИЧУ

Спеціальність 141 - «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Магістерська програма «Енергоінжиніринг»

Програма підготовки освітньо-професійна

1. Тема магістерської роботи: **«Роботизованого енергозберігаючого електроприводу пресового механізму на базі асинхронного двигуна потужністю 16 кВт»**

Затверджено наказом ректора НУБіП України від 7 серпня 2022 р., № 577 „З”

2. Термін подання студентом магістерської роботи: 2022.11.05

(рік, місяць, число)

3. Вихідні дані до магістерської роботи: асинхронний двигун типу 5AC160M6, номінальна потужність на валу електроприводу 16 кВт, швидкість обертання валу 930 об/хв, коефіцієнт корисної дії 84 %, коефіцієнт потужності 0,85, номінальний струм статора 34 А, кратність пускового 2,2, кратність максимального моменту 2,5, момент інерції ротора 0,150 кгм².

4. Перелік питань, що підлягають дослідженню: аналіз скалярних та векторних систем управління в пристроях частотного регулювання швидкості обертання асинхронного двигуна, обґрунтування вихідних даних для розрахунку характеристик перетворювача, принцип роботи перетворювача з автономним інвертором напруги та широтно-імпульсною модуляцією, функціональна схема регулювання швидкості з підтримкою сталості потокозчеплення статора, методика оцінки втрат і КПД перетворювача та асинхронного двигуна, розрахунок енергетичних характеристик. Графічний матеріал: механічна характеристика асинхронного двигуна, функціональна схема регулювання швидкості з підтримкою сталості потокозчеплення статора.

Керівник магістерської роботи _____

(підпис)

/Васюк В.В., к.т.н., ст. викл./

(ПБ, науковий ступінь та вчене звання)

Завдання прийнявши до виконання _____

(підпис)

/Омельченко Р.Л./

(ПБ студента)

Дата отримання завдання:

7 серпня 2022 р.

НУБіП України

РЕФЕРАТ

НУБІП України

Омельченко Р. Л. «Розроблення енергозберігаючого електроприводу пресового механізму на базі асинхронного двигуна потужністю 16 кВт» (92 сторінок, 16 таблиць, 20 рисунків).

В представленій магістерській роботі в першому розділі виконано обґрунтування сервісного центру технічного обслуговування та ремонту електричних машин, виконано перевірку параметрів асинхронних електродвигунів, проведено вибір необхідних апаратів керування та захисту, проаналізовано скалярні та векторні системи керування. У пристрої частотного регулювання частоти обертання асинхронного двигуна. Другий розділ

присвячено демонстрації вихідних даних для розрахунку параметрів перетворювача, тобто методики регулювання швидкості асинхронного двигуна тиристорним регулятором напруги та закону регулювання частоти двигуна при змінній частоті. аналізується регулювання швидкості. За умови збереження переважувальної здатності запропоновано характеристики визначення параметрів альтернативної схеми асинхронного двигуна та запропоновано методику визначення параметрів альтернативної схеми.

У третій частині детально показано положення щодо перетворювача частоти з автономним інвертором напруги та широтно-імпульсною модуляцією. Четвертий розділ присвячено дослідженню схеми функції регулювання швидкості, що забезпечується сталістю потокозчеплення статора, і запропоновано метод оцінки енергетичних характеристик напівпровідникового перетворювача. Розділ п'ятий, розрахунок енергетичної характеристики запропонованої асинхронної двонаправленої системи керування електродвигуном.

У шостому розділі розглянуто питання охорони праці під час виконання робіт на електродвигунах. В останньому розділі представлені техніко-економічні розрахунки.

НУБІП України

ЗМІСТ

НУБІП України

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

1.1. Обґрунтування сервісного центру технічного обслуговування і ремонту електричних машин	7
1.2. Перевірка параметрів асинхронних електродвигунів	12
1.3. Розрахунок освітлення	16
1.4. Вибір апаратів управління та захисту	21
1.5. Аналіз скалярних і векторних систем керування в пристроях частотного регулювання швидкості обертання АД	28

РОЗДІЛ 2. ОБґРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ПОКАЗНИКІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧА

2.1. Аналіз способів регулювання швидкості обертання АД з тиристорним регулятором напруги	30
2.2. Закони частотного керування двигуном з умови збереження перевантажувальної здатності	32
2.3. Вихідні дані для розрахунку характеристики перетворювача	32
2.4. Особливості визначення параметрів схеми заміщення АД	41
2.5. Методика визначення параметрів схеми заміщення	42

РОЗДІЛ 3. ПРИНЦИП РОБОТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ З АВТОНОМНИМ ІНВЕРТОРОМ НАПРУГИ ДШМ

РОЗДІЛ 4. ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ З ПІДТРИМКОЮ СТАЛОСТІ ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ СТАТОРА. МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

4.1. Методика оцінки втрат в силових ключах	56
---	----

4.2. Методика оцінки втрат в перетворювачі з ШІМ	58
4.3. Методика оцінки коефіцієнта корисної дії в АТ з тиристорним регулятором та перетворювачем частоти з ШІМ	58

РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК 61

5.1. Оцінка споживаної з мережі потужності АТ з тиристорним регулятором	61
5.2. Оцінка споживаної з мережі потужності АТ з частотним регулюванням	61
5.3. Оцінка ефективності енергозбереження	61

РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ НА ЕЛЕКТРОДВИГУНАХ 62

6.1. Охорона праці при виконанні робіт на електродвигунах	62
6.2. Вимоги безпеки при обслуговуванні електродвигунів	65
6.3. Заходи безпеки при експлуатації електродвигунів	68
6.4. Заземлення електричних двигунів	71

РОЗДІЛ 7. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ 79

ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	83

ВСТУП

Актуальність. На сьогодні проблема ефективного використання енергетичних ресурсів, зокрема електричної енергії, виходить на перший план у контексті розвитку сучасної світової економіки. Енергозбереження стало останніми роками одним з актуальних напрямів технічної політики у всіх розвинених країнах світу.

Враховуючи, що близько 60% виробленої електроенергії споживається електроприводами різного призначення, актуальним стає питання розробки енергоефективних електроприводів. Удосконалення виробничих механізмів і технічних процесів диктує розробку автоматизованих електроприводів, які повинні економити електроенергію за рахунок організації роботи економічного механізму в усталеному і перехідному режимах і зниження втрат у самому електроприводі. Основні резерви економічного і раціонального використання електроенергії знаходяться в галузі електроприводів.

Технологія силової електроніки є ключовою технологією 21 століття. В останні роки з появою нових потужних напівпровідникових пристроїв і розвитком цифрового управління стало можливим створювати регульовані двигуни, в яких можна регулювати швидкість і крутний момент, наближаючи їх за продуктивністю до двигунів постійного струму. Властивості керування.

Мета роботи: підвищення енергоефективності регульованого асинхронного двигуна з перетворювачем частоти з автономним інвертором напруги і широтно-імпульсною модуляцією при підтримці стійкості потоку розчеплення статора.

Аналіз енергозбереження такого двигуна в порівнянні з двигуном, в якому регулювання швидкості відбувається шляхом зміни напруги на статорі (тиристорне регулювання).

У відповідності до поставленої мети необхідно наступне завдання:

1. Проаналізувати скалярну та векторну системи керування в пристрої регулювання швидкості та частоти асинхронного двигуна;

2. Доведіть правильність вихідних даних для розрахунку характеристик перетворювача;

3. Розглянути принцип роботи перетворювача з автономним інвертором напруги та ШІМ;

4. Розробити схему функції регулювання швидкості, яка підтримує постійний потітокзчеплення статора;

5. Розробити методику оцінки втрат і ККД перетворювачів і асинхронних двигунів, розрахунку енергетичних характеристик.

Об'єкт дослідження: Асинхронні двигуни з перетворювачами частоти з автоматичними перетворювачами напруги.

Предметом дослідження є принцип роботи перетворювача з автономним інвертором напруги та широтно-імпульсною модуляцією.

Методи дослідження - визначення та оцінка параметрів альтернатив, оцінка енергетичних характеристик напівпровідникових перетворювачів: оцінка втрат при комутації потужності, оцінка втрат перетворювача.

Теоретична цінність і прикладна значущість отриманих результатів. Отримані при виконанні магістерської роботи результати сприятимуть подоланню проблеми ефективного використання енергетичних ресурсів, зокрема електричної енергії в напрямі застосування асинхронних двигунів.

Безумовною практичною ціною даної роботи є те, що отримані при її виконанні результати також сприяють підвищенню рівня експлуатаційної надійності електрообладнання, а також призводять до зниження матеріальних і трудових витрат на їх використання.

НУБІП України

РОЗДІЛ 1

НАЛІЗ СТАНУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ

1.1. Обґрунтування сервісного центру технічного обслуговування і ремонту електричних машин

Для проведення технічного обслуговування та ремонту електродвигунів частіше за все присутні сервісні центри. Їх функції полягають у проведенні ремонтних робіт над електричними двигунами, пускозахисною апаратурою, проведених підготовчих та монтажних роботах, випробуванні електричних двигунів, зберіганні інструментів та матеріалів, запасних частин та елементів.

Сервісний центр технічного обслуговування та ремонту електричних машин складається з наступних ділянок:

1. Ділянка очищення, дефекації та розбирання. Очищаюча очищає електрообладнання перед розбиранням, зливають масло з маслonaповненого обладнання, забезпечують передремонтні випробування. Після цього розбирають обладнання, оглядають дефекти, передають несправні деталі електроустановки на відповідні ремонтні ділянки. На розбірних ділянках повинні бути під'ємно-транспортні засоби необхідної вантажопідйомності, міни ванни та відповідних комплектів для розбирання електрообладнання, спеціального обладнання та приладдя для розбірки електричних машин і апаратів нестандартного або особливого призначення.

2. Ділянка технічного обслуговування. У дільницю обслуговування електрообладнання проводиться технічне обслуговування електродвигунів, а також металообробка і механічна обробка різних частин електрообладнання, що ремонтується. Майданчик котловану повинен бути оснащений болгарками, болгарками, електроінструментом, інвентарем і спеціальним обладнанням, бригадним набором інструментів для демонтажу електрообладнання.

3. Ремонт, просочення та просушування ділянок обмоток. У відділенні намотування, сушіння та просочування ремонтують пошкоджені та нові обмотки електродвигунів і електромагнітів, а також просочують і сушать для відновлення ізоляції обмотувального проводу для повторного використання. Намотувальний відділ повинен бути оснащений машинами для зачищення та ізоляції проводів, намотувальним апаратом для виготовлення обмоток, зварювальним і зварювальним інструментом для з'єднання обмотувальних проводів. Крім того, обмотувальні відділення повинні бути оснащені невеликою випробувальною установкою для поопераційного та міжопераційного контролю ізоляції виготовлених секцій, котушок та обмоток, а також апаратами контролю правильності складання та з'єднання різних схем обмоток.

Сушильно-продовольче відділення має бути забезпечене ваннами для просочення обмоток, шафами для сушіння та запікання ізоляції обмоток, ємностями для безпечного зберігання лаків і розчинників у кількості, що задовольняє потребу в них не більше ніж на 1 добу.

4. Запустіть зону обслуговування засобів захисту. Обслуговування і регулювання частин пускової і захисної апаратури (магнітного пускача і автоматичного вимикача) проводяться в зоні обслуговування пускової і захисної апаратури.

На ремонтній дільниці проводиться монтаж відремонтованого електрообладнання. Для монтажу ділянка обладнана аналогічним обладнанням, що й дільниця демонтажу, а також обладнанням, пристроями та інструментами для статичного та динамічного балансування роторів двигунів і болтів двигунів. У процесі технічного обслуговування електрообладнання на ділянці технічного обслуговування часто потрібні електрозварювальні та газозварювальні роботи, а також необхідне обладнання та інвентар. На випробувальному стенді випробовуються нові конструкції та вузли, призначені для заміни тих, що вийшли з ладу, а електрообладнання піддається остаточним електричним і

механічним післяремонтним випробуванням. Випробувальний стенд повинен бути оснащений високовольтним випробувальним обладнанням.

Пункт технічного огляду і ремонту електрообладнання повинен мати у своєму розпорядженні виробничу площу, яка розрахована за якістю і розмірами електрообладнання, що підлягає ремонту. Склади, інструментальні та матеріальні склади, підсобні приміщення і приміщення для зберігання ремонтних фондів і відремонтованого електрообладнання, кількість, розміри і призначення яких визначаються в кожному конкретному випадку технікою і умовами проведення ремонтних робіт. Кожна дільниця повинна бути оснащена своїми технічним обладнанням, пристроями, пристосуваннями та інструментом, наявне обладнання наведено в таблиці 1.1.

Для мінімізації тривалих простоїв електроустановок у разі аварії створюються резервні джерела живлення електрообладнання. Запасне електрообладнання дозволяється використовувати тільки для заміни несправного електрообладнання того ж або взаємозамінного типу. Змінний двигун та обладнання відправлено на ремонт, а відремонтовані – надходять в резервний запас. Обладнання що відмовило, але не підлягає ремонту, списується, а поповнення запасу отримати постачанням нового.

Для електроустановок, що належать до першої категорії по надійності електропостачання, конкуренція встановлює нижній рівень запасу не менше одиниці. Для невеликих резервних груп електрообладнання в електроустановках другої та третьої категорій по надійності електропостачання допускається доведення нижнього рівня запасу до нуля.

Майстерня залишків живлення від ТП $10/0,4$ потужністю 250 кВА також можливе застосування резервного живлення за допомогою дизельної електричної станції. Живлення ТП отримує від РТП 35/10 кВ. Лінії живлення виконані на опорах проводом марок А 25-50, АС 35 освітлення виконані світильниками з лампами ДРЛ та LED. На вході в приміщення встановлені лічильники активної енергії.

Таблиця 1.1

Перелік обладнання сервісного центру по технічному обслуговуванню та ремонт електричних двигунів

Назви приладів	
Електровимірювальний багатфункціональний цифровий пристрій 2 EP180 M1	Вимірювач опори заземлення UT521
Вимірювач опору ізоляції UT312	Мікроомметр ЦС4105
Кліщі струмовимірювальні DM6266	Установка обрізки обмоток статора УООС-901
Верстат для виготовлення пазових клинів для електромашин з ізоляційних матеріалів СКЛ-901	Стенд випробування асинхронних електродвигунів потужністю до 100 кВт 02.01.07
Установка випресовування підшипників УВП-901А	Нагрівач індукційний ЦАЕІ 04.02.31.02
місце випробування активної сталі статора 02.01.04	Верстат балансувальний 2500 ЦАЕІ 02.01.20
Вимірювач діелектричних втрат ИДП-10	Джерело струму ИТ-8500
Блок низьковольтних вимірів БНІ -М	Стенд перевірки Spin Vanchetto Junior Inverter Pro

У певній черговості розрахунки виконувалися з урахуванням кліматичних умов розміщення, а також умов середовища у місцях, які впливають на вибір електрообладнання, його захисту та способів прокладання електропроводки.

1.2. Перевірка параметрів асинхронних електродвигунів

Це означає, що технологічне обладнання розміщується в даному сервісному центрі. Розглянемо даний підхід на основі асинхронного електричного двигуна вентилятора ЦВ 4-70 № 5, що виявляється частиною системи підтримання мікроклімату в частині технічних характеристики.

Проведемо аналіз потужності двигуна у вентиляторі:

$$P_{\text{дв}} = \frac{K_3 \cdot L_{\text{д}} \cdot P}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_{\text{в}} \cdot \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{під}}},$$

де K_3 – коефіцієнт запасу потужності, ($K_3 = 1,2$); $L_{\text{д}} - P$ – тиск що

створюється вентилятором ($P = 41,2 \text{ кг/м}^2$); $\eta_{\text{в}}$ – ККД

$(\eta_v = 0,6)$ $\eta_{\text{п}} = \text{ККД передавання}$ $(\eta_{\text{п}} = 1)$ $\eta_{\text{під}} = \text{ККД підшипників}$
 $(\eta_{\text{під}} = 0,98)$

З урахуванням вищенаведеного маємо:

$$P_{\text{дв}} = \frac{1,2 \cdot 3400 \cdot 41,2}{3600 \cdot 102 \cdot 1 \cdot 0,98 \cdot 0,60} = 0,77 \text{ кВт.}$$

Так як двигун приводу вентилятора працює в тривалому режимі S-1 і має постійні навантаження, визначимо номінальну потужність електродвигуна, виходячи з наступних роздумів:

$$P_{\text{н.дв}} \geq P_{\text{дв}}.$$

Тому використовуємо асинхронний електричний двигун АІР 80А4У3 характеристики тут 1.3.

Таблиця 1.3

Характеристика АІР 80А4У3

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	показники
Потужність, кВт	1,1
Частота обертання, об/хв	1395
Номинальний струм, А	2,75
ККД, %	76,2
cos φ	0,77
Кратність пускового струму, L _L	6
Кратність моментів сили пускового до номінального,	2,3
Ставлення моментів сили максимального до номінального, M _{max} /M _n	2,3

Ефективною умовою правильної роботи двигуна електроприводу вентилятора у відповідності потужності $<$ удосвірення його механічною

характеристикою. Механічну характеристику електроприводу двигуна вентилятора ЦВ 4-70 № 5 можна застосувати формулою:

$$M_c = M_{co} + (M_{сн} - M_{co}) \left(\frac{V}{V_n}\right)^x,$$

де M_c – момент статичних опорів вентилятора; Н·м; M_{co} – початковий момент

зрушення електричної машини, Н·м; $M_{сн}$ – момент статичних опорів в режимі номінального навантаження; V – миттєве значення кутової швидкості – с-1; V_n – номінальне значення кутової швидкості, с-1; x – показник ступеня ($x = 2$).

В результаті отримаємо:

$$M_{сн} = 9550 \frac{P_v}{n_n}; \quad M_{сн} = 9550 \frac{0,77}{1395} = 5,27 \text{ Н·м};$$

$$V_n = \frac{2\pi}{60} = \frac{2 \cdot 3,14}{60} \cdot 1395 = 146,01 \text{ с}^{-1};$$

$$M_{co} = 0,15 M_{сн} = 0,15 \cdot 5,27 = 0,79 \text{ Н·м. Н·м.}$$

відповідні результати в цій таблиці

Таблиця 1,4
Характеристика електропривода двигуна вентилятора
ЦВ 4-70 № 5

$V, \text{с}^{-1}$	0	31,40	62,80	94,20	125,10	146	157
$M_c, \text{Н·м}$	79	0,99	1,61	2,6	4,079	5,27	5,97

Момент інерції:

$$j_{зв} = j_{дв} + j_v,$$

де $j_{дв}$ – момент інерції ротора електродвигуна ($j_{дв} = 0,0032 \text{ кг·м}^2$); j_v – момент

інерції вентилятора ($j_v = 0,009 \text{ кг·м}^2$).

Відповідно:

$j_{зв} = 0,0032 + 0,009 = 0,0122 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$
 В відповідності до технічних характеристик електричного двигуна що наведена в таблиці 1.3 визначимо його механічну характеристику.

$$\frac{M_{\max}}{M_n} = 2,2; \frac{I_{\text{пуск}}}{I_y} = 5,5; \frac{M_{\min}}{M_n} = 1,6; M \frac{M_{\text{пуск}}}{M_n} = 2,2;$$

$M_n = 9550 \frac{P_n}{n_n}; M_{\max} = 2,2 M_n;$
 $M_n = 9550 \cdot 10^3 = 7,5 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_{\max} = 2,2 \cdot 7,5 = 16,56 \text{ Н} \cdot \text{м};$

$$M_{\min} = 1,6 \cdot M_n = 1,6 \cdot 7,5 = 12 \text{ Н} \cdot \text{м}; M_{\text{пуск}} = 2,2 M_n = 2,2 \cdot 7,5 = 16,56 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Ця формула вказує на номінальне ковзання :

$S_n = \frac{n_c - n_n}{n_c} = \frac{1500 - 1395}{1500} = 0,07.$
 Представимо механічну характеристику електричного двигуна

вентилятора за наступними точками:

1.	$M = 0;$	$S = S_0;$
2.	$M = M_n;$	$S = S_n;$
3.	$M = M_{кр};$	$S = S_{кр};$
4.	$M = M_{\min};$	$S = S_{\min} = 0,8;$
5.	$M = M_{\text{пуск}}.$	$S = S_{\text{пуск}} = 1.$

У подальшому є необхідність врахування відхилень параметрів електричного двигуна, а саме зменшення максимального моменту на 10% і мінімального відповідно на 20%, і пускового на 15% від номінального у випадку зменшення напруги на затискачах двигуна. Отримані результати представимо в таблиці 1.5.

Таблиця 1,5

Характеристики електродвигуна АИР 80А4У3

S	0	0,07	0,21	0,85	1
$M, \text{H} \cdot \text{м}$	0	7,5	16,56	12	16,56
$M', \text{H} \cdot \text{м}$	0	6,7	14,9	10,8	14,9
$M'', \text{H} \cdot \text{м}$	0	5,1	13,41	8,64	12,6

Характеристика динаміки $M_{\text{дин}} = M_{\text{дв}} - M_{\text{с}}$,

де $M_{\text{дв}}$ – момент що створює електродвигун, Н·м; $M_{\text{с}}$ – момент опору двигуна, Н·м. Бо що динамічний момент має непостійне саме значення при подачі асинхронного електричного двигуна, тому для розрахунку його часу подачі використовуємо невелику швидкість швидкості, а цей момент не суттєво змінюється та відповідає середньому значенню з огляду на час, який потрібний для збільшення швидкості.

За результатами розрахунків необхідно представити таблицю 1.6 та у відповідності до них побудувати характеристики запуском електричного двигуна приводу вентилятора (рис. 1.1).

Таблиця 1.6
Визначення часу пуску через привод вентилятора

$I, \text{H} \cdot \text{м}^2$	0,122	0,122	0,122	0,122	0,122
$\omega, \text{с}^{-1}$	29,4	29,4	29,4	29,4	29,4
$M_{\text{дин}}, \text{H} \cdot \text{м}^2$	10,05	8,25	9,0	9,3	5,25
$\Delta t, \text{с}$	0,35	0,43	0,39	0,38	0,68
$t, \text{с}$	0,35	0,79	1,18	1,56	2,24

Після прорахованого маємо, що на вищеназваному розраховуємо час запуску асинхронного електричного двигуна за залежністю:

$$t_{\text{п}} = \sum \Delta t = 2,2 \text{ с.}$$

Обов'язковою умовою є перевірка за умовою нагрівання електричного двигуна вентилятора відповідно до його запуску:

$$Q = Q_{\text{н.с.}} + V_t \cdot t_{\text{п}},$$

де $Q_{\text{н.с.}}$ – температура навколишнього середовища ($Q_{\text{н.с.}} = 20^\circ\text{C}$); V_t – швидкість зростання температури ($V_t = 5,9^\circ\text{C}/\text{C}$); $t_{\text{п}}$ – показує час включення електродвигуна ($t_{\text{п}} = 2,2 \text{ с.}$).

В результаті отримаємо:

$$Q = 20 + 5,9 \cdot 2,2 = 32,98^\circ\text{C}.$$

Отримане значення дала розуміння що температура при пуску асинхронного електродвигуна є в допустимих межах.

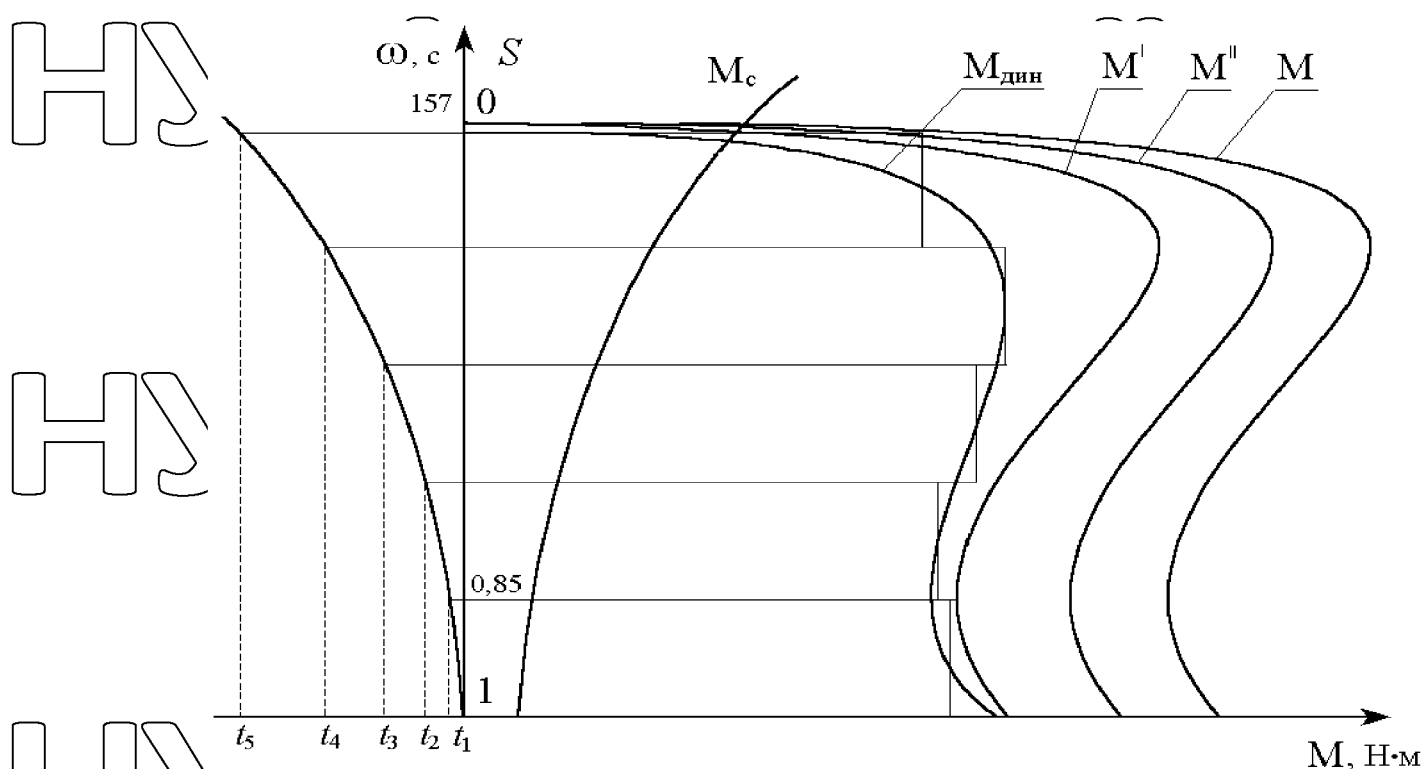


Рис. 1.1. Механічні характеристики електроприводу вентилятора Ц4-70

№5

1.3 Розрахунок освітлення

Освітлення приміщень сервісного центру обслуговування та ремонту електродвигунів здійснюється світильниками на основі енергозберігаючих світлодіодних ламп [4, 5]. Висота основного корпусу 5,2 м, висота допоміжної

будівлі та виробничого корпусу 2,6 м, висота 2,6 м, ці параметри використовуємо в розрахунку нижче.

Для розробки мережі освітлення відповідно до технічних вимог повинні бути дотримані умови, тобто в побутових умовах кабель AVRГ повинен застосовуватися з відкритими, оштукатуреними проводами APV і APPV, а в промислових приміщеннях кабель AVRГ повинен використовуватися в скобах і проводах APV.

Для розрахунку електричного освітлення застосуємо метод за світловим потоком, який використовується при розрахунку рівномірного освітлення горизонтальних поверхонь у закритому приміщенні.

Формула розрахунку може бути виражена так:

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta},$$

де Φ – розрахунковий світловий потік лампи, лм; E –

нормована необхідна освітленість, лк; S – загальна площа приміщення, м²; z –

коефіцієнт що враховує нерівномірність освітлення, ($z = 1,15$); k – коефіцієнт

запасу, ($k = 21,15$); N – загальна кількість світильників, шт; η – коефіцієнт використання світлового потоку.

За певними нормами необхідної освітленості для розрахунків приймемо нормовану освітленість в $E = 30$ лк. Візьмемо світильник зробимо НСП-11-100-714 – який часто промислово використовує підприємства, підвісний, та має пилово-волого захист, технічні характеристики якого є на рис. 17

Наступним кроком є визначення кількості світильників виходячи з умови їх розміщення за необхідною відстанню L , м $\lambda = 1$.

$$L = \lambda \cdot H_p,$$

де H_p – висота для розрахунків ($H_p = 2,5$ м).

Відповідно,

Визначимо необхідну кількість рядів світильників N_a шт, та кількість світильників у ряду N_b :

$$N_a = \frac{B}{L}; N_b = \frac{A}{L};$$

де $B = 5 \text{ м}$ довжина та $A = 5,5 \text{ м}$ ширина для підрахунку приміщення

$$N_a = \frac{5}{2,5} = 2; N_b = \frac{5,5}{2,5} \approx 2 \text{ шт.}$$

Таблиця 1.7

Технічні дані НСП 21У100 Вт IP54

Параметри	Виконання	
	100 Вт	200Вт
Клас світлорозподілу, за ГОСТ17677	П	П
Тип кривої сил світла, за ГОСТ17677	М	М
ККД%, не менше	80	80
Маса без лампи, кг.	1,43	1,70

Загальна кількість світильників буде дорівнювати:

$$N = N_a \cdot N_b = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт.}$$

Враховуємо коефіцієнти відбиття стін і підлоги та стелі приміщення.

$$\rho_1 = 70\% \text{ - стелі}; \rho_2 = 50\% \text{ - стіни}; \rho_3 = 30\% \text{ - підлоги.}$$

Індекс приміщення[4, 5]:

$$j = \frac{A \cdot B}{A_p(A+B)} = \frac{5 \cdot 5,5}{2,5(5,5+5)} = 1,04.$$

 η – коефіцієнт використання світлового потоку, ($\eta = 0,37$).

Підставимо отримані результати в наведену вище формулу

источник перехресний лінк не знайдений:

НУБІП України

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1,15 \cdot 5 \cdot 5,5 \cdot 1,15}{4 \cdot 0,37} = 732,2 \text{ лм.}$$
 Вибираємо LED лампу IEK ECO A60 10W технічні характеристики, які представлені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8

Технічні характеристики LED лампи IEK ECO A 60

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	Показники
Напруга живлення, В	220
Тип цоколя	E27
Тип колби	A60
Споживана потужність, Вт	9
Загальний світловий потік, Лм	1000
Температура кольору, К	4000
Габаритні розміри, мм	60x110
Кут розсіювання	180°
Клас енергоспоживання	a++

В результаті ми бачимо, що розрахований світловий потік лампи не відрізняється від фактичної лампи більше допустимих розрахункових характеристик (+20% і -10%). Так само ми робимо розрахунки для інших місць у сервісному центрі та представляємо результати у вигляді інформації про освітлення.

Так само розрахуємо світлодіодне освітлення для іншої кімнати в сервісному центрі.

Будемо використовувати лампу IEK ЛСПІ 3901А-36 (ЛІСПІ2-3901А-2-18-К06), основні технічні характеристики якої наведені в табл. 1.9

Далі потрібно визначити передбачуваний світловий потік приміщення за наведеною вище методикою:

$$\Phi_p = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{\eta}$$

де k – коефіцієнт запасу, ($k = 1,3$); z – коефіцієнт нерівномірності освітлення,
 для LED ламп ($z = 1,1$); S – розраункова площа приміщення,
 ($S = A \cdot B = 5,5 \cdot 5,5 = 30,25 \text{ м}^2$); E – нормована освітленість, ($E = 2300 \text{ лк}$).

НУБІП України Таблица 1.9 Характеристики світильника Matrix LL-36

Основні	
Мінімальна робоча температура	-40 град.
Ступінь захисту IP	50
Напруга ②	220 В
Коефіцієнт потужності ②	0,9
ККД, не менше	96 %
Максимальна робоча температура ①	50 град.
Вага	2000 г
Застосування освітлення	Для освітлення високих робочих приміщень, Для освітлення низьких робочих приміщень
Матеріал корпусу	Метал, Алюміній
Захисна решітка	Ні
Спосіб освітлення ②	Загальне освітлення
Частота ②	50 кГц
Форма	Прямокутна
Країна виробник	Україна
Гарантійний термін ②	36 міс
Пиловологозахищена кришка	Так
Потужність	36 Вт

Застосуємо LED лампу BIOM T8 glass 9Вт 4500K G13 технічні

характеристики в таблиці 1.10.

Таблица 1.10

НУБІП України

НУБІП України

Характеристики лампи BIOM T8 скло 9 Вт 4500K G13

Основні	
Виробник	Biom
Користувацькі характеристики	
Індекс передачі кольору, Ra	80
Артикул	00-00001307
Бренд	BIOM
Валюта	USD
Гарантійний термін	24 м
Еквівалентна потужність	81 W
Колір світіння	Холодний білий
Матеріал корпусу	Скляні
Можливість диммірованія	Не димуються

Для світильників Matrix LL-36 з лампами BIOM T8 glass 9Вт 4500K G13 знайдемо індекс приміщення

Коефіцієнти відбиття стели, стіни і підлоги становлять:

$$\rho_1 = 70\%, \rho_2 = 50\%, \rho_3 = 10, \eta = 0,44;$$

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p (5,5 + 5,5)} = 0,92.$$

Зробим розрахунковий світловий потік в відповідності до формули
Помилка: джерело перехресний ліній не знайдено:

$$\Phi_p = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 30,25 \cdot 1,1}{0,44} = 29493,75 \text{ лм.}$$

Розрахуємо необхідну кількість світильників:

$$N = \frac{\Phi_p}{\Phi_{\text{л}}} = \frac{29493,75}{4680} = 6,3.$$

6 світильників Matrix LL-36 з лампами BIOM T8 glass 9Вт 4500K G13 і розмішуємо по всій площі приміщення.

Розраховуємо повну потужність освітлення, кВт:

$P = P_{\text{л}} \cdot N \cdot n$, де $P_{\text{л}}$ – потужність однієї лампи, кВт; N – чисельність світильників, шт; n – чисельність ламп у світильнику, шт;

$$P = 0,04 \cdot 6 \cdot 2 = 0,48 \text{ кВт.}$$

Визначимо потужність освітлення, враховуючи втрати в апаратах:

$$P_{\text{роз}} = P + 0,2 \cdot P;$$

$$P_{\text{роз}} = 0,48 + 0,2 \cdot 0,48 = 0,576 \text{ кВт.}$$

Результати розрахунку зводимо в загальну світлотехнічну відомість.

Розрахунки для інших приміщень сервісного центру виконуються аналогічно, за необхідності використання методу питомої потужності для розрахунку освітлення.

1.4. Вибір апаратів керування і захисту

Важливий фактор при проектуванні внутрішніх електромереж сервісного центру є зручності експлуатації лінії, протяжність; умови навколишнього середовища; безпечна робота персоналу, безаварійність роботи, дотримання протипожежних умов експлуатації. Придержування даних факторів регламентує нормативна література (ПУЕ; ПТЕЕ і ПБЕЕС [1-3]).

Скориставшись даними нормативними документами, маємо наступні інженерно-технічні рішення: силові мережі, що живлять стаціонарних споживачів, прокладатимуть проводом АПВ в трубах та кабелях АВВГ відкритого прокладання на скобах; силові мережі що живлять мобільних споживачів виконуються кабелем КРШТ.

У цьому пункті буде вибір такої перевірки пускозахисної апаратури приводу витяжного вентилятора. Паспортними даними електродвигуна АИР 71В2У3, що приводять у рух вентилятора, наведені в таблиці 1.11.

Таблиця 1.11

Характеристики електродвигуна АИР 71В2У3

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

показання

Потужність, кВт	1,1
Частота обертання/фактична, об/хв	3000/2840
Напруга мережі, В	222/380
Номінальний струм, А	2,55
ККД, %	79,5
$\cos \varphi$	0,84
Кратність пускового струму $I_n I_n$	6
Співвідношення обертових моментів, $M1 M1$	2,2
Співвідношення обертових моментів, $M_{\max} M_{\min}$	2,3
Момент інерції, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,0008

Для вибору автоматичного вимикача для живлення двигуна:

$$U_{\text{авт}} \geq U_{\text{мережі}};$$

$$I_{\text{н.авт.вим}} \geq I_{\text{н.дв}};$$

$$I_{\text{т.р.}} \geq I_{\text{н.дв}};$$

$$I_{\text{ел.м.розр(відсічки)}} \geq I_{\text{неспр}}.$$

де $U_{\text{авт}}, U_{\text{мережі}}$ — номінальна напруга автоматичного вимикача та мережі, В;

$I_{\text{н.авт.вим}}, I_{\text{н.дв}}$ — номінальні струми автоматичного вимикача та електродвигуна, А;

$I_{\text{т.р.}}$ — струм теплового розчіплювача автоматичного вимикача, А; $I_{\text{неспр}}$ — струм

не спрацювання електромагнітного розчіплювача автоматичного вимикача, А;

$I_{\text{ел.м.розр(відсічки)}}$ — струм електромагнітного розчіплювача автоматичного вимикача, А.

Автоматичний вимикач ВА 47-29, встановлюємо в шафі розподільного пристрою ПР8501-023У3 технічні характеристики наведені в таблиці 1.12.

Таблиця 1.12

Технічні характеристики автоматичного вимикача HAGER 1П

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	ПОКАЗАННЯ
$U_{\text{авт}}, \text{В}$	660
$I_{\text{н.авт.вим}}, \text{А}$	100
$I_{\text{ел.м.розр(відсічки)}}, \text{А}$	23,15
$k_1 = 6 \cdot I_{\text{н.р.}}$	
$I_{\text{неспр}} = 1,652 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,652 \cdot 9,35 = 15,42 \text{ А}$	
$I_{\text{відсічки}} = k_1 \cdot I_{\text{уст.ел.м.розч}} = 6 \cdot 3,15 = 18,9 \text{ А.}$	

Перевіримо умови вибору автоматичного вимикача:

$$U_{\text{авт}} = 2660 \text{ В} \geq U_{\text{мер}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{н.авт.вим}} = 100 \text{ А} \geq I_{\text{н.дв}} = 2,55 \text{ А.}$$

Здійснюємо перевірку теплового захисту автоматичного вимикача:

$$I_{\text{відсічки}} = 18,9 \geq I_{\text{неспр}} = 15,42 \text{ А.}$$

Беремо автоматичний вимикач триполюсний, з електромагнітним розливачем, без допоміжних контактів, із захистом – IP30. Для дистанційного вмикання і вимикання електричного двигуна використаємо магнітний пускач серії ПМЛ, у відповідності

$$U_{\text{пуск}} \geq U_{\text{мережі}}; I_{\text{н.пускача}} \geq I_{\text{н.дв}}; I_{\text{т.р.}} \geq I_{\text{н.дв}}; I_{\text{нагр.сл}} \geq I_{\text{н.дв}},$$

має можливість регулювання струму неспрацювання на $I_{\text{н.дв}}, U_{\text{ном}}$ – напруга пускача

В; $I_{\text{н.пускача}}$ – номінальний струм пускача, А; $I_{\text{т.р.}}$ – номінальний струм теплового

реле, А; $U_{\text{кот}}, U_{\text{к.к.}}$ – напруга котушки і керування авто, В.

У відповідності до умов вибору:

$$U_{\text{пуск}} = 660 \text{ В} \geq U_{\text{мер}} = 380 \text{ В};$$

$$I_{\text{н.пуск}} = 10 \text{ А} \geq I_{\text{н.дв}} = 2,5 \text{ А};$$

$$I_{\text{т.р.}} = 5 \text{ А} \geq I_{\text{н.дв}} = 2,5 \text{ А.}$$

Таблиця 1.13

Характеристики електромагнітного пускача ПМЛ 122002-02

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	показання
Номинальний струм, А	10
Потужність двигуна, кВт	5,5
Діапазон установок теплового реле, А	0,61-1
Керуюча котушка, В	220 АС
Для захисту від перевантажень	вбудовано реле РТЛ
Степень захисту	IP54
Номинальна напруга котушки управління, В	220 АС
Кількість і вид додаткових контактів	13 (1НО)

Теплове реле РТЛ-1007-04 з параметром регулювання струму неспрацювання $1,5 \div 2,6$ А, номінальна сила струму реле 25 А технічні характеристики, які наведені в таблиці 1.14, відповідно до вище описаних розрахунків використовуємо комплектний пристрій 5115-374УКЛ. Результати вибору подальших пускозахисних апаратів і низьковольтних комплектних пристроїв представлено на презентаційній частині магістерської роботи.

Таблица 1.14

Характеристики теплового реле РТЛ-1007-04

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ	показання
Номинальний струм, А	10
Діапазон уставок реле, А:	1,5-2,6
Номинальна напруга, В	660
Потужність що споживається одним полюсом, Вт	1,8
Частота, Гц:	50/60
Степень захисту	IP 00

У системі розподілу електроенергії застосуємо розподільчі пункти ЩС-1 ПР з автоматичним вимикачем ВА 51-35 на вводі та вимикачами ВА 51-29 на виході. Під освітлювальні мережі застосуємо розподільчий пункт ЩВ-1 ПР з автоматичними вимикачами на відхідних лініях ВА 51-35 та вимикачем ВА 51-

29 на ввіді, що також буде представлено на презентаційній частині магістерської роботи.

Реле РТЛ можуть встановлюватися як на пускачі, так і окремо від пускачів.

Реле електротеплові серії РТЛ забезпечують захист електродвигунів від струмових навантажень неприпустимої тривалості. Вони також забезпечують захист від асиметрії струмів у фазах та від випадання однієї з фаз.

Аналіз систем керування частотою за допомогою скалярного та векторного методів керування. Це робиться для визначення робочої швидкості двигунів АД.

Для регулювання швидкості і моменту в сучасних електродвигунах використовується скалярне і векторне керування. АД зі скалярним керуванням, такі як вентилятори, насоси та компресори, підтримують швидкість вала шляхом регулювання вхідної напруги. Принцип дії полягає в зміні амплітуди і частоти вхідної напруги, які відповідають закону:

Залежно від потреби в додатковій електроенергії ця залежність проявляється в тій чи іншій формі. Напруга та частота зазвичай адаптуються незалежно один від одного. Подібним чином вимоги до механічного руху стосуються початкового та критичного моментів.

Течії або MRS зображуються загальним просторовим вектором на комплексній площині.

Технологія векторного керування — це новий підхід до машинобудування, який використовує геометричне підсумовування для представлення миттєвих значень фазової MRS або струмів. Він був розроблений у 2017 році та використовує той факт, що обмотки займають просторові осі. Це призводить до того, що вектор представляє геометричну суму сегментів обмоток, які потім можна використовувати для математичних розрахунків або інших завдань.

Однак багато людей вважають векторне керування недоліком через його високу складність і значні коливання швидкості порівняно зі скалярними методами керування.

Електродвигуни, що живляться від двигуна змінного струму, зазвичай мають форму двигунів постійного струму з інверторами та ланками постійного струму. У деяких випадках створюється двигун з широтно-імпульсною модуляцією, який має власну систему управління та зовнішній інтерфейс з мікропроцесором. Це дає можливість використовувати ці двигуни в багатьох промислових установках.

Скалярна система регулювання частоти забезпечує хороші характеристики керування електроприводом, коли магнітний потік є стабільним або змінюється за певним законом зі зміною статичного моменту в статичному режимі роботи.

Динаміка електропривода зі скалярним керуванням залежить від відношення постійної часу електромеханічної частини (ротора) до електромагнітної

складової потоку. Для багатьох механізмів з помірними динамічними вимогами кращі скалярні системи управління, оскільки вони простіші та менш дорогі.

Перехідний режим показує, що магнітний потік двигуна не залишається постійним, тому що змінюється співвідношення між струмами ротора і статора. Тому в переходному режимі можливе коливання електромагнітного моменту та швидкості [8].

В цілому бажаний закон регулювання є таким, за якого у всьому діапазоні регулювання швидкості підтримується сталість переважувальної здатності λ

$$\lambda = \frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{ном}}} = \text{const},$$

де $M_{\text{кр}}$ – критичний момент і визначається за формулою:

$$M_{\text{кр}} = \frac{3 \cdot U_1^2 \cdot P}{4 \cdot \pi \cdot f_1 (R_1 + \sqrt{R_1^2 + x_k^2})},$$

де повний реактивний опір ланцюга у схемі

заміщення розраховується за такою формулою:

$$x_k = 4 \cdot \pi \cdot f_1 (L_1 + L_2), \text{ АТ } (.)$$

де f_1 – частота напруги в обмотках статора;

L_1 – індуктивний опір обмотки статора;

L_2 – індуктивний опір обмотки ротора.
 Щоб реалізувати цей закон регулювання Помилка: Джерела перехрестної
 ссилки не знайдена необхідно забезпечити сталість залежності $U_1 / f_1 = const$, R_1

(Рис. 1.2.).

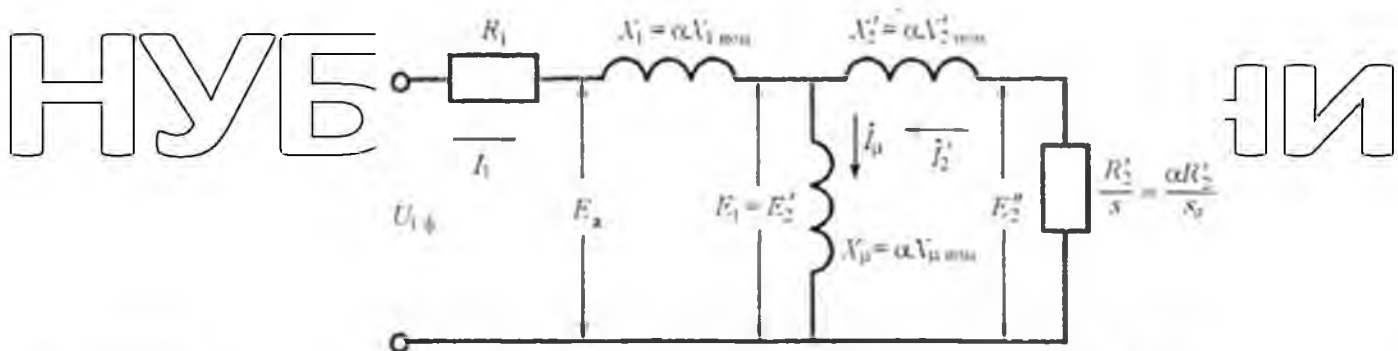


Рис. 1.2. Т-подібна схема заміщення асинхронного двигуна: R_1 – активний опір статора; R_2' – активний опір ротора; $x_{1ном}$ – індуктивний опір статора; $x_{2ном}$

– індуктивний опір ротора; $x_{\mu ном}$ – індуктивний опір намагнічування; s_a – абсолютне ковзання;

Критичний момент $M_{кр}$ залежить від R_1 в результаті чого на низьких частотах можуть виникнути коливання $\frac{M_{кр}}{M_{ном}} \neq const$.

Схема заміщення показала, що у першому наближенні, коли векторне підсумування можна замінити арифметичним, можна продемонструвати як :

Після компенсування падіння напруги на обмотці статора, закон частотного регулювання може мати вигляд:

$$\frac{E_a}{f_1} = const.$$

Синусоїдальна величина змінного струму відомо співвідношення між даним значенням ЕРС E_1 потокозчепленням ψ і кутовою частотою ω_1

Вираз (1.8) можна показати такий вигляд:

$$\psi = \frac{E_a}{2 \cdot \pi \cdot f_1} = \frac{E_{\text{НОМ}} \cdot \alpha}{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{НОМ}} \cdot \alpha} = \text{const.}$$

Такий аналіз показує, доречність використання скалярного частотного регулювання, який дає управління при підтримці сталості потокозчеплення статора, з метою забезпечити постійну перевантажувальну здатність двигуна незалежно від частоти живлення двигуна і навантаження.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ
ПОКАЗНИКІВ ПЕРЕТВОРЮВАЧА2.1. Аналіз способів регулювання швидкості обертання АТ з
тиристорним регулятором напруги

Асинхронний двигун є швидким (АТ) його можна регулювати зміною напруги, яка підводиться до статора, при цьому частота напруги на двигуні не змінюється і дорівнює стандартній частоті мережі 50 Гц.

Регулювання напруги здійснюється на статорі АТ в даний час найбільшого поширення набули тиристорні регулятори напруги (ТРН), які мають велику швидкодію, високу КПД, невисоку ціну. Трифазна схема ТРН для регулювання напруги на статорі АТ, зведена на основі однофазних схем ТРН представлена на рис. 2.1. а. Ї складається з шести тиристорів $VS1...VS6$. У кожну фазу трифазного ТРН включаються два тиристори за зустрічно-паралельною схемою, яка забезпечує протікання струму в навантаженні в обидва напівперіоди напруги мережі U_1 .

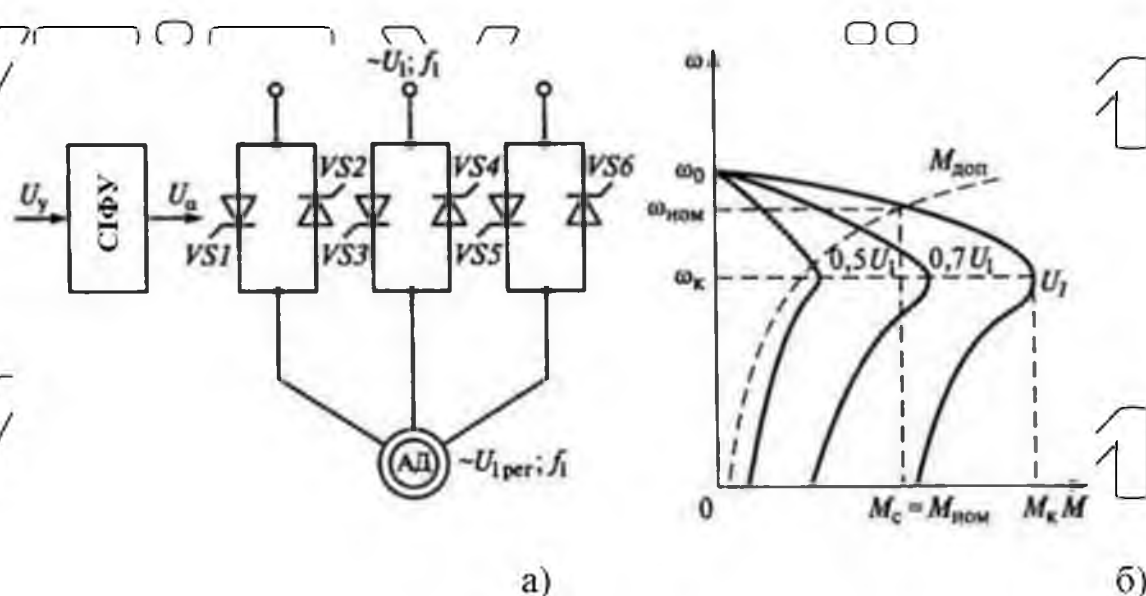


Рис. 2.1. Система ТРН-АТ: а) і її характеристики б)

Тиристор отримує керуючий імпульс U_a від системи РЕС. Цей сигнал гарантує, що пристрій перемикається на кут α , який задається U_u . Змінюючи кут α від 0 до 180 градусів, напруга на статорі можна довести до нуля від повної напруги мережі U_1 .

Напруга статора має непарну, несинусоїдальну форму. Це робить його схожим на сукупність синусоїдальних напруг або гармонік, кожна з яких має певну частоту. Частота першої гармоніки f_1 відповідає частоті джерела живлення f_1 . Однак інші гармоніки мають вищі частоти, ніж перша гармоніка. Використовуючи базові розрахунки, амплітуда основної хвилі є найбільшою, яку видно на рис. 2.1. Графік на малюнку б демонструє механічні аспекти зміни напруги статора AD. Регулювання напруги статора не впливає на швидкість холостого ходу та не впливає на ковзання зчеплення k_s . Однак регулювання напруги статора істотно змінить значення найбільшого крутного моменту M_{max} .

Саме це зниження напруги призводить до різкого зменшення M_{max} і зниження перевантажувальної здатності АТ. Підсумовуючи форму штучних характеристик, що представлені на рис. 2.1.1 б, висновок такий, що якщо критичне ковзання s_{cr} велике, то зміна напруги статора можна користуватися для регулювання швидкості в невеликих межах. Однак зі зменшенням швидкості зростає ковзання s і зростають втрати.

Ковзання s визначається залежністю:

$$s = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_1},$$

де ω - Швидкість ідеального холостого ходу АТ.

Повна потужність на валу, що включає втрати на тертя і вентиляцію:

$$P_{ел} = M \cdot \omega, \quad \text{де } M - \text{електромагнітний момент двигуна.}$$

Повна електромагнітна потужність, яка передається від статора до ротора через повітряний проміжок:

$$P_{ел} = M \cdot \omega_1.$$

Різниця потужностей $\Delta P_2 = P_{\text{ел}} - P_{\text{мех}}$ розсіюється у вигляді теплоти у активних опорах ротора. У підсумування втрати в роторі визначаються залежністю:

$$\Delta P_2 = M \cdot (\omega_1 - \omega) = M \cdot s \cdot \omega_1 = s \cdot P_{\text{ел}}.$$

Електромагнітна потужність двигуна розподіляється при цьому наступним чином: одна її частина, пропорційна ковзанню s , розсіюється у

вигляді теплоти в обмотці ротора, а інша частина, пропорційна $(1 - s)$

передається на вал двигуна:

$$P_{\text{мех}} = (1 - s) \cdot P_{\text{ел}}.$$

Через цей спосіб регулювання кутової швидкості зміною напруги при постійній частоті мережі він не економний, оскільки втрати в роторі при постійному моменті навантаження зростають пропорційно ковзанню.

2.2. Закони частотного керування двигуном з умови збереження

перевантажувальної здатності

Для надійної роботи електромеханічної системи максимальний крутний момент двигуна завжди більший за момент навантаження, тобто двигун має достатню перевантажувальну здатність.

Тому при виборі співвідношення частоти і напруги, що подається статором асинхронного двигуна, більшість виходять з умови збереження перевантажувальної здатності асинхронного двигуна, тобто критичний момент множиться на номінальний момент. Для будь-яких електромеханічних характеристик у цьому випадку повинні бути дотримані такі співвідношення:

$$m = \frac{M_{\text{кр}}}{M_{\text{ном}}} = \text{const.}$$

Закон частотного управління за умови збереження перевантажувальної здатності, що встановлює оптимальне співвідношення між частотою, напругою

живлення та моментом навантаження асинхронного двигуна, сформульованого академіком М.П. Костенко. Цей закон записується таким чином:

$$\frac{U_1}{U_{\text{ном}}} = \frac{f_1}{f_{\text{ном}}} \cdot \sqrt{\frac{M}{M_{\text{ном}}}},$$

де $U_{\text{ном}}, f_{\text{ном}}$ - номінальні напруга і частота мережі;

U_1, f_1 - напруга і частота на виході перетворювача частоти;

$M_{\text{ном}}, M$ - номінальна і поточне значення моменту АД.

Керування двигуном відповідно до співвідношення помилки при ненасиченій магнітній системі дає змогу зберігати практично незмінним коефіцієнт потужності і повне ковзання, в результаті ККД системи не залежить від швидкості. Це і є основною перевагою частотного управління.

Відштовхуючись від яких видів навантаження закон управління напругою і частотою має різні форми. При постійному моменті навантаження ($M_c = \text{const}$)

співвідношення Помилка: джерело перехресного лінка не знайдена набуває

$$\frac{U_1}{f_1} = \text{const.}$$

Механічні характеристики системи ПЧ-АТ під час постійного моменту, якщо вони зберігаються в сталості переважувальної здатності двигуна, наведені на малюнку 2.2.

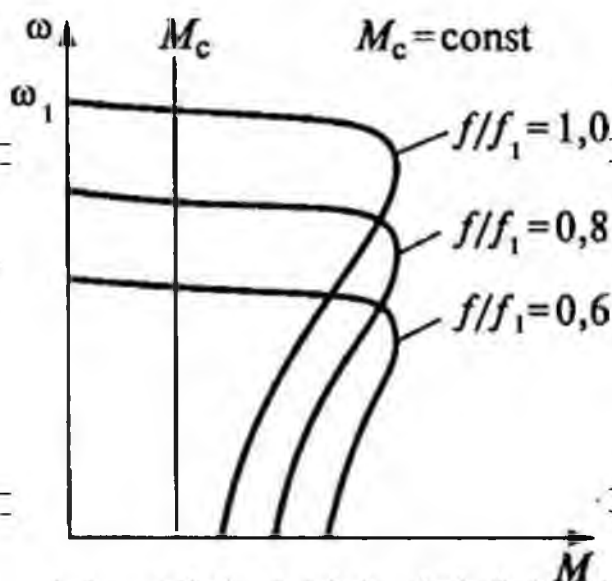


Рис. 2.2. Механічні характеристики приводу ПЧ-АТ при постійному моменті

Таким чином, для того щоб реалізувати принцип частотного управління асинхронним двигуном, необхідно відповідно до вираження помилки: джерело перехресного лінка не знайдено і з урахуванням виду навантаження керувати напругою, що підводиться до статора двигуна, що пов'язані зі зміною частоти живлення.

2.3. Вихідні дані для розрахунку характеристики перетворювача

Об'єктом дослідження обрано асинхронний короткозамкнений двигун типу 5AC160M6, довідкові параметри якого наведені у таблиці 2.1. Номінальна лінійна напруга живлення статора 380 В.

Таблиця 2.1

Характеристики асинхронного двигуна 5AC160M6

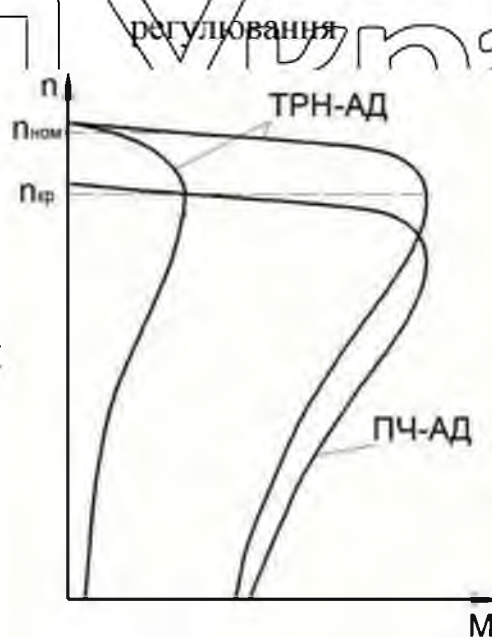
ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ		показники
Номінальна потужність на валу	$P_n, \text{кВт}$	16
Швидкість обертання валу	$n_n, \text{кВт}$	930
ККД	$\eta, \%$	84
Коефіцієнт потужності	$\cos\varphi_n$	0,85
Номінальний струм статора	$I_n, \text{А}$	34
Кратність пускового струму	$k_I = \frac{I_{II}}{I_{\text{НОМ}}}$	5,5
Кратність пускового моменту	$m_{\text{пуск}} = \frac{M_{II}}{M_{\text{НОМ}}}$	2,2
Кратність максимального моменту	$m_{\text{макс}} = \frac{M_{\text{макс}}}{M_{\text{НОМ}}}$	2,5
Кратність моменту спротиву	$m_c = \frac{M_c}{M_{\text{НОМ}}}$	1
Момент інерції ротора	$J, \text{кг} \cdot \text{м}^2$	0,150

Енергозбереження та підрахунок частотно-регульованого двигуна порівняльного оцінкою споживаної з мережі потужності для асинхронного

двигуна з тиристорним регулюванням напруги (ТРН-АТ) та частотно-регульованого асинхронного двигуна (ПЧ-АТ). Вибір параметрів, необхідних для розрахунку проводиться за допомогою механічних характеристик.

Характеристика для обраного двигуна наведено малюнку 2.3.

Рис. 2.3. Механічні характеристики двигуна при різних способах регулювання



Розрахунок параметрів можна знайти, порахувавши точки механічної характеристики АТ (Рис. 2.4).

Т.(1) – режим КЗ, координати $(M = M_{\text{пукс}}; n = 0)$;

Т.(2) – критичний режим роботи, координати $(M = M_{\text{макс}}; n = n_{\text{кр}})$;

Т.(3) – режим номінального навантаження, координати $(M = M_{\text{ном}}; n = n_{\text{ном}})$;

Т.(4) – режим ідеального ХХ, координати $(M = 0; n = n_{\text{синхр}})$.

НУБІП України

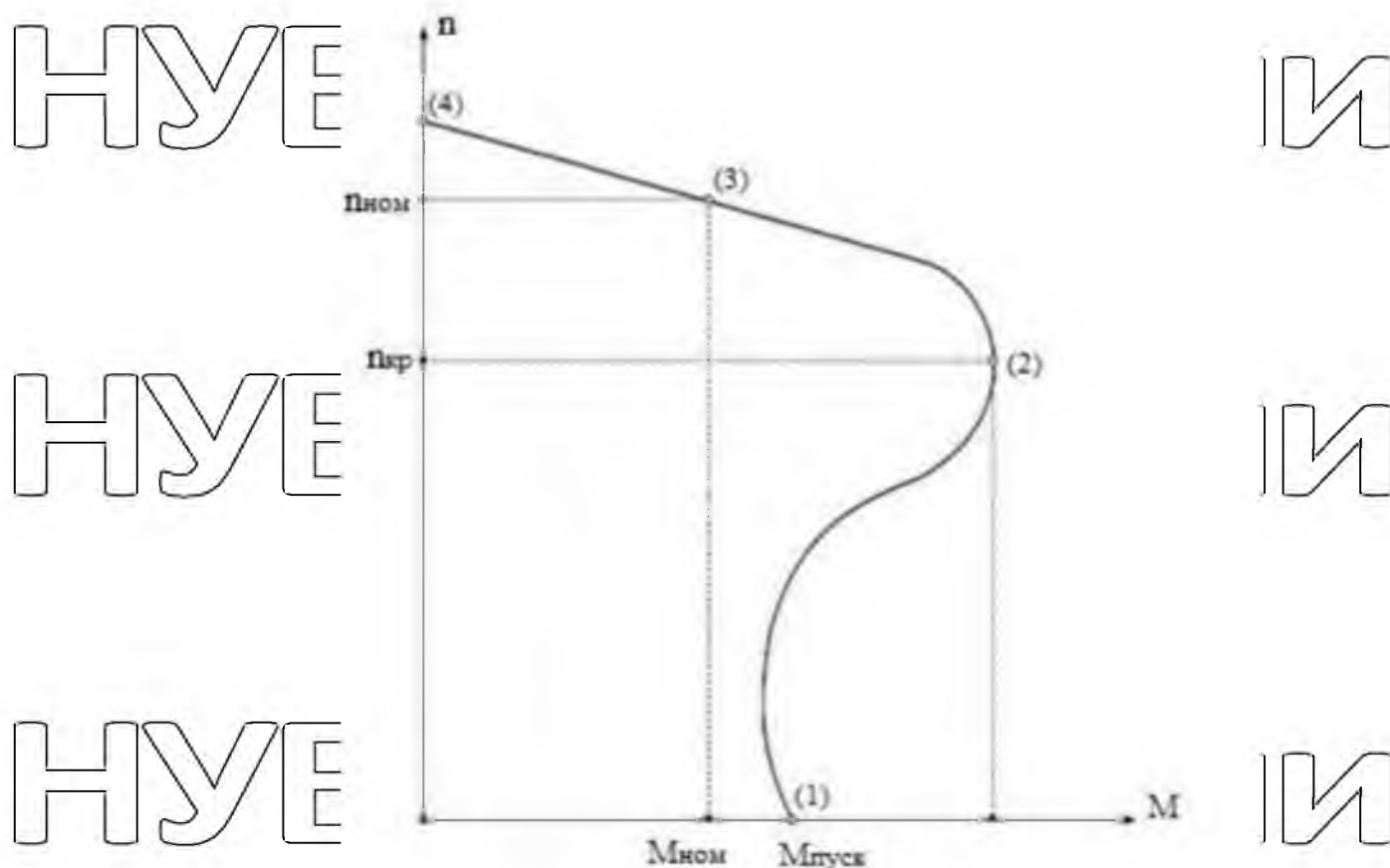


Рис. 2.4. Механічна характеристика асинхронного двигуна

Працюючи з виразами з таблиці 2.1, візьмемо величини, які є координатами цих точок. Скориставшись значеннями кратності моментів, необхідно обчислити номінальний момент на валу двигуна $M_{ном}$:

$$\omega_{ном} = \frac{2 \cdot n_{ном} \cdot \pi}{60} = \frac{2 \cdot 930 \cdot \pi}{60} = 97,39 \text{ рад/с,}$$

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}} = \frac{16000}{97,39} = 164,29 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Для точки Т (1) знайдемо пусковий момент двигуна:

$$M_{пуск} = m_{пуск} \cdot M_{ном} = 2,2 \cdot 164,29 = 361,44 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Для точки Т.(4) потрібно знайти синхронну швидкість обертання. Близька

до номінальної швидкості велика стандартна швидкість обертання – 1000 об / хв.

Скільки $n_0 = 1000$ об/хв.

Точка Т.(3) є номінальною точкою, а для номінальної точки значення моменту і швидкості вже відомі: $M_{\text{ном}} = 164,29 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $n_{\text{ном}} = 930 \text{ об/мин}$.

Точка Т.(2) – критична точка механічної характеристики. Після перевищення критичного моменту двигун зупиняється. З цього маємо, що критичний момент – максимальний момент, який може розвинути цей двигун:

$$M_{\text{макс}} = m_{\text{макс}} \cdot M_{\text{ном}} = 2,5 \cdot 164,29 = 410,73 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для пошуку критичного ковзання необхідно знати номінальне ковзання – це відносна різниця синхронної швидкості обертання і дійсної (в даний момент години):

$$s_{\text{ном}} = \frac{n_0 - n_{\text{ном}}}{n_0} = \frac{1000 - 930}{1000} = 0,07.$$

40240*

Звідси потрібно знайти ковзання в критичній точці.

$$s_{\text{кр}} = s_{\text{ном}} \cdot \left(m_{\text{макс}} + \sqrt{m_{\text{макс}}^2 - 1} \right) = 0,07 \cdot \left(2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1} \right) = 0,335.$$

41241*

MERGEFORMAT (.)

Висловлюючи з помилки а не знайдена швидкість, обертання, знайдемо критичну швидкість.

$$n_{\text{кр}} = n_0 \cdot (1 - s_{\text{кр}}) = 1000 \cdot (1 - 0,37) = 665 \text{ об/мин}.$$

Внаслідок по чотирьох точках можна побудувати механічну характеристику двигуна рис. 2.5.

Занотуємо значення частоти живлення для досягнення критичної швидкості обертання ротора. Для цього скористаємося формулою:

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \text{ об/хв},$$

де p – число пар полюсів обмотки статора. Дізнавшись номінальну швидкість обертання двигуна (930 об/хв) і промислову частоту мережі (50 Гц), знайдемо p

3. Можна обчислити $f_{\text{кр}}$.

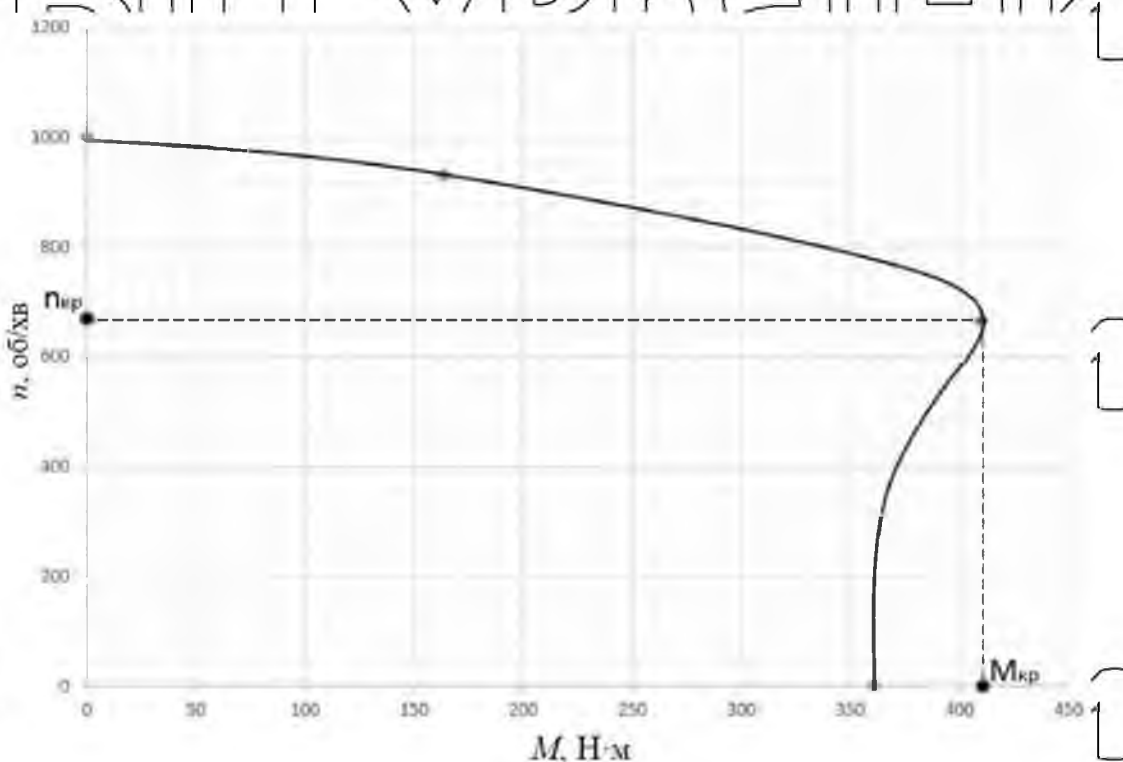
$$f_{кр} = \frac{p \cdot n_{кр}}{60} = \frac{3 \cdot 665}{60} = 33,25 \text{ Гц.}$$

Вихідні дані, призначених для розрахунку, беруть:

$$S_{ном}, S_{кр}, n_{кр}, f_{кр}, f_{ном}, M_{ном}, M_{кр}.$$

Рис. 2.5. Механічна характеристика асинхронного двигуна типу

5АС160М6



Діапазон зміни частоти обертання двигуна визначається регулюванням двигуна тиристорним регулятором, який має місце перевищення максимального моменту над моментом опору ($M_{кр} > M_{ср}$).

Оцінка споживаної потужності здійснюється на частоті обертання двигуна пкр при відповідних цій швидкості параметрах $f_{кр}$ та $s_{кр}$.

Щоб забезпечити роботу двигуна при критичному ковзанні, слід знизити критичний момент до значення моменту опору.

При живленні від ТРН, напруга забезпечує відповідну механічну характеристику в цьому випадку, визначається з виразу:

$$U_1 = U_{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{M_c}{M_{\text{кр}}}} = 220 \cdot \sqrt{\frac{164,29}{410,73}} = 139,14 \text{ В,}$$

$$\text{де } M_c = m_c \cdot M_{\text{ном}} = 1 \cdot 164,29 = 164,29 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

Оцінка потужності, споживаної з мережі, проводитиметься без урахування перегріву двигуна через втрати в роторі. Інакше – для умов короткочасної роботи двигуна (режим роботи S2). У цьому випадку можна вважати, що розрахована потужність, споживана з мережі для роботи, буде мінімально можливою.

Щоб забезпечити можливість роботи в тривалому режимі без перегріву потрібно двигун більшої потужності або велика споживана потужність.

Оцінка споживаної потужності мережі, необхідної для роботи ІГ-АД, проводиться в умовах, які забезпечують постійну здатність до перевантаження протягом усього часу роботи двигуна. Можна вважати, що розраховане значення потужності є максимально можливим (тривалий режим роботи S1), тому що для умов короткочасної роботи двигуна може виникнути більш швидкий тривалий режим перевантаження, ніж при тривалому режимі. Термін експлуатації, тому для режиму S2 більш невеликі значення потужності. [3]

2.4 Визначення специфіки альтернативних параметрів АД

Основним завданням аналізу процесу двигуна є визначення параметрів альтернатив, починаючи з активного опору та індуктивності статора та ротора.

Характеристики двигунів з однаковими паспортними даними відрізняються за параметрами альтернатив. Різниця в характеристиках залежить від різних показників електротехнічних матеріалів. Розкид параметрів зазору між ротором і статором має великий вплив на поширення характеристик.

У реальних машинах проміжок не буває рівномірним, не можна пояснити ексцентриситетом ротора щодо статора, конусністю статора і ротора і рядом інших причин [8, 9].

Змінивши параметри схеми заміщення спричиняє зміни частоти живлення обмоток двигуна, активних опорів, а отже, і до змін температури, і т.д. Для цього параметри схеми заміщення повинні забезпечувати збіжність отриманих даних (коефіцієнт потужності, номінальний момент і т.д.) з паспортними даними двигуна.

Максимальна кількість координат точки, для якої можна налаштувати параметри альтернативи, має механічні властивості. Такі як номінальна швидкість, пусковий, номінальний і максимальний крутний момент. Однак дослідження показали, що існує певна помилка в забезпеченні збіжності результатів у всьому діапазоні частот. А при розрахунку кількості електроенергії, через недосконалу схему заміни асинхронного двигуна, можуть виникнути похибки, наприклад, механічні втрати в магнітопроводі. Крім того, певні двигуни та режими роботи теоретично не гарантують конвергенції. Через те, що параметри альтернатив утворюють складні нелінійні функції зі складними умовами збіжності які неможливо перевірити.

Неправильні гіпотетичні значення можуть бути результатом неточного наближення опору індуктивності. Задача обчислення енергетичних характеристик вимагає перевірки збіжності та коефіцієнта потужності в номінальному режимі, що ускладнює задачу визначення параметрів альтернатив і потребує багаторазових циклів обчислення.

До теперішнього часу проблема обчислення енергетичних властивостей остаточно не вирішена. Найбільші похибки в результатах розрахунків можуть мати місце при малих обертах ротора, коли відсутні дані про вплив двигуна на електричні параметри [8].

Наприклад, дослідження показали, що похибки в момент пуску можуть досягати 25 ... 30%. Тому розрахунок енергетичних характеристик, особливо для

значних ковзань, більших за критичні, є наближеним. Основною метою розрахунку може бути порівняння та аналіз характеристик двигуна різних систем керування, а також визначення тенденції впливу окремих параметрів на енергетичні характеристики.

2.5/ Методика визначення параметрів схеми заміщення

Одним із завдань при будь-якому аналізі процесів у двигуні є визначення параметрів схеми заміщення, показаної на рис. 2.6.

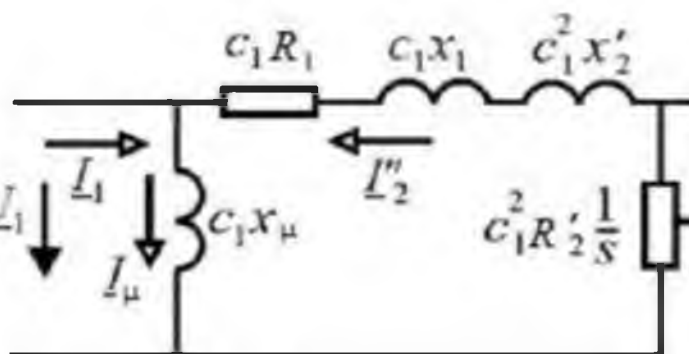


Рис. 2.6. Г-подібна схема заміщення асинхронного двигуна [10]

Використовуємо без ітераційної методики визначення параметрів схеми заміщення (СЗ) асинхронної машини на основі даних каталогу: швидкості поля статора, коефіцієнтів потужності та корисної дії для номінальної (100%) та одних з часткових навантажень (25% і 50%); кратності пускового струму, максимального та пускового моменту. Розрахунок параметрів схеми заміщення виконується у програмі Matlab. Додаток 1 вказує код програми, де дані вирази для розрахунку активного та індуктивного опорів ротора при зміні ковзання, наведені результати розрахунку параметрів схеми заміщення асинхронних двигунів різної потужності, які виявили відповідний для інженерної практики збіг з параметрами, одержаними при проектуванні цих двигунів. [11] Для

визначення величини критичного ковзання застосовується формула Клосса, звідки одержуємо вираз для критичного ковзання:

$$s_k = s_n \frac{K_M + \sqrt{K_M^2 - (2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (K_M - 1))}}{1 - 2 \cdot s_n \cdot \beta \cdot (K_M - 1)},$$

де K_M – кратність максимального момента,

β – параметр відповідає за збіжність розрахованих даних з паспортними

$$\left(\beta = \frac{R_1}{C_1 + R_2}, C_1 = 1 + \frac{X_1}{X_M} = 1 + \frac{I_0}{2K_t I_{1H}} \right),$$

автором методики вказані межі значень β

від 0,6 до 2,5. [4] Уявимо β як суму мінімального зазначеного значення і додаткового коефіцієнта N :

$$\beta = 0,6 + N.$$

Перевіряти результат будемо з номінальними даними проведення за коефіцієнтом потужності і моменту двигуна. Залежність збіжності

перевіряються параметрів у відсотках від обраного значення N показано на

рис.2.7.

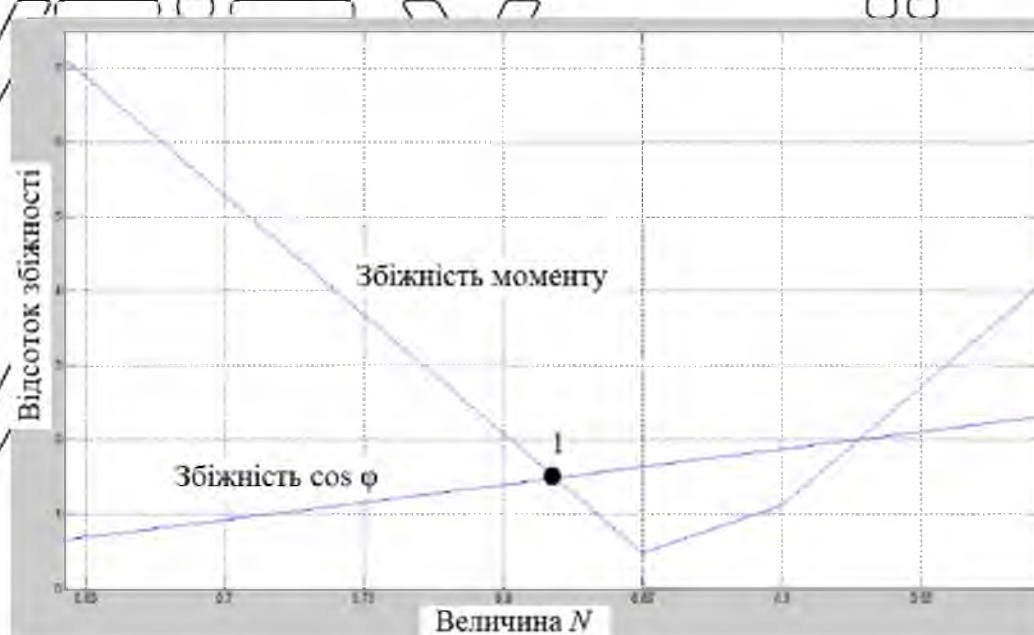


Рис. 2.7. Залежність збіжності моменту двигуна та коефіцієнта потужності з паспортними даними від величини N

Візьмем оптимальне значення N , за якого розбіжність коефіцієнта потужності і моменту з паспортними даними однаково – точка 1 на графіку.

Результати розрахунку параметрів:

Активний опір статора: $R_1 = 0,65 \text{ Ом};$

Активний опір ротора: $R_2 = 0,48 \text{ Ом};$

Індуктивний опір статора: $x_1 = 0,31 \text{ Ом};$

Індуктивний опір ротора: $x_2 = 0,42 \text{ Ом};$

Індуктивний опір намагнічування: $x_m = 27,25 \text{ Ом};$

$\cos\varphi = 0,83;$

$M_{ном} = 161,88 \text{ Н}\cdot\text{м}.$

Розбіжності розрахункових значень коефіцієнта потужності та між номінальним моментом двигуна з паспортними значеннями двигуна не перевищують 2%.

Розглянуто прийоми регулювання швидкості, побудовано механічну характеристику асинхронного двигуна типу 5AC160M6, розібрано відповідну схему заміщення та розраховано її параметри. Розбіжності розрахункових значень коефіцієнта потужності та номінального моменту двигуна з паспортними значеннями не перевищують 2%, розрахунок вважається вірним.

РОЗДІЛ 3

ПРИНЦИП РОБОТИ ПЕРЕТВОРЮВАЧА ЧАСТОТИ З АВТОНОМНИМ ІНВЕРТОРОМ НАПРУГИ ЧІМ

Найбільш поширеним типом перетворювача частоти ШІМ є перетворювач з некерованим випрямлячем напруги в ланці постійного струму. Серед них напруга на входній клемі інвертора незмінна, а вихідна напруга регулюється за допомогою широтно-імпульсної модуляції. З початку 1990-х років, під час розробки напівпровідникових приладів і вихідних біполярних транзисторів, ці випрямлячі вироблялися багатьма електротехнічними компаніями з IGBT з ізольованим затвором (біполярні транзистори з ізольованим затвором).

IGBT - це р-п-р транзистори, керовані високовольтними n-канальними польовими транзисторами. При необхідності використовуйте розпаралелення транзисторів або гібридних модулів. До переваг IGBT можна віднести: високу допустиму щільність струму; регулювання напруги, як у MOP-транзисторів; майже прямокутну безпечну робочу зону, відсутність необхідності формування комутаційних шляхів, низькі втрати в імпульсному режимі. Перелічені якості зумовили широке використання IGBT в сучасних перетворювачах ШІМ [12].

Принцип ШІМ найлегше пояснити на прикладі однофазного інвертора, який отримує живлення від джерела постійного напруги із середньою точкою, а його структура показана на малюнку 1. 3.1

Активне індуктивне навантаження включене між середньою точкою джерела живлення та з'єднанням електронних кнопок 1 і 2, кожна електронна кнопка містить транзистор, що працює в режимі кнопки, і діод зворотного струму.

Система управління транзисторними ключами містить у своєму складі нуль-орган (НВ) і формувачі $\Phi 1$ та $\Phi 2$. На вході нуль-органу порівнюються задає сигнал і u^* (тут і далі індексом «зірочка» відзначені сигнали задування) і пилкоподібне опорне навантаження i_{ref} [12].

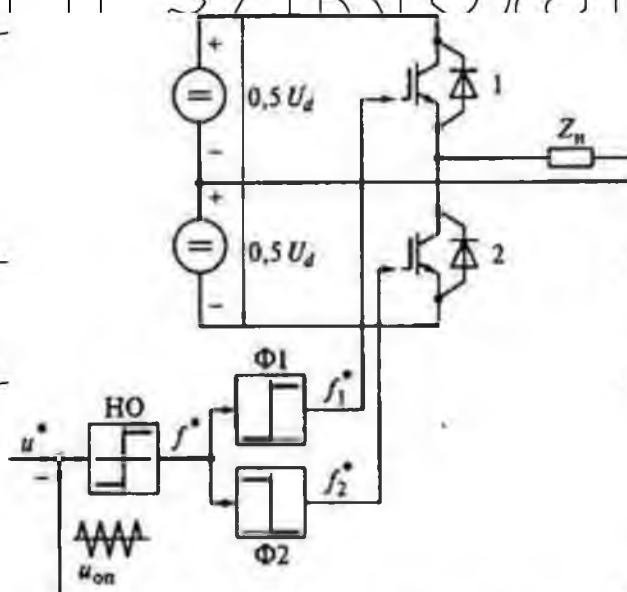


Рис. 3.1. Структура однофазного інвертора з широтно-імпульсною модуляцією

Якщо $u^* > u_{оп}$, то різниця $(u^* - u_{оп})$ позитивна, то сигнал на виході нуля-органу позитивний і на виході формувача $\Phi 1$ є позитивний сигнал f_1^* який замикає ключ 1 т. д. що надає відповідний транзистор. До навантаження прикладається напруга $0,5U_d$ у неї зліва «плюс», а праворуч – «мінус» і яку вважаємо позитивним. При негативній різниці $(u^* - u_{оп})$ замикається ключ 2 і напруга на навантаженні стає негативною та рівною $-0,5U_d$.

На рис. 3.2 зображено: симетричну пилкоподібну опорну напругу з максимальним значенням $U_{оп}$ і напруга завдання u^* , яка виділяється незмінною протягом періоду $T_{шм}$ опорної напруги. У нижній ділянці рисунка наведено стану сигналів f_1^* і f_2^* форма напруги на виході інвертора u . Середнє значення напруги на виході визначається наступним чином:

$$U = 0,5U_d \left(1 - \frac{2T_2}{T_{\text{шпм}}} \right),$$

$$T_{\text{шпм}} = T_1 + T_2 = f_{\text{шпм}}^{-1},$$

де T_1, T_2 – інтервали замкнутого стану ключів 1 і 2 відповідно;

$T_{\text{шпм}}$ – період широтно-імпульсної модуляції, с;

$f_{\text{шпм}}$ – частота ШІМ, Гц.

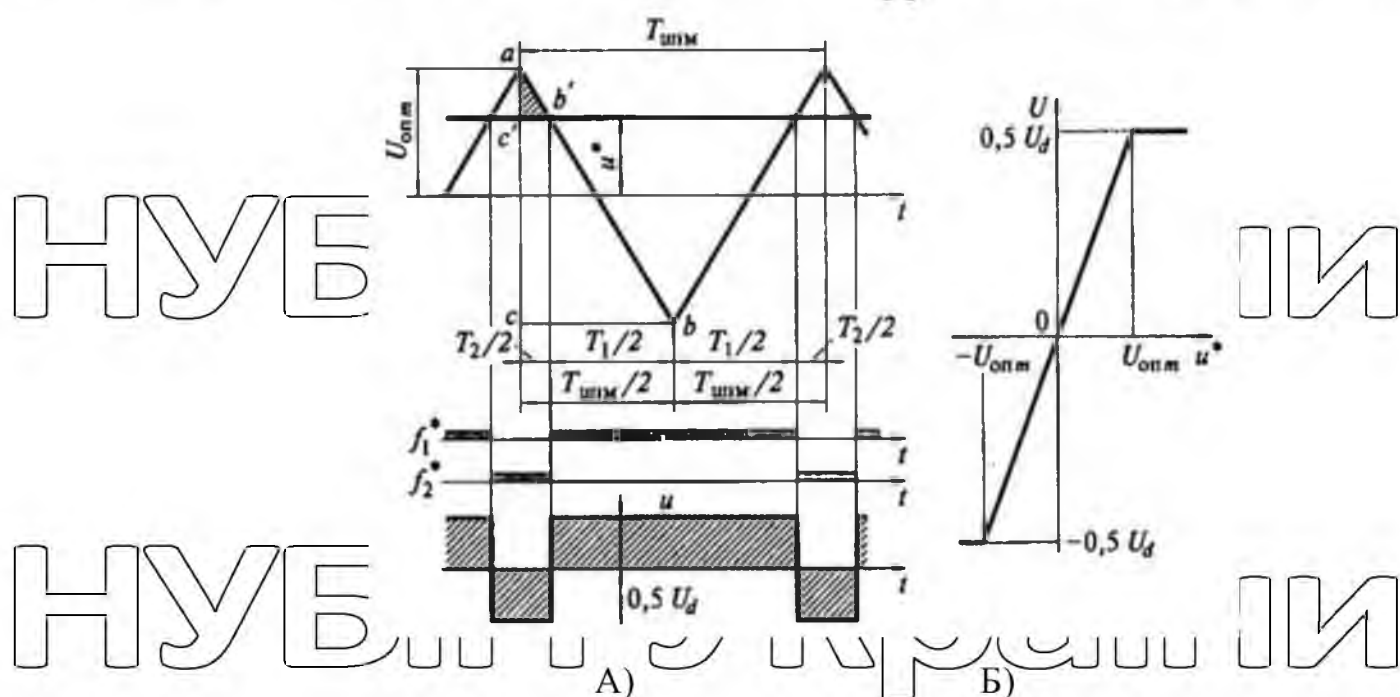


Рис. 3.2. Характеристики передавального коефіцієнта інвертора: а) напруга опорна та завдання; б) регульовальна характеристика інвертора

Схожості трикутників abc і $ab'e$ для робочої частини характеристики інвертора, коли $|u^*| \leq U_{\text{опт}}$, може бути записано:

$$\frac{T_2}{T_{\text{шпм}}} = \frac{U_{\text{опт}} - u^*}{2U_{\text{опт}}}.$$

Звідси з урахуванням наведеного вище виразу для U слід, що

НУБІП УКРАЇНИ

$U = \frac{0,5U_d}{U_{\text{опт}}} u^* = k_i u^*$,
 де k_i – коефіцієнт передачі інвертора в лінійній частині характеристики,

$$\text{коли } |u^*| \leq U_{\text{опт}}.$$

З регулювальної характеристики інвертора $U = f(u^*)$, (рис. 3.2, б), бачимо, що повинно бути передбачено її обмеження на рівні $0,5U_d$, так як для отримання рівної напруги на виході сигнал u не повинен перевищувати максимального значення опорної напруги $U_{\text{опт}}$.

У системі управління інвертором обов'язково має існувати короткочасна затримка між розмиканням одного ключа та замиканням іншого для відновлення замикальних властивостей транзистора, що виходить з ладу.

Коли керуючий сигнал являє собою синусоїду з частотою $\omega_{\text{дел}}$, то напруга

$$t \geq \frac{2\pi}{\omega_{\text{дел}}}$$

на виході інвертора, що розглядається за годину $\omega_{\text{дел}}$ буде являти собою гармонійну криву, яка містить поряд з першою гармонікою, яка має частоту керуючого сигналу, ряд гармонійних складових більш високого порядку. Внаслідок, якщо амплітуда не перевищує значення, то перша гармоніка напруги на виході інвертора у певному масштабі повторює керуючий сигнал. Зміна його частоти призводить до зміни частоти на виході інвертора. Зміна амплітуди сигналу при незмінній частоті буде призводити до зміни співвідношення тривалості позитивних і негативних імпульсів напруги виходу, то зміни амплітуди його першої гармоніки, що представлено на рис. 3.3.

НУБІП України

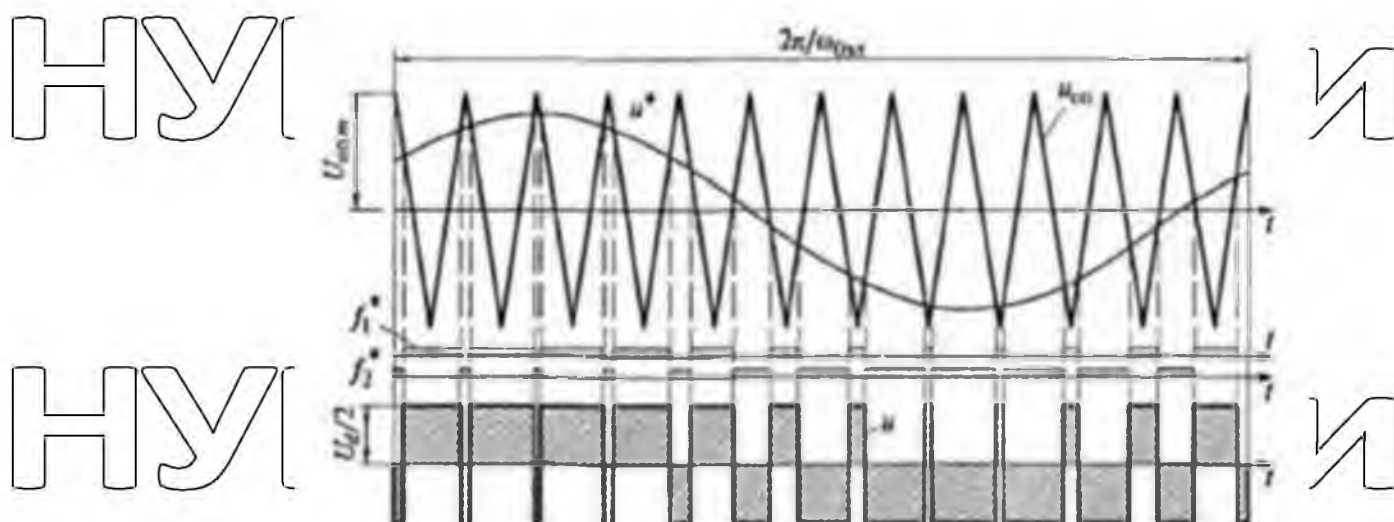


Рис. 3.3. Принцип широтно-імпульсної модуляції на прикладі однофазного інвертора

Щоб спростити наочності побудови прийнято, що частота опорної напруги всього в 12 разів перевищує частоту керуючого сигналу. В дійсності в сучасних інверторах частота опорного напруги (частота ШІМ) становить від одиниць до десятків кГц при номінальній частоті напруги на виході інвертора

$$f_{\text{н}} = \frac{\omega_{\text{оел}}}{2\pi} = 50 \text{ Гц.}$$

Під високими частотами ШІМ та активно-індуктивному навантаженні, якою є обмотка статора, струм навантаження виявляється практично синусоїдальним.

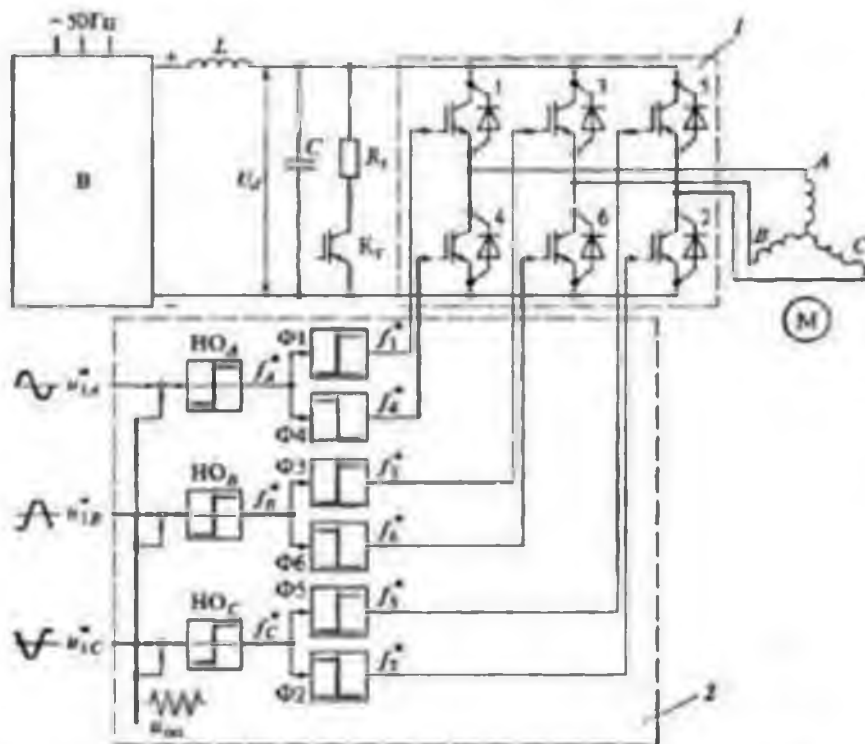
Однак треба враховувати і ряд негативних ефектів, пов'язаних з підвищенням частоти ШІМ, а саме наявність електромагнітних перешкод, що впливають на інші електротехнічні та радіотехнічні пристрої, та виникнення перенапруг у ланцюзі навантаження, що небезпечно для ізоляції обмоток двигуна. Впоратися з цими явищами можна за допомогою використання двигунів із підвищеною якістю ізоляції, у застосуванні екранованих кабелів та спеціальних фільтрів, в обмеженні тривалості комунікацій, а також у роздільній прокладці силових кабелів та кабелів системи управління.

Схема трифазного мостового інвертора (рис. 3.4.) містить в собі три плеча з транзисторними ключами, будь-яке з яких виконане аналогічно плечу

однофазного інвертора (див. рис. 3.1.). Середніми точками з'єднано з плечей підключено початок фазної обмотки статора двигуна, якщо обмотки статора з'єднані зіркою, як це показано на рис. 3.4., або угол трикутника, якщо обмотки з'єднані треугольником. Схема має в собі загальний для всіх трьох фаз джерело пилкоподібного опорного напруги $u_{оп}$ [12].

Сигнали керування $u_{1A}^*, u_{1B}^*, u_{1C}^*$ є трифазну систему синусоїдальних напруг, зсунутих між собою на 120° . Частота напруги змінюється на виході інвертора та досягається зміною частоти керуючих сигналів, а зміна амплітуди – зміною їх амплітуди.

Рис. 3.4. Структура перетворювача частоти: 1 – автономний інвертор



напруги, 2 – система управління інвертором

На рис. 3.5 відображено, формування трифазної напруги на фазах навантаження, з'єднаної в зірку. На рисунку заштрихованими горизонтальними

лініями відзначені стани сигналів $f_1^* - f_6^*$, отже і замкнуті стани ключів 1-6. Їх

залежність від знаків різниць $u_{1A}^* - u_{оп}^*$; $u_{1B}^* - u_{оп}^*$; $u_{1C}^* - u_{оп}^*$ визначена так само, як це зроблено під час розгляду однофазного інвертора. Фазні напруги на виході часом прийматимуть п'ять різних значень: $+(2/3)U_{д}$; $+(1/3)U_{д}$; 0 ; $-(1/3)U_{д}$; $-(2/3)U_{д}$.

Наведено на крайньому лівому проміжку години (див. мал. 3.5.) замкнуті

ключі 2, 4 і 6, якому відповідає рівність нулю напруг на виході: $u_{1A} = u_{1B} = u_{1C} = 0$.

На наступному за ним проміжку часу замкнуті ключі 5, 6 та 1. Водночас $U_{1B} = (2/3)U_{д}$; $U_{1A} = (1/3)U_{д}$ і т.д. Лінійна напруга між фазами A і B визначена

як $u_{1AB} = u_{1A} - u_{1B}$. Алгоритм роботи даної схеми, так само як і алгоритм роботи однофазного інвертора, виключає можливість одночасного замикання обох

ключів одного плеча моста. До того ж, у графіках напруги є ділянки, на яких замкнуті одночасно всі парні або непарні ключі, внаслідок чого значення напруги на цих ділянках дорівнюють нулю. [12]

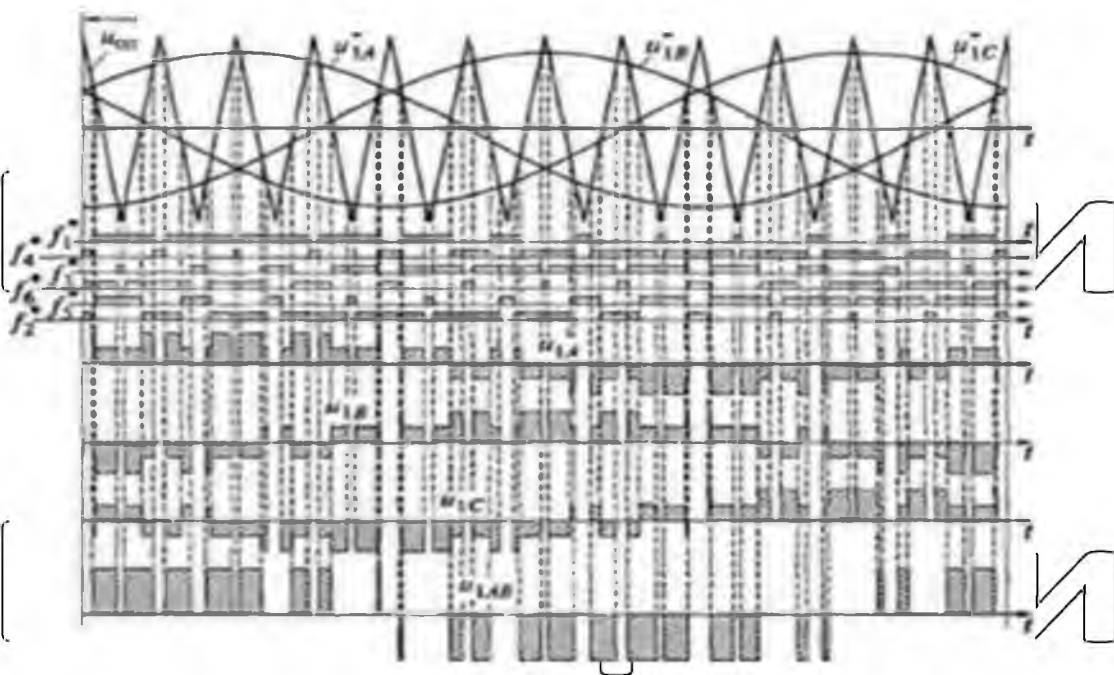


Рис. 3.5. Формування напруги на виході

У випадку рівного розподілу амплітуди сигналу u^* максимальному

значенню опорної напруги $U_{опт}$ амплітуда першої гармоніки напруження на виході інвертора дорівнює $0,5U_{д}$. Для наочності графік напруг побудований при

тому ж співвідношенні частоти ШІМ і частоти напруги на виході інвертора що і при розгляді однофазного інвертора (див. рис. 3.1). Вище сказане для впливу високої частоти ШІМ справедливо і для трифазного інвертора. Схема інвертора з явно вираженим пилкоподібним опорним напругою може бути реалізована, як в аналоговій формі, так і в цифровій формі із застосуванням мікропроцесорної техніки.

Представлено принцип роботи перетворювачів частоти з автономним інвертором та ШІМ, розглянуті варіанти однофазних та трифазних інверторів, наведені схеми та пояснюють роботу часові діаграми.

Реалізувати дану систему керування можливо за допомогою перетворювача частоти Schneider Electric ATV930D55N4 зовнішній вигляд якого зображений на рисунку 3.6, в таблиці 3.1 представлено його технічні характеристики.



Рис. 3.6. Перетворювач частоти Schneider Electric ATV930D55N4 55 кВт

Він може живити 3-фазні синхронні та асинхронні двигуни. Підходить для двигунів з номінальною потужністю до 55 кВт/75 кінських сил для застосувань, які вимагають невеликого перевантаження (до 120%). Він підходить для двигунів з номінальною потужністю до 45 кВт/60 кінських сил для застосувань, які потребують значного перевантаження (до 150%). Він працює при номінальній напрузі живлення від 380 В до 480 В змінного струму. Цей перетворювач

швидкості/частоти (VSD/VFD) спеціально розроблений для промислових процесів.

НУБІП УКРАЇНИ

Таблиця 3.1

Технічні характеристики перетворювача частоти

Schneider Electric ATV930D55N4 55 кВт

Серія продукту	Altivar Process ATV930D55N4
IP ступінь захисту	IP21 відповідно до IEC 61800-5-1 IP21 відповідно до IEC 60529
Частота живлення	50...60 Hz +/- 5 %
Кількість фаз мережі	3 фази
<i>U_s</i> номінальна напруга живлення	380 В до 480 V - 15...10%
Потужність двигуна, кВт	75,0 Гц для Нормальний режим роботи 60,0 Гц для Тяжкий режим роботи
Струм короткого замикання <i>I_{к.з.}</i>	50 кА
Вихідна частота перетворювача	0,1... 599 Гц
Кількість адрес	1...247 для Modbus serial
час дискретизації	2 мс +/- 0,5 мс (DI1...DI8) - Дискретний вхід 5 мс +/- 1 мс (DI7, DI8) - pulse input 1 мс +/- 1 мс (AI1, AI2, AI3) - analog input 5 мс +/- 1 мс (AQ1, AQ2) - аналоговий вихід
точність	+/- 0.6 % AI1, AI2, AI3 при коливаннях температури 60 °C analog input +/- 1 % AQ1, AQ2 при коливаннях температури 60 °C аналоговий вихід
розсіювана потужність в Вт	Natural convection 131 В на 380 V 2.5 kHz Примусова вентиляція 917 на 380 V 2.5 kHz
базовий струм навантаження при високому перевантаженні	88,0 А
базовий струм навантаження при низькому перевантаженні	106,0 А

НУБІП УКРАЇНИ

РОЗДІЛ 4

ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ШВИДКОСТІ З ПІДТРИМКОЮ СТАЛОСТІ ПОТОКОЗЧЕПЛЕННЯ СТАТОРА.

МЕТОДИКА ОЦІНКИ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПІВПРОВІДНИКОВИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

Наведена схема управління (рис. 4.1) постачає при постійному статичному моменті широкий діапазон регулювання швидкості. Коли вносимо бажану величину потокозчеплення і здійснюємо автоматичну підтримку цієї величини [9].

Тому що через зворотний зв'язок виконати простіше за ЕРС, і такі схеми стали широко зустрічатися на практиці. ЕРС в даній схемі проводити обчислення як на підставі вимірів миттєвих значень струму в кожній фазі двигуна.

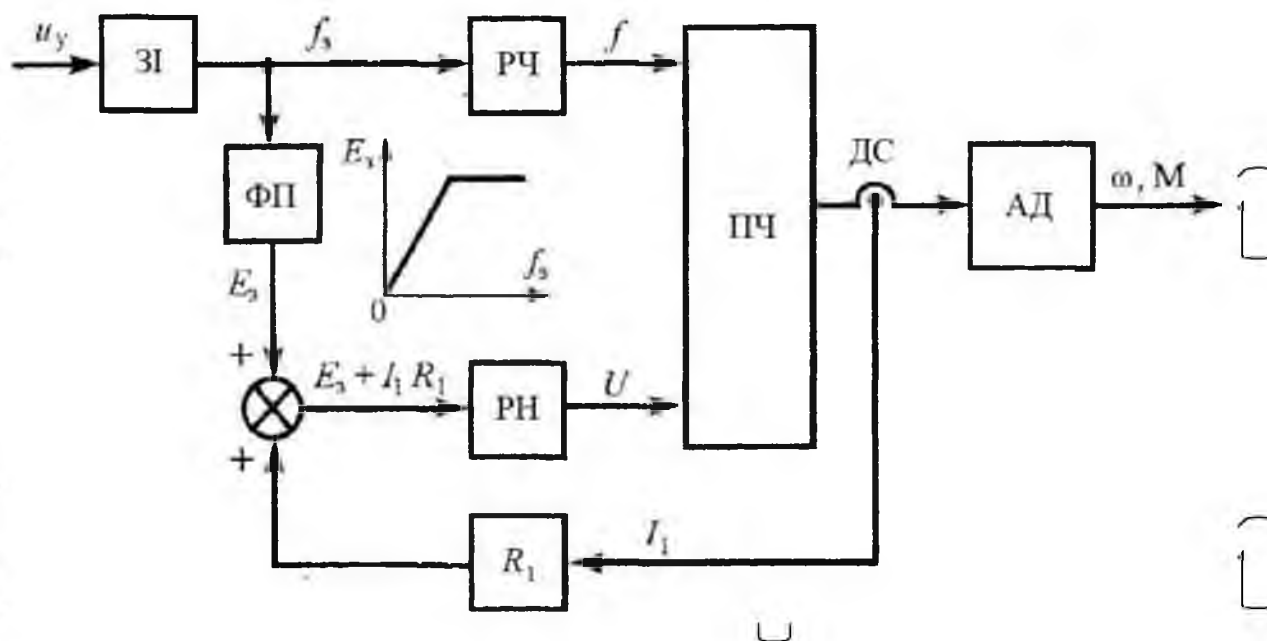


Рис. 4.1. Функціональна схема частотного керування АТ з ІР-компенсацією (з постійним потокозчепленням статора)

Постійне потокозчеплення статора є миттєвим ЕРС статора і буде визначатися таким виразом:

$$e_{s\phi} = u_{1\phi} - i_{1\phi} \cdot R_1$$

Взаємодія ЕРС статора визначається виразом:

$$\dot{E}_s = \dot{U}_1 - \dot{I}_1 \cdot R_1,$$

в цій схемі представлено систему частотного керування АД за законом $\psi_1 = \text{const}$ використовуючи безперервну компенсацію падіння напруги на активному опорі R_1 статора. Геометричну суму можна замінити з допустимою помилкою на алгебраїчну, яку часто і використовують на практиці. [13]

Приклад роботи схеми. Напруга управління U_u надходить на задатчик інтенсивності $3I$, після здійснюється завдання бажаного переходного процесу електроприводу. Підтримка необхідної величини напруги і частоти виконується з регулятором напруги РН і регулятором частоти РЧ. Значення E_3 стабілізуючої

ЕРС формується для закону частотного керування $\left(E = \omega_1 \cdot \psi = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{\psi} \right)$ за

допомогою функціонального перетворювача ФП. Функціональний перетворювач за значеннями частоти задатчика інтенсивності вважає ЕРС, при якій забезпечується сталість потокозчеплення статора. Датчик струму ДС знімає значення струму, після чого далі обчислюється значення ЕРС. Результатом є напруга потрібної величини і частоти, що надходить з перетворювача частоти ПЧ до асинхронного двигуна [8].

Схему управління асинхронним двигуном показано нижче підтримує сталість потокозчеплення. Вибрано варіант реалізації її зі зворотним зв'язком по ЕРС, оскільки він простіший у виконанні і в той же час прибирає недоліки розімкнених систем управління.

4.1. Методика оцінки втрат у силових ключах

Вирахування втрат проводиться після того як обрали ключові елементи, вони забезпечують область безпечної роботи по струму і напрузі. Важливою

особливістю користування ключовими приладами в перетворювачах частоти, які використовуються в пристроях управління електродвигунами, є їх здатність боротися з великими напружками і струми, частіше, діючих одночасно.

Втрати у силових ключах поділяються на статичні та динамічні. Перші втрати (РСТ) діляться на втрати у включеному-замкненому (Рзам) та вимкненому-розімкнутому (Рраз) станах.

Динамічні втрати (Рдин) враховуються в динамічних режимах, за яких здійснюється перехід з одного стану в інший: з вимкненого у включенні (втрати Рдин.вкл) і навпаки (втрати Рдин.вимкл).

Спрощені годинні діаграми, що показують принципи перемикання силового ключа при активному навантаженні наведені на рис. 4.2. [10]

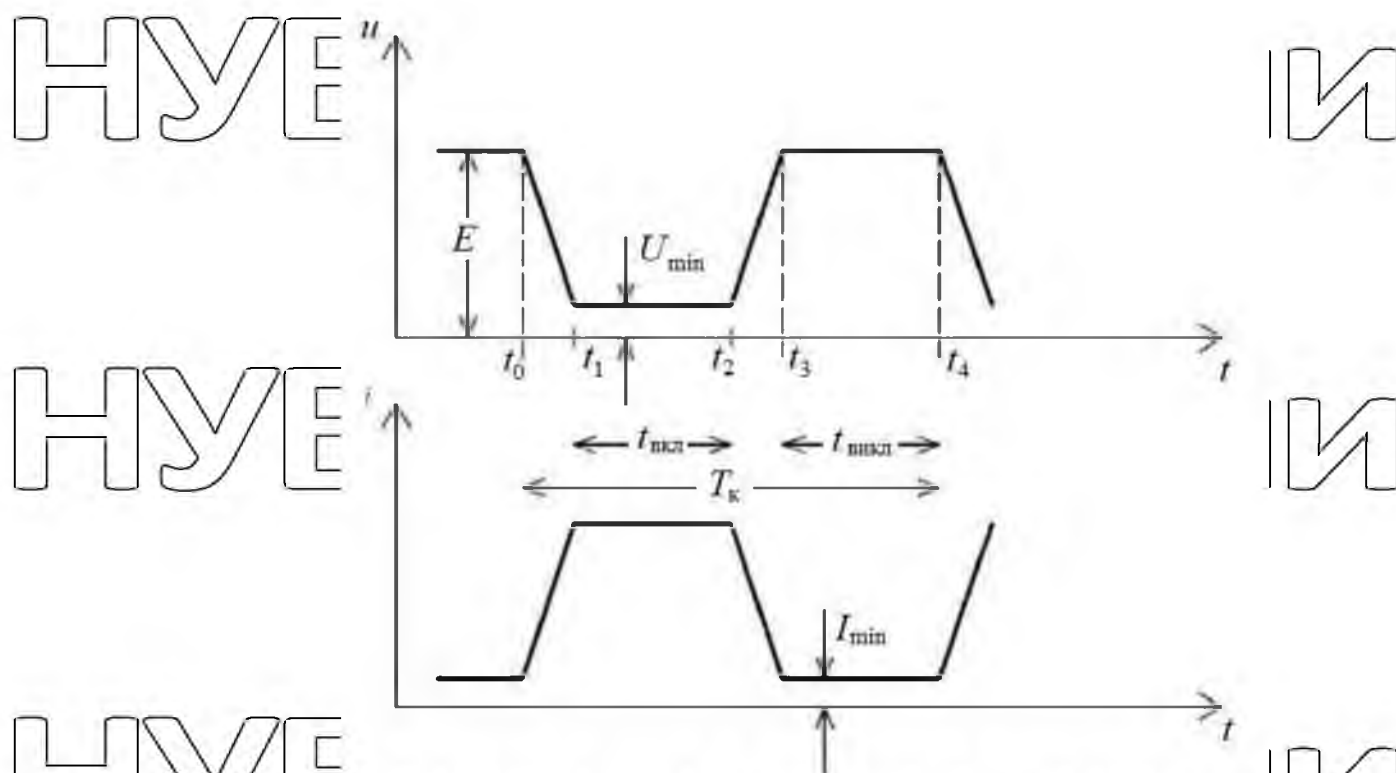


Рис. 4.2. Тимчасові діаграми, що пояснюють принципи перемикання силового ключа: E – напруга на закритому ключі; U_{\min} – I_{\min} – струм витоку в закритому стані; T_k – період комутації ключа; $t_{\text{вкл}} = t_1 - t_2$ – інтервал включеного стану; $t_{\text{вимкл}} = t_3 - t_4$ – інтервал вимкненого стану; $t_0 - t_1$ і $t_2 - t_3$ – інтервали динамічного режиму, відповідно $t_{\text{дин.вкл}}$ і $t_{\text{дин.вимкл}}$.

Потужність втрат, усереднені на інтервалі повторення імпульсів, визначається динамічними та статичними втратами.

При великих частотах динамічні втрати перевищують статичні. Тому наводимо розрахунок для динамічних втрат:

$$P_{\text{дин}} = \frac{U_m \cdot I_{\text{ср}}}{T_k \cdot 2} \cdot (t_{\text{вкл}} + t_{\text{викл}}) \cdot f_{\text{нес}},$$

$$\frac{1}{T_k} = f_{\text{нес}}$$

де T_k в межах 20-30 ксц.

Щоб порахувати втрати, необхідно вибрати транзистор IGBT. При струмах $I < 100$ А і $U < 600$ В безпічний роботизований режим забезпечує транзисторний модуль типу CM75-TC-12N з такими параметрами:

$$t_{\text{он}} = 250 \cdot 10^{-9} \text{ с}; t_{\text{оф}} = 300 \cdot 10^{-9} \text{ с}; f_{\text{мер}} = 50 \text{ Гц}.$$

Проведемо аналіз необхідних значень, для виявлення динамічних витрат у ключах:

$$U_m = \sqrt{2} \cdot U_1 = \sqrt{2} \cdot 173,87 = 245,89 \text{ В}; \quad U_m = \sqrt{2} \cdot U_1;$$

$$U_1 = \frac{f_1 \cdot U_{\text{ном}}}{f_{\text{ном}}} = \frac{36,75 \cdot 220}{46,5} = 173,87 \text{ В}; \quad U_1 = \frac{f_1 \cdot U_{\text{ном}}}{f_{\text{ном}}};$$

$$f_1 = f_{\text{кр}} + f_2 = f_{\text{кр}} + s_{\text{ном}} \cdot f_{\text{мер}} = 33,25 + 0,07 \cdot 50 = 36,75 \text{ Гц};$$

$$f_{\text{ном}} = \frac{\omega_{\text{ном}} \cdot p}{2 \cdot \pi} = \frac{97,38 \cdot 3}{2 \cdot \pi} = 46,5 \text{ Гц};$$

$$I_{\text{ср}} = \frac{1}{T/2} \int_0^{T/2} I_{\text{фм1}} \cdot \sin \omega dt = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{\pi} \cdot I_{\text{н}} = 0,93 \cdot I_{\text{н}} = 0,93 \cdot 34 = 30,61 \text{ А}.$$

За формулою Помилка: джерело перехресного лінку не знайдений

розраховуємо динамічні втрати:

$$P_{\text{дин}} = \frac{U_m \cdot I_{\text{ср}}}{T_k \cdot 2} \cdot (t_{\text{вкл}} + t_{\text{викл}}) \cdot f_{\text{нес}} =$$

$$\frac{245,89 \cdot 30,61}{2} \cdot (250 \cdot 10^{-9} + 300 \cdot 10^{-9}) \cdot 30 \cdot 10^3 = 62,1 \text{ Вт.}$$

4.2. Методика оцінки витрат у перетворювачі з ШІМ

Зокрема, оцінку витрат у перетворювальних машинах з широтно-

імпульсною модуляцією можна побачити так:

- 1) Динамічні втрати (втрати при комутації);
- 2) У період дії низькочастотної напруги, яка подається на обмотки статора

двигуна, амплітуда потоків за інтервал увімкнення буде змінюватися за синусоїдальним законом.

Втрати в перетворювачі з ШІМ:

$$\Delta P_{\text{перетв}} = P_{\text{дин}} \cdot 6 \cdot 2 = 745,2 \text{ Вт,}$$

де 6 і 2 – це кількість ключів і діодів відповідно.

$$\eta_{\text{перетв}} = 1 - \frac{\Delta P_{\text{перетв}}}{P_1 + \Delta P_{\text{перетв}}}$$

$$P_1 = P_{\text{ном}} \cdot \frac{n_{\text{кр}}}{n_{\text{ном}}} = 16 \cdot 10^3 \cdot \frac{665}{930} = 1,1 \cdot 10^4 \text{ Вт,}$$

$$\eta_{\text{перетв}} = 1 - \frac{\Delta P_{\text{перетв}}}{P_1 + \Delta P_{\text{перетв}}} = 1 - \frac{745,2}{1,1 \cdot 10^4 + 745,2} = 0,937.$$

4.3. Методика оцінки коефіцієнта корисної дії в АД з тиристорним регулятором і перетворювачем частоти з ШІМ

Загальну потужність втрат в двигуні можна визначити з виразу:

$$\Delta P_{\text{дв}} = \Delta P_{1\text{м}} + \Delta P_{2\text{м}} + \Delta P_{1\text{с}} + \Delta P_{2\text{с}} + \Delta P_{\text{мех}},$$

де $\Delta P_{1\text{м}}$ – втрати в міді статора двигуна;

$\Delta P_{2\text{м}}$ – втрати в міді ротора двигуна;

$\Delta P_{1\text{с}}$ – втрати в сталі статора двигуна;

$\Delta P_{2\text{с}}$ – втрати в сталі ротора двигуна;

$\Delta P_{\text{МЕХ}}$ – механічні втрати.
 Коли ми провели визначення коефіцієнта корисної дії часто не враховують механічні втрати і втрати в сталі ротора. Тому формула для визначення ККД

набуває вигляду:

$$\eta_{\text{ДВ}} = \frac{M_{\text{НОМ}} \cdot \omega_{\text{кр}}}{M_{\text{НОМ}} \cdot \omega_{\text{кр}} + \Delta P_{1\text{М}} + \Delta P_{2\text{М}} + \Delta P_{1\text{С}}}$$

Коефіцієнт корисної дії в асинхронному двигуні з тиристорним регулятором.

Приблизні оцінки втрати в елементах АД розраховуються наступним чином:

$$\Delta P_{1\text{С}} = 0,2 \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{НОМ}}} - 1 \right) = 0,2 \cdot 16000 \cdot \left(\frac{1}{0,84} - 1 \right) = 609,52 \text{ Вт,}$$

$$\Delta P_{1\text{М}} = 3 \cdot I_{1\text{НОМ}}^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 34^2 \cdot 0,65 = 2254 \text{ Вт,}$$

$$\Delta P_{2\text{М}} = S_{\text{кр}} \cdot P_{\text{ел}} = 0,335 \cdot 16000 = 5360 \text{ Вт,}$$

де $P_{\text{ел}}$ – електромагнітна потужність, що передається від статора до ротора. Основний внесок в сумарні втрати вносять втрати в роторі міді, які залежать від ковзання.

$$\eta_{\text{ДВ1}} = \frac{M_{\text{НОМ}} \cdot \omega_{\text{кр}}}{M_{\text{НОМ}} \cdot \omega_{\text{кр}} + \Delta P_{1\text{М}} + \Delta P_{2\text{М}} + \Delta P_{1\text{С}}} = \frac{164,29 \cdot 69,64}{164,29 \cdot 69,64 + 2254 + 5360 + 609,52} = 0,58.$$

Коефіцієнт корисної дії в асинхронному двигуні з перетворювачем частоти

з ПЧМ.
 При наближених оцінках втрати в елементах АД можуть бути розраховані за допомогою виразів :

$$\Delta P_{1\text{С}} = 0,2 \cdot P_{\text{НОМ}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{НОМ}}} - 1 \right) = 0,2 \cdot 16000 \cdot \left(\frac{1}{0,84} - 1 \right) = 609,52 \text{ Вт,}$$

$$\Delta P_{1\text{М}} = 3 \cdot I_{1\text{НОМ}}^2 \cdot R_1 = 3 \cdot 34^2 \cdot 0,65 = 2254 \text{ Вт,}$$

$$\Delta P_{2M} = M_{\text{ном}} \cdot \Delta \omega = M_{\text{ном}} \cdot (\omega_1 - \omega_{\text{ном}}) = \frac{M_{\text{ном}} \cdot 2 \cdot \pi \cdot \Delta n}{60} =$$

$$= \frac{164,29 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot (1000 - 930)}{60} = 1204 \text{ Вт,}$$

$$\eta_{\text{дв2}} = \frac{M_{\text{ном}} \cdot \omega_{\text{кр}}}{M_{\text{ном}} \cdot \omega_{\text{кр}} + \Delta P_{1M} + \Delta P_{2M} + \Delta P_{1C}} = \frac{164,29 \cdot 69,64}{164,29 \cdot 69,64 + 2254 + 1204 + 609,52} = 0,74.$$

Щоб оцінити економічність перетворення енергії електричним двигуном з перетворенням частоти беремо вислів:

$$\eta = \frac{P_{\text{мех}}}{P},$$

в якому P – споживана з мережі активна потужність

Під час практичних розрахунках наведене вище співвідношення подається як добуток коефіцієнта корисної дії перетворювача частоти і асинхронного двигуна.

$$\eta = \eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{перетв}} = 0,74 \cdot 0,937 = 0,68.$$

Отже, було розглянуто і використано методики розрахунку енергетичних характеристик напівпровідникових перетворювачів. Фінальним результатом є отримані значення ККД для двох двигунів з ТРН і ШІМ. Як і очікувалося, система з ШІМ дала кращий результат, ніж ТРН, різниця ККД 10%

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК

НУБІП України

5.1. Оцінка споживаної з мережі потужності АД з тиристорним регулятором

Значення споживаної потужності з мережі:

$$S = \frac{M_{\text{ном}} \cdot \omega_{\text{кр}}}{\eta_{\text{дв}} \cdot v \cdot \cos \varphi} = \frac{164,29 \cdot 69,64}{0,58 \cdot 0,5} = 39450 \text{ Вт}$$

де значення коефіцієнта $v \cdot \cos \varphi$ в розрахунку приймається рівним 0,5.

5.2. Оцінка споживаної з мережі потужності АД з частотним регулюванням

За оцінками, споживання електроенергії не вважається зменшеним, тобто припускається, що ШІМ-випрямляч використовується на вході системи.

Значення потужності, споживаної двигуном регулювання частоти,

становить:

$$S = \frac{M_{\text{ном}} \cdot \omega_{\text{кр}}}{\eta_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{пч}} \cdot v \cdot \cos \varphi} = \frac{164,29 \cdot 69,64}{0,74 \cdot 0,94 \cdot 0,85} = 19350 \text{ Вт.}$$

5.3 Оцінка ефективності енергозбереження

Як стандарт для оцінки ефективності енергозбереження, PF-AD має відносно менше споживання енергії порівняно з TRN-AD. За допомогою розрахункового значення споживаної потужності споживана потужність двигуна інвертора може бути відносно зменшена:

$$\delta = \frac{S_{\text{тр}} - S_{\text{пч}}}{S_{\text{тр}}} = \frac{15716,9 - 8122,66}{15716,9} = 0,509 = 51\%.$$

НУБІП України

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ РОБІТ НА ЕЛЕКТРОДВИГУНАХ

НУБІП України

6.1. Охорона праці при виконанні робіт на електродвигунах

Допуск до ремонту з електробезпеки не нижче II (електроприладів напругою до 1000 В) та чоловіків і жінок не нижче IV (напруга понад 1000 В) у віці 18 років. Працювати на двигунах змінного та постійного струму; пройшов інструктаж з електробезпеки, отримав відповідні посвідчення та пройшов двотижневий стаж безпечної праці; пройшов медичний огляд та був допущений до роботи за станом здоров'я; пройшов вступний інструктаж та попередній інструктаж на робочому місці.

Електротехнічний персонал зобов'язаний: дотримуватись внутрішнього трудового розпорядку; не вживати спиртних напоїв, не перебувати на робочому місці, в організації та в робочий час у стані алкогольного, наркотичного або отруєного стану; допускати куріння тільки в спеціально відведених місцях; працювати дослідження та вдосконалення безпечних методів праці; Працювати в спецодязі відповідно до встановлених норм і користуватися засобами індивідуального захисту, вміти надавати першу медичну допомогу потерпілим у разі нещасного випадку. Знати, де знаходиться аптечка з набором медикаментів, за потреби забезпечити транспортування (супровід) потерпілого до лікувального закладу, дотримуватись правил гігієни та гігієни, не приймати їжу на робочому місці.

Під час роботи електротехнічний персонал може зазнавати впливу небезпечних виробничих факторів, підвищених значень напруги в електричних ланцюгах, які можуть призвести до короткого замикання в організмі людини; рухомих частин обладнання.

Вимоги охорони праці перед початком роботи: перед початком роботи упорядкуйте робочий одяг, одягніть його, не опускайте голову, одягніть щільний головний убір і підберіть волосся, підготуйте робоче місце до безпечної роботи.

НУБІП України

Підготувати та перевірити засоби захисту, перевірити працездатність електроінструментів, приладів, пристроїв і розмістити їх у зручному та безпечному робочому місці; перевірити роботу, чи достатньо освітлене місце.

Вимоги з охорони праці під час виконання робіт: на двигуні та механізмі, який він приводить, повинні бути нанесені стрілки, що вказують напрямок обертання механізму та двигуна, а також написи на пристроях розподілу електроенергії (вимикачах, контакторах, магнітних пускачах). Вкажіть, до якого двигуна вони належать, запобіжники повинні бути відкапоровані, як зазначено на табличці струму запобіжника.

Клеймо наноситься виробником або електролабораторією. Забороняється використовувати некалібровані лопаті, всі елементи мережі споживача захищені, а вузли технічно заблоковані для запобігання самозапуску електродвигуна відповідального органу, розподільні пристрої повинні бути максимально наближені до електродвигуна та встановлені там, де він простий в

обслуговуванні синхронні електродвигуни Працює в генераторному режимі в період максимального навантаження на енергосистему реактивної потужності при оптимальному значенні випереджального коефіцієнта потужності. Режим роботи великих синхронних електродвигунів (потужністю понад 1000 кВт), співні з випереджаючим коефіцієнтом потужності, узгоджується з

енергосистемою; електродвигуни, що знаходяться в резерві, повинні бути постійно готові до негайного пуску, періодично оглядатися і випробуватися за графіком, затвердженим особою, відповідальною за електрогосподарство підрозділу (підприємства), для контролю наявності напруги на групових щитах і вузлах двигуна розміщують вольтметри або сигнальні лампочки, для забезпечення нормальної роботи двигуна напруга на шинах підтримується в межах 100-105% від номінального значення.

При необхідності двигун допускається працювати при напрузі від -5% до +10% від номінальної напруги; вібрація двигуна, биття ротора і розміри повітряного зазору, виміряні на кожному підшипнику, не повинні перевищувати

стандартних значень; постійний контроль навантаження двигуна і температури підшипників, повітря, що надходить і виходить із двигунів із закритими вентиляційними системами, технічне обслуговування підшипників, пуск,

регулювання та зупинка робіт персоналом майстерні, який обслуговує двигун, перед початком роботи на двигуні димососа та вентилятора, якщо двигун можна

обертати від механізму до якого він прикріплений, клапани та заслінки

останнього повинні бути закриті та заблоковані, а також вжити заходів до гальмування ротора двигуна; забороняється знімати двигун під час роботи

огороження для частин, що обертаються, роботи електродвигунів замикання та

розмикання напругою вище 1000 В пускової апаратури з приводами ручного

управління здійснюються з ізолюючих підставок із застосуванням діелектричних

рукавичок.

Змінювати налаштування щіткового апарату електродвигуна дозволяється особам, які мають III групу з електробезпеки. Це стосується лише одного

працівника, призначеного для виконання цього завдання, і лише якщо він носить

головний убір і працює в рукавичках. Також важливо дотримуватися правил

безпеки; вони включають роботу в гумових чоботях або діелектричних

черевиках, недоторкання до будь-яких частин обох подосів або заземлених частин, а також уникнення торкання струмопровідних частин двигуна або

частин, що переносять струм, під час їх заміни. Змотувальний кабель для

багатошвидкісного двигуна вважається пристроєм під напругою, з яким слід

поводитися обережно.

Після завершення роботи працівники повинні захистити себе та свої інструменти, дотримуючись таких кроків: приборати інструменти, повідомити

про будь-які проблеми та несправності бригадиру або заступнику, зняти робочий одяг і вимити руки з милом. Крім того, вони повинні отримати наказ про

відпустку на робочому місці.

При пошкодженні компонентів електродвигуна, несправності пускової апаратури або виявленні загрози безпеці людей електродвигун відключається від

джерела живлення. Це може статися у випадку пожежі, диму або механічної поломки. Також підставою для відключення є несправність механізму приводу і надмірний нагрів підшипників.

Працівники зобов'язані негайно повідомляти пожежну охорону про будь-яку пожежу або полум'я. Вони також повинні надати їм інформацію про місцезнаходження предмета, що горить, а також про тих, хто його охороняє.

Вони повинні вжити заходів для забезпечення безпеки та евакуації персоналу, використовуючи основні засоби пожежогашіння об'єкта. Далі вони повинні здійснити гасіння пожежі. Після прибуття підрозділу пожежної охорони працівники зобов'язані повідомити їм джерело пожежі та надати інформацію про способи її ліквідації. Під час гасіння пожежі працівники зобов'язані

дотримуватись заходів безпеки для запобігання викрадення матеріальних цінностей, надати необхідну першу допомогу потерпілим на виробництві, щоб він позбавився від дії травмуючих факторів (струмів, механізмів); у разі отримання травми на виробництві негайно звернутися до лікувального закладу та повідомити про те, що сталося Ваш безпосередній керівник, якщо це не загрожує оточуючим і не спричиняє нещасний випадок, залишайте робоче місце на тому ж місці під час травми.

6.2. Вимоги безпеки при обслуговуванні електродвигунів

Болти або гвинти захищають кінці кабелів і обмоток двигунів. Для зняття цих захисних кожухів потрібно відкрутити гайки або відкрутити гвинти. Будь-хто, хто вимикає захист двигуна, ризикує пошкодити його обертові частини, такі як вентилятори, муфти та контактні кільця. Крім того, несанкціоноване зняття шківів, вентиляторів, муфт або інших компонентів може не працювати належним чином.

З електродвигунами повинні працювати спеціалісти, які дотримуються вимог своєї кваліфікаційної групи. Ці рекомендації включають роботу в

діелектричних рукавичках, щоб зменшити електричний заряд, що проходить через двигуни та ізоляційні робочі станції. Електродвигуни можуть дистанційно вимикати та вмикати навчені фахівці. Цей процес цілком можуть виконати чергування електриків, не поворухнувши пальцем.

Вкрай важливо, щоб прибиральники та механіки не потрапили в механізми, на яких вони працюють.

Забороняється одночасно торкатися струмоведучих частин різної полярності або струмоведучих частин і заземлених частин машини. Для цього використовуйте інструмент з ізольованою ручкою. У працюючому двошвидкісному двигуні обмотки та кабелі, що їх живлять, слід вважати обладнанням під напругою. У ланцюзі обертового електродвигуна з пусковим варистором допускається робота лише при піднятих щітках і замкнутому роторі, тоді як у ланцюзі регулюючого варистора обертового електродвигуна його слід вважати таким, що працює при напрузі до 1000 В, із запобіжними заходами. спостерігається.. Кільце ротора приточується на об'єкті, що обертається, тільки за допомогою накладок з ізоляційного матеріалу.

Під час ремонтних робіт необхідно зупинити двигун без демонтажу вузлів моторного механізму, а на клавішах управління або приводах вимикачів вивішувати плакат «Не вмикати - працюють люди».

Електродвигуни та механізми, що працюють на електриці, потребують ремонтного персоналу, який стежить за їх чергуванням. Коли технік виконує це завдання, він одночасно вимикає електричний роз'єднувач, щоб уникнути зіткнення з обертовими частинами. Для подальшого уникнення травм працівники додатково вивішують плакат «Не вмикати». Якщо технікам потрібно зупинити електродвигун через розподільний пристрій, вони повинні зробити це в тестовому положенні. Цю дію потрібно зареєструвати в окремому розділі журналу з позначкою «Статус роботи».

Під час процесу просочення та сушіння обмотки обов'язкові особливі заходи безпеки. Серед них заборона на паління, розпалювання вогню та

зберігання легкозаймистих матеріалів у безпосередніх камерах. Крім того, необхідний вентиляційний пристрій для видалення газоподібних і летких матеріалів із камери просочування. Камера просочування також повинна

відповідати стандартам безпеки для небезпечних середовищ — з відповідними попереджувальними плакатами — через те, що камери просочування недоступні

для зберігання. Для огляду сушильної камери використовують переносні ручні

світильники. Вони живляться від трансформатора, який розміщений поза камерою. Додаткове живлення забезпечує понижуючий трансформатор. Камери

повинні бути оснащені протипожежним обладнанням, таким як сухі вогнегасники, совки, лопати та брезентові фартухи. Додатково працівники повинні бути забезпечені ящиками з піском, гачками та лопатами.

При перевірці електричної міцності ізоляції необхідно дотримуватися певних вимог безпеки. Це включає в себе вимогу принаймні двох людей бути присутніми під час усіх тестувань і операцій. Для випробування ізоляції вищою

напругою необхідне окреме приміщення або ділянка майстерні, яка має двері, що замикаються. Потрапити на високовольтний полігон можуть лише ті, хто має

спеціальний дозвіл. Під час проведення тестування вони повинні використовувати електроізоляційні матеріали або гумові килимки, що покривають землю під ними.

Для всіх процедур тестування необхідні тільки гумові рукавички та калоші. Обов'язкова наявність на випробувальному щитку автоматики захисту та сигналізації. Над дверима камери має бути світло червоного кольору.

Електрообладнання вимірюється за допомогою мегомметрів. Цей інструмент вимірює опір і коефіцієнт поглинання ізоляції. Електричні пристрої часто використовують мегомметри для визначення їх опору ізоляції та коефіцієнта поглинання.

Вибір типу мегомметра залежить від параметрів вимірюваного електрообладнання і проводиться як за граничним виміру, так і за напругою. Гнучкий дрот, з'єднаний з досліджуваним об'єктом, з'єднує мегомметр. Він

підключається до зонда з ізольованими ручками та безпечним обмежувальним кільцем на кінці.

Для того, щоб під час випробувань на об'єкт не подавалась напруга, його перед початком випробувань відключають від мережі. Потім вимірюється кожен електрично незалежний ланцюг і робиться спроба розрядити кожне з них на заземлений корпус машини.

Електричні машини потужністю до 1000 кіловат в силовій ізоляції випробовуються напругою, близькою до кінцевої. Через 10 секунд виконується додаткове випробування з такою ж напругою та вдвічі більшою від номінальної.

Це робиться при температурах, близьких до робочої температури машини. Для машин більшої потужності випробування проводять із поступовим підвищенням напруги. Кожне підвищення має на 5% більшу напругу, ніж останнє. Ліфт випробувальної кімнати повинен піднімати об'єкти вгору повз випробувальний апарат. Випробувальна напруга залишається повністю зарядженою протягом 1 хвилини, потім поступово зменшується до 1/3 початкового значення та повністю вимикається.

6.3. Заходи безпеки при експлуатації електродвигунів

Двигун повинен бути встановлений і працювати правильно. При монтажі та обслуговуванні електродвигунів необхідно дотримуватись техніки безпеки.

Установка електродвигуна вимагає певного проекту. У цьому проекті вказується, де буде встановлений двигун, з яким агрегатом він буде працювати, а також розрахунок проводів і навантаження. Зручніше переходити з дизайнерської в професійну конструкторську майстерню, оскільки це підвищує безпеку. Для установки двигуна на місці установки необхідно найняти професійних монтажників, які працюють не один рік. Двигуни малої потужності (до 10 кВт) і невеликої ваги (до 50 кг) можна встановити самостійно, проконсультуйтеся з командою монтажників після встановлення.

Щоб правильно визначити перетин дротяної жили, потрібно скористатися

математичною формулою. Формула враховує струм і напругу, а також вагу будь-якого прикріпленого металевого предмета. Ви можете безпечно встановити це самостійно, якщо будете діяти надзвичайно обережно.

При роботі з механікою потрібно враховувати навіть маленькі двигуни. Робота з перевіреними підйомними механізмами допомагає зменшити цей ризик. Ви також можете використовувати захисні засоби, такі як захисні окуляри, спецодяг і рукавички. Крім того, ви можете працювати з важелями та іншим обладнанням, яке допомагає піднімати більш важкі предмети.

Співробітники повинні розуміти, як захистити свою роботу. Вони повинні розуміти, як вирівняти електродвигун під час переміщення його з підлоги на більшу висоту. Переміщення електродвигуна з підлоги на висоту 1 метр або менше вимагає спеціальних прийомів. Лише коли двигун знаходиться на відстані кількох сантиметрів від землі, співробітники можуть підійти й напприкріпити його у визначеному місці.

Автоматичний вимикач запобігає запуску електромотора при включенні механізму переміщення та опускання. Живлення двигуна вимагає підключення до відокремленого джерела напруги. Переміщення та опускання також від'єднує електродвигун від його нижньої частини, тому під'єднані нижні частини неможливо утримати. Після підключення живлення висить плакат, який попереджає людей не вмикати двигун. Автоматичний вимикач кабелю вимкнув живлення від вихідних проводів після того, як вони підтвердили відсутність напруги на з'єднанні.

Переконайтеся, що все правильно підключено та затягнуто, перш ніж запускати двигун, не підключаючи його до пристрою. Потім переконайтеся, що зв'язок між двигуном і механізмом працює належним чином, і прикладіть навантаження, щоб перевірити його роботу.

Методи безпечної експлуатації двигунів.

Щоб залишатися в безпеці під час експлуатації електродвигуна, необхідно дотримуватися основних протоколів безпеки. Уникайте контакту з обертовими

та рухомими компонентами двигуна або будь-яким підключеним до нього обладнанням. Отвори двигуна не слід використовувати для розміщення предметів всередині, оскільки неможливо вручну визначити напрямок обертання двигуна.

Не наближайтеся до мотора в розробці одягу. Одяг повинен бути застебнутим. Не допускайте потрапляння води, масла або інших рідин на працюючий двигун. Під час роботи заборонено відкривати кришку коробки Брне, де кабель підключений до контактів двигуна ED. Не стійте на працюючому двигуні

Муфта між двигуном і агрегатом повинна бути закрита захисним кожухом, щоб на нього не потрапляли різні сторонні предмети, тварини і люди. Якщо виробничий процес пов'язаний з перегонкою рідини, то сам мотор рекомендується закрити козирком. Не кидайте різні предмети в бік двигуна, що працює. Не розбирайте, не виконуйте технічне обслуговування справного двигуна. Всі ремонтні роботи проводити тільки на відключеному, знеструмленому двигуні.

Правила безпеки при роботі з електродвигунами.

Працюючий двигун повинен бути заземлений, коли двигун встановлений. Не допускається послідовне заземлення, тобто не заземлення за схемою: двигун-металевий блок керування двигуном-ланцюг заземлення. Металева коробка і двигун відповідно підключені до контуру заземлення.

Під час роботи двигуна його не можна мити водою, чистити щіткою, протирати ганчіркою. Місце, де стоїть електродвигун, повинно добре освітлюватись. Забороняється знаходження біля електродвигуна сторонніх людей, тварин.

Навкруги біля електродвигуна має бути чистим, не мають знаходитися займісті речі, електродвигун не повинен бути накритий будь чимось. Підлога повинна бути без оливи, та інших слизьких речей. Балони з пропаном і киснем повинні знаходитися на безпечній відстані від двигуна. При необхідності можна

накрити мотор екраном з негорючого матеріалу, щоб не потрапила вода і різні дрібні предмети.

Техніка безпеки при ремонті двигунів.

При обслуговуванні електрообладнання спочатку відключіть його від джерела живлення. Вимикаються автоматичні вимикачі, не вивішуються плакати, не проводиться попередня перевірка напруги, встановлюються переносні заземлювачі, встановлюються огорожі для обмеження можливості обслуговування електрообладнання сторонніми особами. Ремонтні роботи можуть виконуватися тільки кваліфікованим персоналом.

Інциденти з обслуговування електрики включають: нагрівання корпусу, посилений гул, іскри під час роботи, гучні підшипники двигуна, ослаблені кріплення, сильну вібрацію, захист двигуна від зупинки, двигуни вимикача запалювання.

Коли електродвигун загорівся, його одразу знеструмили та викликали пожежників, які почали гасити вогонь вуглекислотним вогнегасником. Не намагайтеся загасити двигун, що горить, не вимкнувши живлення.

В критичній ситуації можлива заміна двигуна на новий. При дотриманні наведених інструкцій, травми та нещасні випадки людей буде мінімізована.

6.4. Заземлення електричних двигунів

Заземлення використовується для забезпечення справної роботи електроустановок і для захисту обслуговуючого персоналу від ураження електричним струмом. Відсутність або неправильне встановлення системи заземлення підвищує ризик виходу з ладу обладнання та ураження електричним струмом. Відповідно до нормативних документів всі електродвигуни повинні бути заземлені. Корпус підключається до системи заземлення через провідники, підключені до контуру заземлення. Виняток становлять двигуни, встановлені на металевих основах, які заземлені або через раму, або через металеві штирі.

Відповідно до ПУЕ, заземлення двигуна виконується окремим провідником. При цьому забороняється вмикати двигун послідовно в ланцюг. Відключений підключений двигун є потенційно небезпечним через відсутність заземлення, якщо ланцюг пошкоджено. Існує ризик виходу обладнання з ладу. Неналежна захисна робота може наражати людей на небезпеку. Тому ці підключення неприпустимі.

Відсутня або неправильно встановлена система заземлення може призвести до ураження електричним струмом обслуговуючого персоналу або пошкодження обладнання.

При виході з ладу обмотки двигуна відбувається коротке замикання, тому на корпусі з'являється напруга, що не перевищує допустимого значення.

Спробуйте схему захисту і пристрій вимикається. Якщо не заземлити, на корпусі може виникнути небезпечна напруга, що призведе до смерті обслуговуючого персоналу. Електрик повинен знати, як правильно заземлити двигун. Для цього провідник з'єднують із заземлюючим провідником.

Тільки після цього він може підключитися до пристрою. Порушення цього порядку заборонено.

Заземлювач представлений у вигляді електричного кола сталевий шинопроводу прямокутного перерізу геометричними розмірами 40x4 мм з вертикальними електродами діаметром 0,012 м і довжиною 5 м, закладених на глибині. $l = 0,8$ м. Грунт має два шари питомий опір яких $\rho_1 = 270$ Ом·м, $\rho_2 = 140$ Ом·м, $h_1 = 3,5$ м, $\rho_1 / \rho_2 = 1,33$. Потрібно врахувати що

протяжність мережі повітряної лінії $L_n = 35$ км, кабельної $L_k = 11$ км. Як природний заземлювач застосуємо фундамент залізобетонний площею 50 м².

Розрахунок заземлювача для мережі напругою 0,38 кВ. Схему заміщення відображена рис 6.1

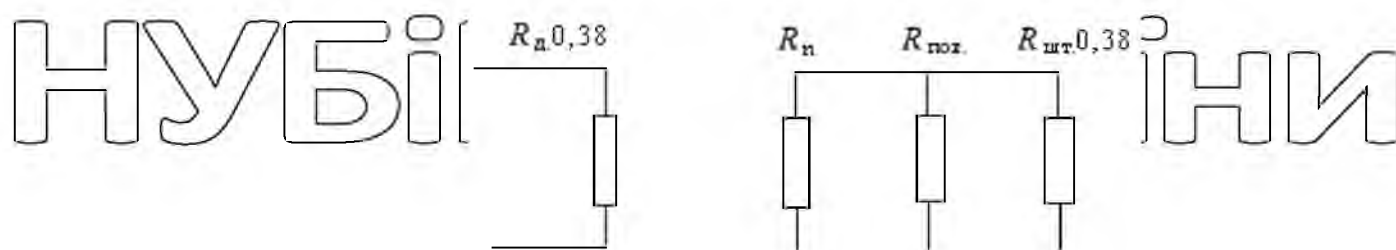


Рис. 6.1. Схема заміщення заземлювача для мережі напругою 0,38 кВ

Визначимо величину опору заземлювача за допомогою еквівалентного питомого опору двошарового ґрунту за формулою:

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{\rho_1 \cdot \rho_2 \cdot k \cdot l}{\rho_1(t + k - h_1) + \rho_2(h_1 - t)},$$

де $k = 1$ при $\rho_1 \geq \rho_2$, отримаємо:

$$\rho_{\text{екв}} = \frac{270 \cdot 140 \cdot 1 \cdot 5}{270(0,8 + 5 - 3,5) + 140(3,5 - 0,8)} = 189,19 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Опір природного заземлювача розрахуємо наступним чином:

$$R_p = 0,5 \frac{\rho_{\text{эф}}}{\sqrt{S}},$$

де $\rho_{\text{эф}}$ — еквівалент питомого опору ґрунту, Ом·м, яке можна розрахувати таким чином.

$$\rho_{\text{эф}} = \rho_1 \left(1 - e^{-\frac{\alpha \cdot h_1}{\sqrt{S}}} \right) + \rho_2 \left(1 - e^{-\frac{\beta \cdot \sqrt{S}}{h_1}} \right),$$

де α, β — коефіцієнти, $\rho_1 > \rho_2$ ($\alpha = 3,6$; $\beta = 0,1$).

Належно, маємо:

$$\rho_{\text{эф}} = 270 \left(1 - e^{-\frac{3,6 \cdot 3,5}{7,07}} \right) + 140 \left(1 - e^{-\frac{0,1 \cdot 7,07}{3,5}} \right) = 249,3 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Опір природного заземлювача:

$$R_{\text{пр}} = 0,5 \frac{249,3}{\sqrt{50}} = 17,6 \text{ Ом.}$$

Маємо:

$$R_{\text{шт}} = 10 \frac{189,19}{100} = 18,9 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{пз}} = 30 \cdot 1,89 = 56,7 \text{ Ом}.$$

Відповідно, до вище проведених розрахунків кожний заземлювач повинен мати опір 56,7 Ом, а сумарний опір має складати не більше 18,9 Ом:

$$R_{\text{л1}} = \frac{R_{\text{пз}}}{n_{\text{л1}}} = \frac{56,7}{5} = 11,34 \text{ Ом} < 18,9 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{л2}} = \frac{R_{\text{пз}}}{n_{\text{л2}}} = \frac{37,8}{3} = 12,6 \text{ Ом} < 18,9 \text{ Ом};$$

$$R_{\text{л3}} = \frac{R_{\text{пз}}}{n_{\text{л3}}} = \frac{56,7}{7} = 8,1 \text{ Ом} < 18,9 \text{ Ом}.$$

Загальний опір заземлювачів на лініях 10/0,38 кВ розраховується:

$$R_{\text{пов}} = \frac{R_{\text{л1}} R_{\text{л2}} R_{\text{л3}}}{R_{\text{л1}} R_{\text{л2}} + R_{\text{л2}} R_{\text{л3}} + R_{\text{л1}} R_{\text{л3}}}.$$

Відповідно, маємо:

$$R_{\text{пов}} = \frac{11,34 \cdot 12,6 \cdot 8,1}{11,34 \cdot 12,6 + 12,6 \cdot 8,1 + 11,34 \cdot 8,1} = 3,4 \text{ Ом}.$$

Розрахуємо еквівалентний опір $R_{\text{екв}}$:

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_{\text{пр}} R_{\text{пов}}}{R_{\text{пр}} + R_{\text{пов}}} = \frac{17,6 \cdot 3,4}{17,6 + 3,4} = 2,85 \text{ Ом}.$$

Підсумувавши проведені розрахунки можливо оцінити що $R_{\text{екв}}$ менше за $R_{\text{д}}$, з цього виразу ми прийшли до висновку що штучного заземлювача можна і не виконувати, проте повинна бути обов'язкова наявність $R_{\text{шт}}$ тому, $R_{\text{шт}}$ візьмемо максимально допустимим та який дорівнює 56 Прорахування заземлювача для мережі напругою 10кВ.

Схему заміщення представлена на рис. 6.2

НУБІП України

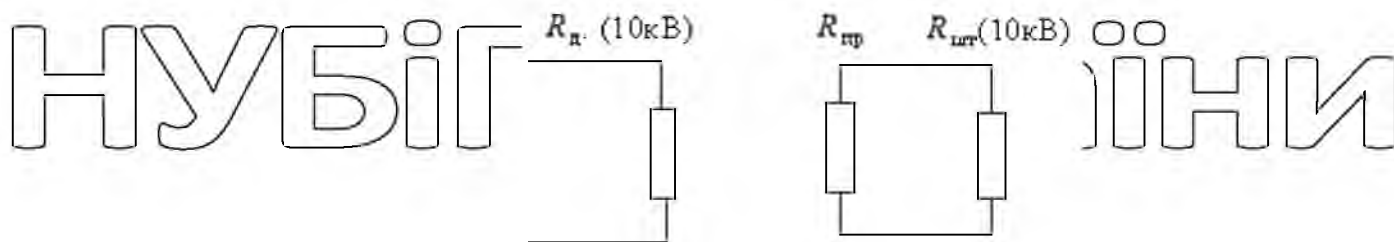


Рис. 6.2. Схема замощення заземлювача для мережі напругою 10 кВ

Опір заземлювача за формулою:

$$R_{\text{д}} = \frac{125}{I_{\text{кз}}},$$

де $I_{\text{кз}}$ – струм замикання на землю, який можливо розрахувати таким чином :

$$I_{\text{кз}} = \frac{U(L_{\text{л}} + 35 \cdot L_{\text{к}})}{\rho_{\text{л}}} = \frac{10(35 + 35 \cdot 11)}{270} = 15,5 \text{ А.}$$

Маємо опір заземлювача.

$$R_{\text{д}} = \frac{125}{15,5} = 8,06 \text{ Ом} < 10 \text{ Ом.}$$

Рахуємо опір штучного заземлювача:

$$R_{\text{шт}} = \frac{R_{\text{д}} \cdot R_{\text{шт}}}{R_{\text{шт}} - R_{\text{д}}} = \frac{8,06 \cdot 17,6}{17,6 - 8,06} = 14,87 \text{ Ом.}$$

Порівнюємо $R_{\text{шт}}$ (0,4 кВ) та $R_{\text{шт}}$ (10 кВ) для подальшого розрахунку

приймаємо менший, відповідно $R_{\text{шт}} (10 \text{ кВ}) = 14,87 \text{ Ом.}$

Опір розтікання струму одного стержня можливо визначити за формулою:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{екв}} \cdot k_{\text{с}}}{2\pi l} \left(\ln \frac{2l}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4h+1}{4h-1} \right),$$

наведений $k_{\text{с}}$ – коефіцієнт сезону ($k_{\text{с}} = 1,5$);

h – дистанцію від поверхні землі до середини стержня, зобразимо

формулою:

$$h = t + 0,5L = 0,8 + 0,5 \cdot 5 = 3,3 \text{ м.}$$

Опір розтікання струму одного стержня має:

$$R_{\text{в}} = \frac{189,19 \cdot 1,5}{6,28 \cdot 5} \left(\ln \frac{10}{0,012} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 3,3 + 5}{4 \cdot 3,3 - 5} \right) = 64,3 \text{ Ом,}$$

провідність:

$$q_{\text{в}} = \frac{1}{R_{\text{в}}} = 0,0156 \text{ См.}$$

Чисельність стержнів в заземленні можливо розрахувати наступним чином:

$$n = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{шт}}} = \frac{64,3}{14,87} = 4,3 \text{ шт.}$$

Доречно необхідно застосувати 8 стержнів.

Схема заземлювального контуру показана на рисунку 6.3.

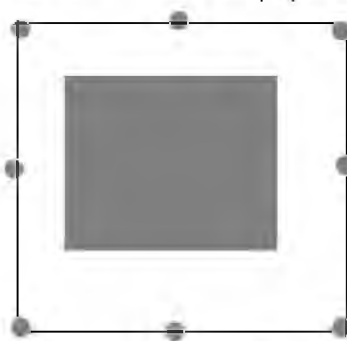


Рис. 6.3. Схема заземлювального контуру

Опір розтікання струму горизонтальної шини розраховуємо за формулою:

$$R_{\text{Г}} = \frac{k_{\text{с}} \cdot \rho_{\text{екв.Г}}}{2 \cdot \pi \cdot L_{\text{Г}}} \cdot \ln \frac{2 \cdot L_{\text{Г}}^2}{b \cdot t},$$

де b – ширина горизонтальної полоси ($b = 0,04 \text{ м}$); $\rho_{\text{екв.Г}}$ – еквівалентний

питомий опір для горизонтального заземлювача; $L_{\text{Г}}$ – довжина одного

горизонтального заземлювача ($L_{\text{Г}} = 5 \text{ м}$). Для знаходження $\rho_{\text{екв.Г}}$ беремо

значення з таблиці "Відносні значення еквівалентного питомого опору $\rho_{ст} / \rho_{г}$ землі з двома шарами для розрахунку опору простого горизонтального заземлювача" [15].

$$\frac{\rho_{екв.г}}{\rho_2} = 1,73, \rho_{екв.г} = 1,73 \cdot 140 = 242,2 \text{ Ом} \cdot \text{м.}$$

Відповідно:

Значення опору розтікання струму горизонтальної полоси відшукаємо таким прийомом:

$$R_{г} = \frac{1,5 \cdot 242,2}{6,28 \cdot 5} \ln \frac{2 \cdot 25}{0,04 \cdot 0,8} = 85,09 \text{ Ом.}$$

його провідність:

$$q_{г} = \frac{1}{R_{г}} = 0,012 \text{ См.}$$

Визначаємо опір штунного заземлювача:

$$R_{шт} = \frac{1}{\eta \cdot (n \cdot q_{в} + q_{г})},$$

де η – коефіцієнт використання складного заземлювача, він вибирається з

однойменної таблиці [15].

Відповідно:

$$\frac{h}{l_{г}} = \frac{3,5}{5} = 0,7; \frac{a}{l_{г}} = \frac{2,5}{5} = 0,5.$$

Щоб визначити η застосуємо метод

інтерполяції:

$R_{шт} = \frac{1}{0,411(8 \cdot 0,0156 + 0,012)} = 17,8 \text{ Ом} < 14,87 \text{ Ом}$ – умова не виконується.
Потрібно збільшити кількість вертикальних стержнів на 4 шт.

$$R_{шт} = \frac{1}{0,411(12 \cdot 0,0156 + 0,012)} = 12,19 \text{ Ом} < 14,87 \text{ Ом}$$

– умова виконується.

Для заземлення необхідно застосувати 12 вертикальних стержнів.

НУБІП України

РОЗДІЛ 7

ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИЙНЯТИХ РІШЕНЬ

Економічну ефективність електроприводу прийнято впроваджувати на базі асинхронного двигуна [16].

Підрахуємо капіталовкладення які були витрачені на купівлю електрообладнання:

$$K = C + 0,1 \cdot C = 3500 + 0,1 \cdot 3500 = 3850 \text{ грн.}$$

де C – вартість установки, грн.

Розрахуємо час роботи обладнання за рік:

$$T = m_{\text{роб}} \cdot t = 270 \cdot 10 = 2700 \text{ год.}$$

де $m_{\text{роб}}$ – кількість робочих днів протягом року; t – тривалість процесу роботи обладнання, годин.

Потужність що споживається обладнанням за рік визначається:

$$P_{\text{спож}} = t \cdot m_{\text{роб}} \cdot P_{\text{сп}} = 10 \cdot 270 \cdot 2,5 = 6750 \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{рік}},$$

де $P_{\text{сп}}$ – потужність що споживається обладнанням, кВт.

Знайдемо вартість електроенергії що споживається:

$$E_{\text{ел}} = 1,68 \cdot P_{\text{спож}} = 1,68 \cdot 6750 = 11340 \text{ грн.}$$

де $1,68$ – тариф за 1 кВт·год електроенергії, грн.

Порахуємо витрати на обслуговування електрообладнання за формулою:

$$Z_{\text{осн}} = n \cdot q \cdot [(TO) \cdot (TO)^I + (PP) \cdot (PP)^I] =$$

$$2 \cdot 2,06 \cdot (0,63 \cdot 3 + 4,9 \cdot 1) = 27,97 \text{ грн.}$$

де n – кількість обслуговуючого персоналу; q – погодинна ставка електрика, грн·год; $(TO), (TO)^I$ – затрати праці

на обслуговування, люд·год.; $(PP) \cdot (PP)^I$ – періодичність проведення ТО і ПР

за весь рік;

Вираховуємо оплату праці працівників за формулою:

$$Y = m_{\text{роб}} \cdot E \cdot q = 2700 \cdot 0,30 \cdot 1,8 = 145,8 \text{ грн.}$$

де E – час витрачений робітником для роботи за установкою, год; $q = 1,8$ – погодинна тарифна ставка електрика, грн · год.

Додаткові витрати, які складають 10% від повних затрат такі:

$$I_n = (Z_{\text{осн}} + K + Y + E_{\text{ел}}) \cdot 0,1 =$$

$$(27,97 + 3850 + 145,8 + 11340) \cdot 0,1 = 15363,77 \text{ грн.}$$

Розрахуємо річні експлуатаційні витрати:

$$Z_p = K + Y + E_{\text{ел}} + I_n = 3850 + 145,8 + 11340 + 15363,77 = 3069,57 \text{ грн.}$$

Розрахуємо кошти, які будуть зекономлені, при впровадженні обладнання:

$$B = n \cdot a \text{ грн,}$$

де n – кількість обладнання в сервісному центрі, шт; a – кошти зекономлені, грн.

$$B = 60 \cdot 1200 = 72000 \text{ грн.}$$

Визначаємо прибуток при застосуванні обладнання:

$$\Pi = B - Z_p = 72000 - 3069,57 = 68930,43 \text{ грн.}$$

Визначаємо термін окупності: $T_{\text{ок}} = K / \Pi = 3850 / 68930,43 \approx 3,6$ роки.

Коефіцієнт ефективності капітальних вкладень можна розрахувати наступним чином, $E_n = 0,15$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності:

$$E = 1 / T_{\text{ок}} = 1 / 3,6 = 0,27. \quad E_n < E.$$

За результатами проведених розрахунків ми дійшли висновку що використовуючи енергозберігаючий електроприводний асинхронний двигун використовувати його вигідно з економічної точки зору.

НУБІП України

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проаналізовано та порівняно дві схеми керування асинхронним двигуном. Для прикладу розглядається АД типу 5АС160М6 потужністю 16 кВт. У даній роботі розглядається скалярне частотне регулювання, а також керування за допомогою тиристорних стабілізаторів напруги. При розгляді цих варіантів систем керування перевага віддається двигунам зі скалярним частотним регулюванням, які засновані на ШІМ і зберігають постійний потік зчеплення та зворотний зв'язок по ЕРС. Стаття демонструє легкість керування за допомогою ШІМ, яка забезпечує постійний потік зчеплення у всьому діапазоні частот і, отже, здатність до постійного перевантаження. При використанні перетворювача ШІМ він пропонує більш широкий діапазон регулювання та кращі вихідні параметри, ніж тиристорний регулятор. Вибраний тип зворотного зв'язку - ЕРС, що виключає вплив нелінійності регулятора, і такий тип зворотного зв'язку легко реалізувати на практиці.

Розраховано параметри схеми заміни двигуна, встановлено його механічні властивості та перевірено збіжність розрахунку з паспортними даними. За коефіцієнтом потужності і номінальним крутним моментом різниця між отриманими даними і паспортними не більше 2%. При оцінці енергоефективності динамічні втрати перемикача живлення становлять 62,1 Вт, а з урахуванням динамічних втрат ефективність перетворювача ШІМ становить 93,7%. Оцінено ефективність двох систем керування - за допомогою ТРН та ШІМ, при використанні перетворювача частоти з ШІМ ККД був на 10% вищий за перший варіант до 68%.

Користуючись частотним регулюванням потужності, споживана з мережі, знижується на 51%, порівнявши з тиристорним перетворювачем, який дає змогу заощадити 20,1 кВт енергії, в сталому режимі з такими самими показниками швидкості та навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Василюк Б.Г. Електропривод. Енергетика електроприводу: Підручник. Солон-прес, 2015. - 268 с.
2. Яні. А.В. Регульований асинхронний електропривод: навчальний посібник : Лань, 2016. - 464 с.
3. В. В. Грабко, М. М. Мошноріз Метод та засоби оптимізацій роботи електроприводів насосної станції водопостачання. Монографія- Вінниця ВНТУ 2014.
4. Лезнов Б. С. Л 41 Частотно-регульований електропривод насосних установок.-М.:Машинобудування, 2013. - 176 с., Іл. ISBN 978-5-94275-688-8
5. Крилов, Ю.А. Енергозбереження та автоматизація виробництва теплоенергетичному господарстві міста. Частотно-регульований електропривод: Навчальний посібник / - СПб. Лань, 2013. - 176 с
6. Василега П.О., Муриков Д.В. Електропривод робочих машин Навчальний посібник / За ред. П.О. Василеги. - 2015. - 228 с.
7. Сенько В.І. Електроніка та мікросхемотехніка: навч. посібник. / В. І. Сенько; ред. В. І. Сенько. – Київ: Каравела, 2013. – 316 с.
8. Системи керування автоматизованим електроприводом змінного струму: навч. посібник/ А.М. Макаров, А.С. Сергєєв, Є.Г. Крилов, Ю.П. Сердобинцев; ВолгДТУ. – Волгоград, 2016. – 192 с.
9. Анучін А.С. Системи керування електроприводами: підручник для вузів. М.: Видавничий дім МЕІ, 2015. - 373.
10. Постнікова М. В., Квітка С. О., Нестерчук Д. М. Основи електроприводу: практикум, ч. 1. Мелітополь: Люкс, 2020. - 259 с.
11. Квітка С.О. Основи електроприводу: лабораторний практикум, Ч.1/С.О. Квітка, М.В. Постнікова, О.М. Речіна. – Мелітополь: Видавничополіграфічний центр «Люкс», 2020. – 165 с.

12. Шкурисла О.О., Тугай Д.В. Дослідження асинхронного електроприводу, оптимізованого за критерієм максимізації співвідношення момент – струм. Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. Харків. УкрДЗЗТ, 2019. № 183. С. 65-70.

13. Пересада С. М., Коноплінський М. А., Ковбаса С. М. Векторне управління моментом асинхронного двигуна, адаптивне до варіацій активних опорів статора й ротора: результати експериментального дослідження. Електромеханічні та енергозберігаючі системи, 2015. Вип. 1. С. 10-16

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України