

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії та енергетики

Кафедра електрифікації, автоматизації виробництва та інженерної екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Гасюк Ірина Олександрівна

УДК 621.359.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Обґрунтування вибору однофазного асинхронного двигуна приводу
електронасоса
(тема роботи)

141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Гасюк І.О.

(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи

Голубенко Анна Анатоліївна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Старший викладач кафедри електрифікації,
автоматизації виробництва та інженерної екології

(науковий ступінь, вчене звання)

Консультант

к.т.н., доцент Гончаренко Юрій Павлович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Житомир – 2023

АНОТАЦІЯ

Гасюк І.О. Обґрунтування вибору однофазного асинхронного двигуна приводу електронасоса. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавра за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

У роботі виконані аналіз та розрахунки по підвищенню енергоефективності асинхронних електроприводів які працюють в системі перетворювач частоти - асинхронний електродвигун.

Ключові слова: асинхронний електродвигун, перетворювач частоти, енергоефективність.

ABSTRACT

Hasiuk I.O. Rationale for choosing a single-phase asynchronous motor for driving an electric pump. Qualifying work for obtaining a bachelor's degree in specialty 141 - Electric power, electrical engineering and electromechanics - Polish National University, Zhytomyr, 2023.

In the work, analysis and calculations are performed to increase the energy efficiency of asynchronous electric drives operating in the frequency converter - asynchronous electric motor system.

Keywords: asynchronous electric motor, frequency converter, energy efficiency.

ЗМІСТ

| | |
|--|----|
| ВСТУП | 4 |
| РОЗДІЛ 1. РОБОТА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ В РЕГУЛЬОВАНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ | 6 |
| 1.1 Особливості роботи регульованого електроприводу | 6 |
| 1.2 Частотні перетворювачі в РЕП високовольтних агрегатів. | 14 |
| 1.3 РЕП з урахуванням вентильного електродвигуна | 18 |
| 1.4 Електропривод з муфтою ковзання (ЕМС) | 19 |
| Висновки по розділу 1 | 20 |
| РОЗДІЛ 2 ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, ОБЛАСТЬ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ І УМОВИ ВИКОРИСТАННЯ | 21 |
| 2.1 Енергетичні характеристики різних видів РЕП. | 21 |
| 2.2 Область застосування і умови використання РЕП в насосних установках. | 28 |
| 2.3. Технічні характеристики і спеціальні функції частотних перетворювачів | 32 |
| Висновки по розділу 2 | 40 |
| ВИСНОВКИ | 41 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ | 42 |

ВСТУП

Підвищення енергоефективності технологій, а також робочих машин та механізмів, що їх реалізують, є актуальною техніко-економічною проблемою всіх галузей промисловості. До 80–90 % робочих машин і механізмів промислових підприємств, будівництва, сільського та житлово-комунального господарств наводяться в рух традиційними асинхронними двигунами (ТАД) з номінальною напругою до 1000 В. Електроприводи на основі ТАД споживають не менше 65 % усієї електроенергії, що виробляється. Близько 70 % електроприводів на основі ТАД є нерегульованими, тому їхня енергоефективність визначається переважно робочими характеристиками двигуна.

При відомих перевагах електроприводів на основі ТАД одним з головних недоліків є порівняно невисокий енергетичний ККД, який визначається твором електричного ККД і коефіцієнта потужності двигуна [1]. Навіть при навантаженнях, близьких до номінальних, у яких електричний ККД ТАД перебуває у діапазоні 70–92 %, а коефіцієнт потужності – 0,75–0,9, найкращий енергетичний ККД електроприводів вбирається у 52–83 %. Тобто 17–48 % споживаної електричної енергії перетворюється на теплову та розсіюється у навколишньому середовищі. Це знижує енергоефективність перетворення електричної енергії в механічну і, в результаті, конкурентну здатність продукції, що випускається.

Метою даної роботи є порівняльна оцінка енергозберігаючих властивостей регульованих та нерегульованих електроприводів насосних агрегатів, створених на основі енергозберігаючих асинхронних двигунів та традиційних асинхронних двигунів в системі перетворювач частоти - асинхронний електродвигун.

Підвищення енергоефективності асинхронних електроприводів є актуальною техніко-економічною проблемою всіх галузей промисловості.

Матеріали та методи дослідження: Використані результати практичних

випробувань та математичного моделювання. Результати оброблялися методами теорії ймовірностей та математичної статистики з використанням кореляційного та регресійного аналізів.

Перелік публікацій автора за темою дослідження:

Гасюк І.О. РОБОТА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ В РЕГУЛЬОВАНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна.
С. 64-68

Гончаренко Ю.П., Гасюк І.О. ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА БАЗІ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

Матеріали науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників, докторантів, аспірантів та молодих вчених факультету інженерії та енергетики «НАУКОВІ ЧИТАННЯ – 2023», 01.05.2023, Житомир, Україна.
С. 77-80

РОЗДІЛ 1

РОБОТА АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ В РЕГУЛЬОВАНОМУ ЕЛЕКТРОПРИВОДІ

1.1 Особливості роботи регульованого електроприводу

Із теорії відомо, що відцентрові насоси найбільш ефективно регулюються зміною частоти обертання їх робочих коліс. Зміна частоти обертання робочих коліс насосів здійснюється з допомогою РЕП.

Електроприводом називають пристрій, що перетворює електричну енергію в механічну, РЕП - це привід, працюючий з змінної частотою обертання.

РЕП складається з електродвигуна, передавального механізму. (трансмисії, муфти, редуктора) і системи управління. У РЕП крім того, входять пристрої, що забезпечують зміну частоти обертання насосного агрегату в цілому або тільки насосу при постійній частоті обертання електродвигуна.

Ці пристрої виконують зазвичай дві функції: є силовими перетворювачами енергії і в то ж час елементами системи управління.

РЕП підрозділяється на дві основні групи: постійного та змінного струму. У насосних установках використовується переважно РЕП змінного струму. Тому привід постійного струму в сьогодення виданні не розглядається.

Основою РЕП змінного струму є асинхронні та синхронні електродвигуни змінного струму.

Частота обертання асинхронного двигуна, хв^{-1} :

$$n = \left(60 \frac{f}{p} \right) (1 - s),$$

де f - частота струму живильною мережі (у СНД і Європі $f = 50$ Гц;

у США та Японії $f = 60$ Гц); p - число пар полюсів електродвигуна ($p = 1, 2, 3, \dots$); $s = (0,02-0,04)$ - ковзання.

Синхронні двигуни працюють без ковзання. Ротор двигуна обертається з такою самою частотою обертання, з якою обертається електромагнітне поле статора:

$$n = 60 \frac{f}{p}$$

З (1.1) та (1.2) слідує, що частота обертання електродвигуна змінного струму залежить від частоти струму живлення f , числа пар полюсів p і ковзання s . Змінюючи один або кілька параметрів, що входять до (1.1) і (1.2), можна змінити частоту обертання електродвигуна і зчленованого з ним насос. Відповідно, РЕП змінного струму поділяється на три види:

- частотний привід, що має у своєму складі перетворювач, що змінює постійну частоту живильної електричної мережі ($f = \text{const}$) до змінної ($f = \text{var}$). Він забезпечує плавне зміну частоти обертання насосного агрегату.

- багатошвидкісний привід, що має у своєму складі пристрій, який змінюватиме схему статорної обмотки електродвигуна і, відповідно, число пар полюсів ($p = 1, 2, 3$ тощо). Привід забезпечує ступінчасту зміну частоти обертання насосного агрегату (зазвичай $2 \div 4$ щабелі).

- що має у своєму складі пристрій, що змінює ковзання електродвигуна або варіатора, вбудованого між вихідним валом двигуна та вхідним валом насоса (реостат у роторній ланцюга двигуна, перетворювач асинхронного вентилярного каскада, механічний варіатор, електромагнітна або гідравлічна муфта ковзання).

У сучасних насосних установках найбільше поширення отримав частотний РЕП.

Процес регулювання частоти обертання будь-якого механізму аналізується за допомогою механічних характеристик агрегату. Нижче розглядаються механічні характеристики електродвигунів, які зіставляються з механічними характеристиками насосів.

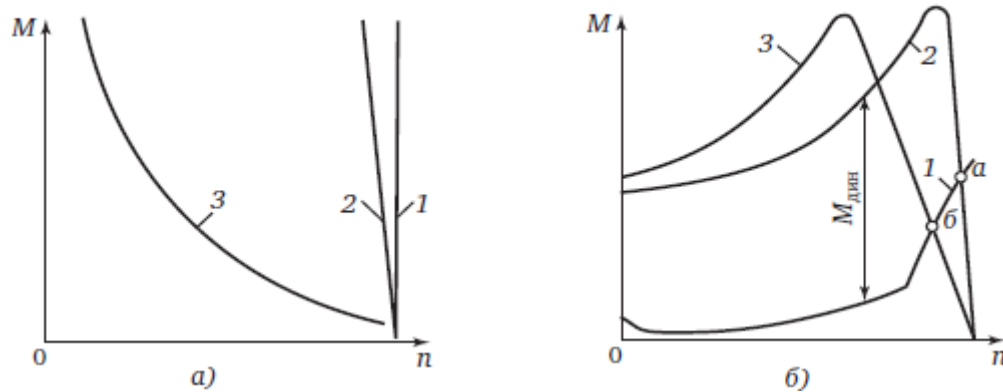


Рисунок 1.1. Механічні характеристики електродвигунів (а) і насосного агрегату (б)

Механічної характеристикою електродвигуна (рис. 1.1, а) називається залежність його крутного моменту від частоти обертання. Механічні характеристики поділяються на три основних види:

- абсолютно жорсткі (крива 1 на рис. 1.1, а) - властиві синхронним електродвигунам, які працюють безпосередньо від живильної електричної мережі, частота обертання яких залишається постійною при зміні обертаючого моменту;

- жорсткі (крива 2) властиві асинхронним двигунам (в робочій частини характеристики), частота яких незначна змінюється при зміні обертаючого моменту;

- м'які (крива 3) властиві двигунам постійного струму. послідовного збудження, частота яких суттєво змінюється при зміні обертаючого моменту.

Існують і інші різновиди механічних характеристик. Наприклад, механічна характеристика асинхронного електродвигуна з опором, введеним у роторний ланцюг, інакше характеристики короткозамкнутого електродвигуна.

Механічні характеристики РЕП принципово відрізняються від характеристик нерегульованих приводів тим, що в процесі їх регулювання вони змінюють своє положення, або свою форму, або то і інше одночасно.

Механічною характеристикою механізму, у тому числі насоса, називається залежність його моменту опору від частоти обертання.

На рис. 1.1, б представлені механічні характеристики насосного агрегату, що складається з відцентрового насосу і асинхронного електродвигуна з короткозамкненим ротором: 1 - механічна характеристика насоса, обладнаного зворотним клапаном; 2 - механічна характеристика електродвигуна.

Різниця значень обертаючого моменту електродвигуна і моменту опору насоса називається динамічним моментом $M_{дин}$. Якщо крутний момент двигуна більше моменту опору насоса, $M_{дин}$ вважається позитивним, якщо менше негативним. Під впливом позитивного динамічного моменту насосний агрегат починає працювати з прискоренням, тобто розганяється. Якщо $M_{дин}$ негативний, насосний агрегат працює з уповільненням, тобто гальмується. При рівності цих моментів має місце встановлений режим роботи, тобто насосний агрегат працює із постійною частотою обертання. Ця частота обертання і відповідний їй момент визначаються перетином механічних характеристик електродвигуна та насоса (точка а на рис. 1.1, б).

Якщо тим чи іншим способом змінити механічну характеристику, наприклад, зробити її більше м'якою за рахунок вступу додаткового опору в роторний ланцюг електродвигуна (крива 3 на рис. 1.1, б), момент обертання електродвигуна стане меншим моменту опору. Під впливом негативного динамічного моменту насосний агрегат починає працювати з уповільненням, тобто гальмується до тих пір, поки обертаючий момент і момент опору знову не врівноважуються (точка б на рис. 1.1, б). Цій точці відповідає своя частота обертання та своє значення моменту. Таким чином, процес регулювання частоти обертання насосного агрегату безперервно супроводжується змінами крутного моменту електродвигуна та моменту опору насоса.

На рис. 1.2. представлені важливі схеми основних видів РЕП, використовуваного в насосних установках.

Частотно-регульований електропривід (рис. 1.2, а) . Основним елементом частотного РЕП є частотний перетворення, тель, за допомогою якого практично незмінні мережеві параметри напруги U_1 і частота f_1 перетворюються в змінювані

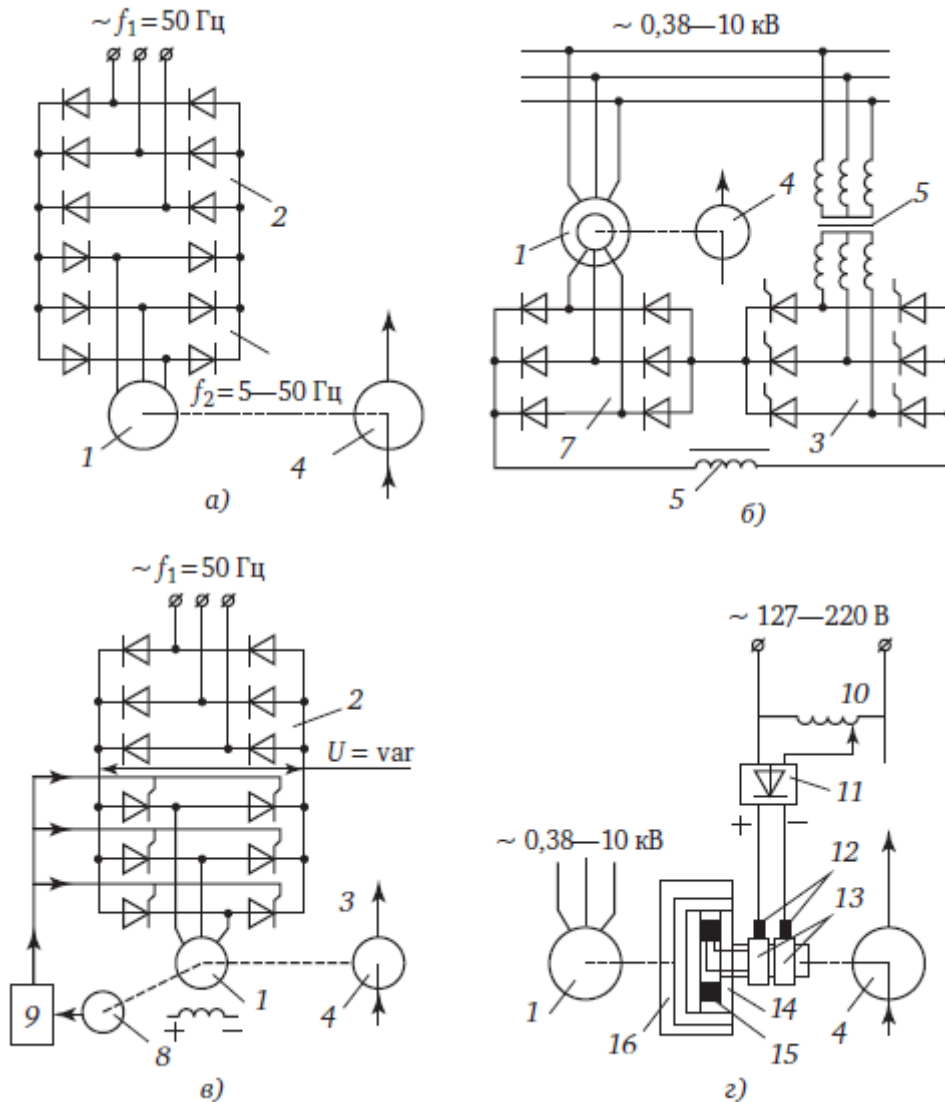


Рисунок 1.2. Основні види РЕП, використувані в насосних установках:

а - частотний; б - асинхронно-вентильний каскад; в - на базі вентильного електродвигуна; г - з електромагнітною муфтою ковзання (1 - асинхронний електродвигун; 2 - керований випрямляч частотного перетворювача; 3 - інвертор; 4 -відцентровий насос; 5 - узгоджуючий трансформатор; 6 - дросель, що згладжує; 7 - некерований випрямляч; 8 - датчик положення ротора у просторі; 9 - система імпульсно-фазового управління інвертора

(СІФУ); 10 - керований реостат; 11 - однофазний випрямлячий пристрій; 12 - щітки; 13 - контактні кільця; 14 - індуктор; 15 - обмотка збудження ЕМС; 16 - якір ЕМС.

параметри U_2 і f_2 необхідні для системи управління насосного агрегату. Пропорційно частоті f_2 змінюється частота обертання електродвигуна, підключеного до виходу перетворювача.

Основними елементами частотного РЕП є: асинхронний електродвигун змінного струму; керований випрямляч частотного перетворювача; керований інвертор частотного перетворювача; відцентровий насос. Крім того, в склад приводу входять дроселі, конденсатори і т. буд., не показані на схемою.

Для забезпечення стійкої роботи електродвигуна, обмеження його перевантаження по струму та магнітному потоку, підтримки високих енергетичних показників у частотному перетворювачі має підтримуватися певне співвідношення між його вхідними та вихідними параметрами, що залежить від виду механічної характеристики насоса. Ці співвідношення впливають із рівняння закону частотного регулювання Костенко [13]:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}},$$

де f_1, f_2 - частоти; M_1, M_2 - моменти часу.

Для насосів, працюючих без статичного напору, чия механічна характеристика описується рівнянням квадратичної параболи, повинно дотримуватися співвідношення

$$\frac{U_1}{f_1^2} = \frac{U_2}{f_2^2} = \text{const.}$$

Для насосів, працюючих зі статичним натиском, повинно дотримуватися більше складне співвідношення [3]

$$\frac{U_1}{f_1^{1+\frac{k}{2}}} = \frac{U_2}{f_2^{1+\frac{k}{2}}},$$

де k - показник ступеня в рівнянні механічної характеристики насосу.

На практиці в більшості випадків у насосних установках використовуються перетворювачі загальнопромислового виконання, що забезпечують співвідношення

$$\frac{U_1}{f_1} = \frac{U_2}{f_2} = \text{const.}$$

На рис. 1.3 представлені механічні характеристики асинхронного електродвигуна при частотному регулюванні та дотриманні співвідношення (1.4). При зменшенні частоти f_2 механічна характеристика не тільки змінює своє становище в координатах n - M , але дещо змінює свою форму. Зокрема, знижується максимальний момент електродвигуна.

Останнім часом найбільше розповсюдження отримали частотні РЕП на IGBT-модулі (біполярних транзисторах з ізольованим затвором). IGBT модуль є високоефективним ключовим елементом. Він володіє малим падінням напруги, високою швидкістю і малою потужністю перемикання.

Перетворювач частоти на базі автономного інвертора напруги на IGBT-модулях з широтно-імпульсною модуляцією та векторним алгоритмом управління асинхронним електродвигуном має переваги по порівнянні з іншими типами перетворювачів. Він характеризується високим значенням коефіцієнта потужності во усім діапазоні зміни вихідної частоти. Дехто із виробників частотних перетворювачів, у тому числі «Данфосс», самі виготовляють IGBT-модулі, що забезпечує повний контроль якості перетворювачів. Схема перетворювача на IGBT-модулі представлена на рис. 1.4.

В даний час вітчизняна та зарубіжна промисловість ність випускає ряд частотних перетворювачів потужністю до 400 кВт при напрузі до 380 В та до 1600 кВт при напрузі 660 В.

Особливістю застосування частотного РЕП є можливість використання одного частотного перетворювача для приводу декількох агрегатів. Від одного перетворювача досить великої потужності можуть отримувати живлення одночасно кілька однакових агрегатів. Можливе також почергове підключення до одного частотного перетворювачу агрегатів, сумірних по потужності.

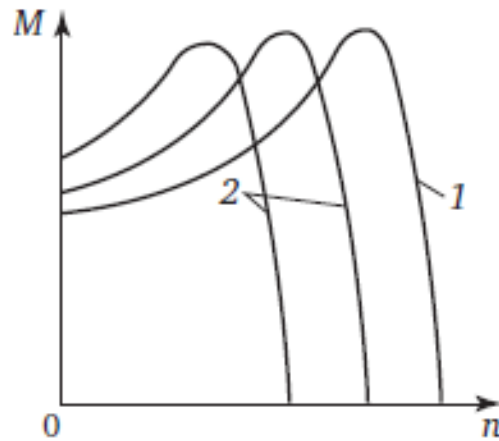


Рисунок 1.3. Механічні характеристики частотного РЕП при максимальних (1) та знижених (2) частотах

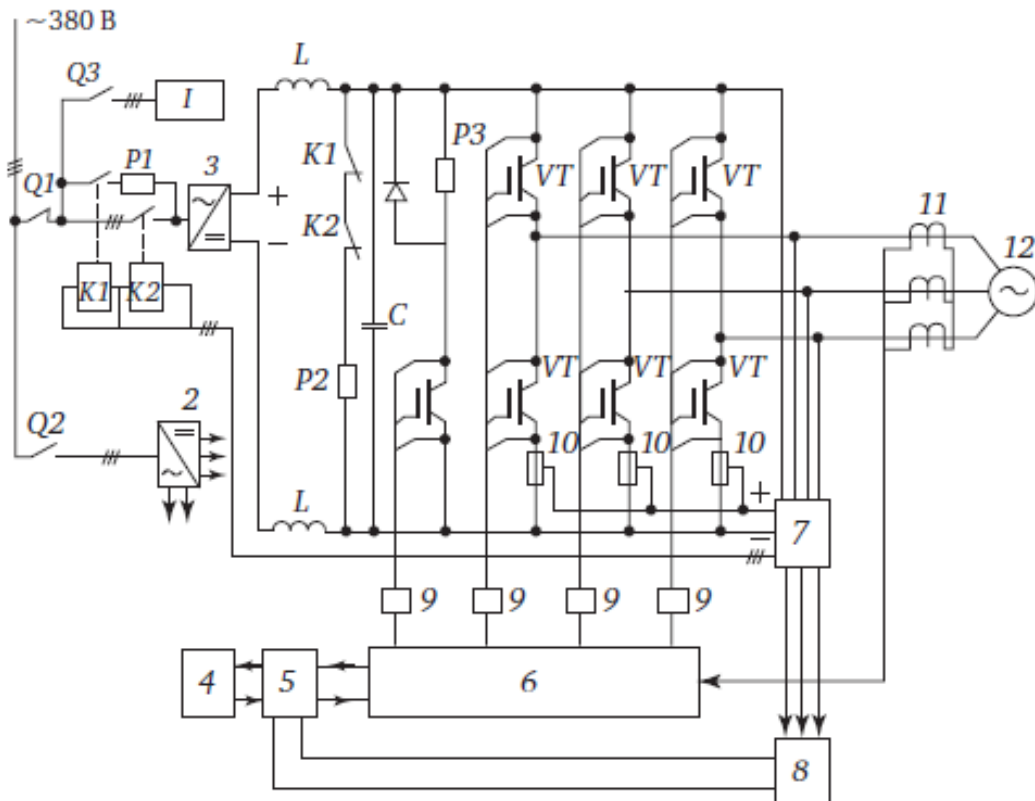


Рисунок 1.4. Схема частотного РЕП на IGBT-модулі:

1 - блок вентиляторів; 2 - джерело живлення; 3 - випрямляч некерований;
 4 - панель управління; 5 - плата пульта управління; 6 - ШІМ; 7 - блок перетворення напруги; 8 - плата системи регулювання; 9 - драйвери; 10 - запобіжники блоку інвертора; 11 - датчики струму; 12 - асинхронний короткозамкнутий двигун; Q1 - Q3 - вимикачі силовий ланцюги, ланцюги управління та блоку вентиляторів; K1 , K2 - контактори заряду конденсаторів і силового ланцюга; C - блок конденсаторів; R1 - R3 - резистори обмеження струму заряду конденсаторів, розряду конденсаторів та вузла зливу; VT - силові ключі інвертора (IGBT-модулі); L – дросель

Так, наприклад, частотні РЕП фірми "Данфосс" мають вбудовані контролери, що забезпечують функції послідовного управління до трьох насосних агрегатів. Кількість керованих агрегатів може бути збільшено до восьми за допомогою опції розширення каскадного контролера. Частотний РЕП зручний в монтажі і експлуатації. Він може бути використаний як індивідуальний, так і груповий привод. Перетворювач РЕП може бути встановлений поза машинної зали, що зручно, якщо в машинному залі несприятливе середовище (повищена вологість, наявність агресивних речовин і т. д).

1.2 Частотні перетворювачі в РЕП високовольтних агрегатів.

Сучасне розвиток напівпровідникової техніки не дозволяє створити силові керовані вентилі (тиристорні, транзисторні та ін) на напругу понад 800-1100 В, тому високовольтні частотні приводи виконуються у двох варіантах.

Варіант 1. Двотрансформаторний частотний привід. Перетворювальна частина цього пристрою виконується на низьковольтних вентилях. Напруга до перетворювачу зі сторони живлення подається через знижуючий трансформатор. Напруга перетвореної частоти ($f_2 = \text{var}$) подається до

високовольтного електродвигуна через підвищуючий трансформатор. Істотним елементом двотрансформаторного перетворювача частоти є синусоїдальний фільтр, що включається між перетворювальною частиною і підвищуючим трансформатором. Схема двох- трансформаторного високовольтного частотного РЕП асинхронного короткозамкнутого електродвигуна показано на рис. 1.5.

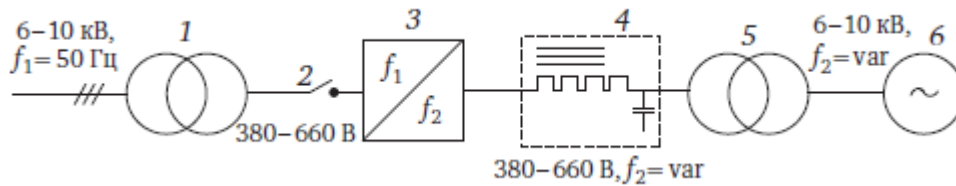


Рисунок 1.5. Схема двотрансформаторного високовольтного частотного РЕП:

- 1 - знижуючий трансформатор; 2 - низьковольтне комутаційне пристрій;
 3 - низьковольтний частотний перетворювач; 4 - синусоїдальний фільтр;
 5 - підвищує трансформатор; 6 - високовольтний асинхронний
 короткозамкнений електродвигун

Такі приводи на потужність 1000-1600 кВт виготовляються зарубіжними фірмами та вітчизняними підприємствами. Нижче наводиться орієнтовний склад обладнання двотрансформаторного РЕП компанії "Данфосс". У табл. 1.1. наведені дані для РЕП високовольтного електродвигуна з використанням перетворювача на 400 В і на 660 В.

Таблиця передбачає використання асинхронних високовольтних електродвигунів. При використанні синхронних високовольтних електродвигунів компанія "Данфосс" видає спеціальні технічні рішення з вибору необхідного обладнання.

Варіант 2. *Безтрансформаторний частотний РЕП*. Перетворювальна частина складається з керованих випрямляча та інвертора, що складаються з ланцюжка послідовно з'єднаних низьковольтних вентилів. Кількість

з'єднаних послідовно вентилів вибирається таким, щоб воно відповідало напрузі 6-10 кВ, поданій на випрямний (інверторний) міст.

У якості прикладу на рис. 1.6 представлена схема безтрансформаторного частотного РЕП [3]. Поряд з випрямлячем і інвертором перетворювач містить у своєму складі відповідні фільтри, згладжуючі дроселі і іншу апаратуру

Таблиця 1.1. Оцінний підбір обладнання для двотрансформаторних схем

| Потужність двигуна P , кВт | Струм двигуна I , А | Потужність вхідного трансформатора S , кВт | Потужність вихідного трансформатора S , кВт | Розрахунковий струм ПЧ, А | Струм ПЧ, А | Маса ПЧ, кг | Габарити ПЧ, мм | Сінус фільтр | Маса фільтра, кг | Габарити фільтра, мм |
|---------------------------------|--------------------------|--|---|---------------------------|-------------|-------------|-------------------|--------------|------------------|----------------------|
| <i>Перетворювачі на 400 У</i> | | | | | | | | | | |
| 160 | 18 | 254 | 203 | 321 | 395 | 136 | 420 x 1547 x 380 | 130В3187 | 370 | 904 x 918 x 756 |
| 180 | 20 | 282 | 226 | 357 | 395 | 136 | 420 x 1547 x 380 | 130В3187 | 370 | 904 x 918 x 756 |
| 200 | 23 | 325 | 260 | 411 | 480 | 151 | 420 x 1547 x 380 | 130В3189 | 425 | 1224 x 1161 x 955 |
| 224 | 25 | 352 | 282 | 446 | 480 | 151 | 420 x 1547 x 380 | 130В3189 | 425 | 1224 x 1161 x 955 |
| 250 | 28 | 395 | 316 | 500 | 600 | 263 | 1600 x 2000 x 494 | 130В3192 | 570 | 1224 x 1161 x 955 |
| 280 | 31 | 437 | 350 | 553 | 600 | 263 | 1600 x 2000 x 494 | 130В3192 | 570 | 1224 x 1161 x 955 |
| 315 | 36 | 508 | 407 | 643 | 658 | 270 | 1600 x 2000 x 494 | 130В3192 | 570 | 1224 x 1161 x 955 |
| 355 | 39 | 550 | 440 | 696 | 745 | 272 | 1600 x 2000 x 494 | 130В3194 | 610 | 1224 x 1161 x 955 |
| 400 | 44 | 675 | 540 | 855 | 800 | 1299 | 1997 x 2205 x 607 | 2 x 130В3189 | 2 x 425 | 2(1224x1161 x55) |
| 450 | 49 | 691 | 553 | 875 | 800 | 1299 | 1997 x 2205 x 607 | 2 x 130В3189 | 2 x 425 | 2(1224x1161 x 955) |
| 500 | 55 | 775 | 620 | 982 | 990 | 1299 | 1997 x 2205 x 607 | 2 x 130В3189 | 2 x 425 | 2(1224 x 1161 x 955) |
| 560 | 60 | 854 | 676 | 1071 | 1120 | 1299 | 1997 x 2205 x 607 | 2 x 130В3192 | 2 x 570 | 2(1224 x 1161 x 955) |
| 630 | 67 | 944 | 755 | 1196 | 1260 | 1299 | 1997 x 2205 x 607 | 2 x 130В3192 | 2 x 570 | 2(1224 x 1161 x 955) |
| 690 | 74 | 1043 | 834 | 1321 | 1460 | 1541 | 2401 x 2205 x 604 | 3 x 130В3189 | 3 x 425 | 3(1224 x 1161 x 955) |
| 710 | 77 | 1085 | 868 | 1374 | 1460 | 1541 | 2401 x 2205 x 604 | 3 x 130В3189 | 3 x 425 | 3(1224 x 1161 x 955) |
| 800 | 86 | 1212 | 969 | 1535 | 1720 | 1541 | 2401 x 2205 x 604 | 3 x 130В3192 | 3 x 570 | 3(1224 x 1161 x 955) |

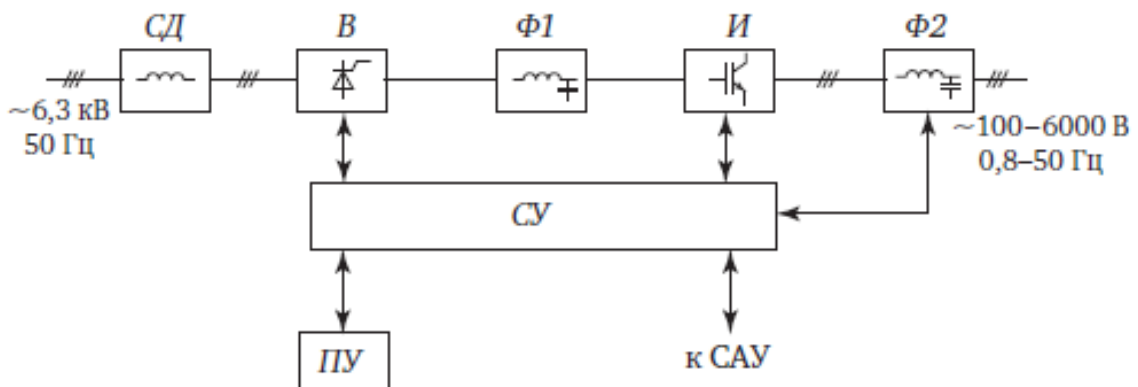


Рисунок 1.6. Схема безтрансформаторного високовольтного частотного РЕП:

СД - синхронний двигун; У - керований випрямляч; Ф1, Ф2 - фільтри;

I - інвертор; *СУ* - система управління

У каскаді перетворюється частина M потужності, що підводиться до насосного агрегату, а саме: потужність ковзання, яка рекупериується назад до живильної. Тому потужність перетворювача не перевищує 40-60% потужності двигуна. Вартість приводу відвідно низька. Привід може використовуватися в комплекті з високовольтними і низьковольтні двигунами. Перетворювач приводу може встановлюватися поза машинного зали.

Потужність перетворювачів АВК істотно залежить від глибини регулювання електропривода по швидкості. Так як діапазон регулювання насосів, як правило, обмежується 30-50 % номінального значення, у їх приводі можна використовувати менше потужні і більше прості перетворювачі.

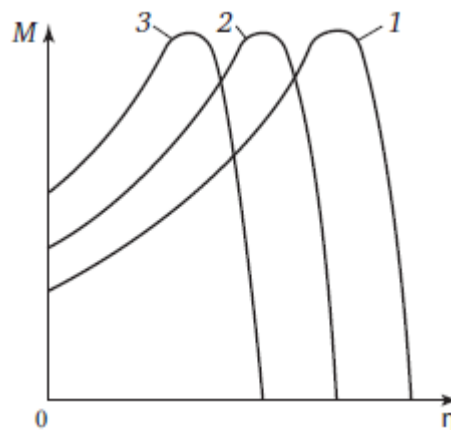


Рисунок 1.7. Механічні характеристики електроприводу по схемі АВК

1 - природна характеристика асинхронного двигуна з фазним ротором (випрямлене напруга $U_d = 0$); 2, 3 - механічні характеристики електродвигуна при збільшенні випрямленої напруги

Істотним недоліком РЕП за схемою АВК є деяке некомплектне постачання його елементів (електродвигуна, перетворювачів, станції управління) та невисоке значення $\cos\phi$. Крім того, при глибоких посадках напруги, якщо не прийняти спеціальних схемних рішень в РЕП АВК, в роторному ланцюзі електродвигуна виникають перенапруги, що викликають пошкодження обмотки ротора, контактних кілець і щіток.

1.3 РЕП з урахуванням вентиляного електродвигуна (див. рис. 1.2, в).

Цей привід займає особливе місце у РЕП змінного струму. За принципом дії ця система аналогічна електродвигуну постійного струму, у якого функції колектора і щіткового апарату виконує керований інвертор і датчик положення ротора в просторі. Тому вентиляний електродвигун у ряді видань накликають безколекторним електродвигуном постійного струму. У то ж час наявність у складі електроприводу частотного перетворення дає заснування віднести його до групи частотних РЕП .

Вентиляним електродвигуном називається електромеханічна система, що складається з перетворювача частоти, синхронного електродвигуна 1 датчика положення ротора в просторі 8 і блоку керування 9 . Перетворювач виконаний з явно вираженою ланкою постійного струму і складається з керованого випрямляча 2 і керованого інвертора 3 .

Комутація керованих вентилів інвертора в зоні малих частот здійснюється з допомогою датчика положення ротора, а в зоні значень частот більше 3-5 Гц здійснюється за допомогою комутуючої надперехідної ЕРС.

Для згладжування пульсацій випрямленої напруги в ланцюг постійного струму включаються дроселі, що згладжують (реактори). Особливістю цього виду РЕП є можливість використання як приводного електродвигуна звичайного серійно синхронного електродвигуна, що випускається. Це особливо цінно при впровадженні даного виду РЕП на діючих об'єктах, так як при цьому не потрібно заміни встановлених на насосних станціях електродвигунів.

Привід на базі вентиляного електродвигуна є достатньо складним, великогабаритним і не найдешевшим видом РЕП. Цей вид приводу використовується переважно у високовольтних (6-10 кВ) агрегатах порівняно великої потужності (800-3500 кВт) або в груповому приводі, коли до одного потужного перетворювача одночасно підключається декілька агрегатів, які по своїм гідравлічним характеристикам рівноцінні одному великому агрегату з

пологою напірної характеристикою. При деякому ускладненні високовольтної схеми розподільного пристрою перетворювач може по черзі підключатися до різних агрегатів, встановлених на об'єкті. При необхідності перетворювач приводу може встановитися поза машинного зали. До недоліків приводу слід віднести його чутливість до коливанням напруги в живильною мережі.

1.4 Електропривод з муфтою ковзання (ЕМС) (Див. рис. 1.2, г)

Складається з приводного електродвигуна 1 будь-якого типу, що працює з постійною частотою обертання, ЕМС та насоса 4 . У приводі насосів найчастіше використовуються ЕМС індукторного типу (ІМС). Індукторна муфта ковзання складається з індуктора 14 з обмоткою збудження 15 і якоря 16 . Обмотка збудження отримує живлення від джерела постійного або випрямленого струму 11 через контактні кільця 13 і щітки 12 . Існують і безконтактні муфти.

Якір ІМС з'єднаний з асинхронним короткозамкнутим (або синхронним) електродвигуном, а індуктор - із насосом. Якір і індуктори виготовляються з масивних виливків і поковок. Обертний момент від двигуна до насоса передається через електромагнітне поле у зазорі між якорем та індуктором. Частота обертання насоса регулюється зміною струму збудження ІМС, наприклад, реостатом 10 .

Характерною особливістю ЕМС є наявність втрат ковзання, які виділяються у вигляді тепла в якорі. Це тепло відводиться зазвичай повітряним охолодженням. Зазвичай ЕМС використовується в РЕП насосних агрегатів потужністю до 250 кВт. До недоліків РЕП з ЕМС слід віднести неможливість використання однієї муфти для кількох агрегатів.

Принципово замість ЕМС можуть бути використані і використовуються гідравлічні муфти ковзання та варіатори. за своїм енергетичним характеристикам ці варіатори аналогічні ЕМС.

В даний час приводи з ЕМС не мають широкого розповсюдження. мандрівки в насосних установках. Тому тут вони докладно не розглядаються. Більш детальний опис цього виду приводу дано в [3].

Висновки по розділу 1

Детально проаналізовані частотні перетворювачі в РЕП високовольтних агрегатів.

Визначені їх переваги та недоліки, які дозволяють зробити правильний вибір агрегатів та схем керування.

РОЗДІЛ 2

ЕНЕРГЕТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ, ОБЛАСТЬ ЙОГО ЗАСТОСУВАННЯ І УМОВИ ВИКОРИСТАННЯ

У розділі 1 мова йшла про зниженні енергоспоживання насосів і насосних установок за рахунок зняття надлишкових напорів у насосних установках без урахування втрат енергії у РЕП. Але регулювання частоти обертання насоса здійснюється із застосуванням різного роду пристроїв (електродвигунів, перетворювачів тощо), в котрих втрачається частина перетворюваної енергії. Тому результати- економія електроенергії повинна визначатися з урахуванням втрат в пристрої, регулюючих частоту обертання насосу.

2.1 Енергетичні характеристики різних видів РЕП.

Вище були розглянуті основні його види. Тут розглянемо його енергетичні характеристики.

Різні види РЕП за своїми енергетичними характеристиками поділяються на три основні групи:

- з втратами енергії ковзання (електродвигуни з реостатом в ланцюзі ротора, приводи з гідравлічними та електромагнітними муфтами ковзання і т. п.);
- з рекуперацією енергії ковзання (електричні, електромеханічні і асинхронні вентильні каскади і т.п.);
- працюючі без втрат енергії ковзання (ЧРП, вентильні двигуни, багатошвидкісні двигуни).

Втрати енергії в РЕП в значною мірі визначаються втратами енергії ковзання. При розгляді енергетичних процесів в РЕП електрична потужність, споживана з мережі, а також втрати потужності в РЕП позначимо як P , в відмінність від механічної потужності на валу насоса, яку позначимо через N .

Втрати потужності ковзання в РЕП насосі суттєво залежать від виду механічної характеристики механізму та частоти обертання насосу [3].

$$P_{\text{ковз}}^* = (1 - n^*) \cdot (n^*)^k, \quad (2.1)$$

де n^* - частота обертання насосу в відносних одиницях; k - показник ступеня в рівнянні механічної характеристики.

Максимально можливе значення втрат потужності ковзання

$$P_{\text{ковз.макс}}^* = \frac{k^k}{(k+1)^{k+1}}. \quad (2.2)$$

Максимальні втрати ковзання мають місце при частоті обертання:

$$n^* = \frac{k}{k+1}.$$

На рис. 2.1 представлена залежність втрат потужності ковзання від частоти обертання та значення k . При $k = 2-5$ максимальне значення втрат ковзання не перевищує 8-15 % номінальної потужності насосного агрегату. Цим втрат відповідають частоти обертання, рівні 65-80% номінальних значень, що співпадає з діапазоном регулювання насосів за швидкістю. При таких умовах втрати ковзання в середньому на рівні 4-8% номінальною потужності насосу. Відносно низькі значення втрат в поєднанні з невисокою вартістю цього виду електроприводу роблять його прийнятним для використання в насосних установках.

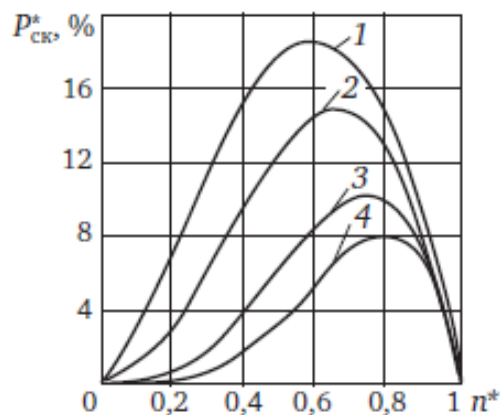


Рисунок 2.1. Зміна втрат потужності ковзання в залежності від частоти обертання приводу:

$$1 - k = 1,5; 2 - k = 2; 3 - k = 3; 4 - k = 4$$

Втрати енергії ковзання істотно залежать від параметрів та режиму роботи насосних установок. У [14] наводиться висновок рівняння, в якому енергія ковзання $W_{\text{ковз}}$, яка втрачається в РЕП за розрахунковий період T , виражена через технологічні параметри:

$$W_{\text{СК}} = N_{\sigma} T \left\{ \frac{1 - H_{\text{п}}^*}{3(1-\lambda) \sqrt{1 - \frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}}} \left[\left(3 \frac{H_{\text{п}}^*}{1 - H_{\text{п}}^*} - 2 \frac{\frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}}{1 - \frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}} + 1 \right) \times \right. \right. \\ \times \left. \sqrt{1 + \frac{\frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}}{1 - \frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}} - \left(3 \frac{H_{\text{п}}^*}{1 - H_{\text{п}}^*} - 2 \frac{\frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}}{1 - \frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}} + \lambda^2 \right)} \right] \times \\ \left. \left. \times \sqrt{\lambda^2 + \frac{\frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}}{1 - \frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}} - \frac{3}{4}(1-\lambda^2) \left(1 + \lambda^2 + 2 \frac{H_{\text{п}}^*}{1 - H_{\text{п}}^*} \right)} \sqrt{1 - \frac{H_{\text{п}}^*}{H_{\text{ф}}^*}} \right] \right\}.$$

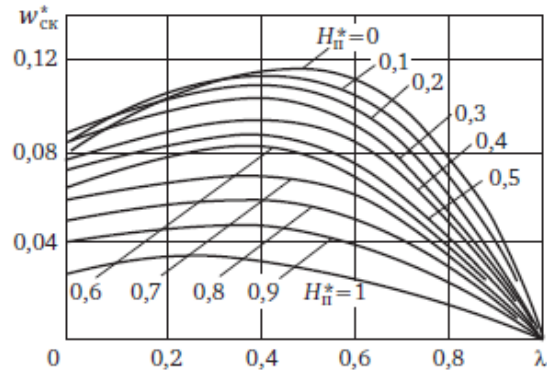
Крім втрат ковзання у приводах цієї групи мають місце інші втрати (на вентиляцію, тертя в підшипниках, щіткових контактах і ін), які складають 1-3 % сумарних втрат. З їх обліком сумарні втрати

$$W_{\text{втр}} \approx (1,01 \div 1,03) \cdot W_{\text{ковз}}. \quad (2.4)$$

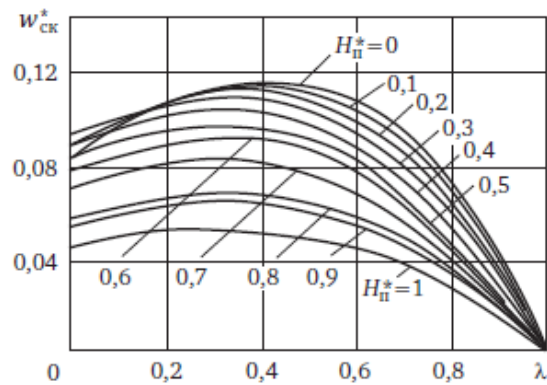
Для спрощення розрахунків вираз в фігурній дужці в (2.4) позначаємо через $w_{\text{ковз}}^*$, тоді (2.4) приймає вигляд:

$$W_{\text{ковз}} = (1 + \zeta) \cdot N_{\sigma} \cdot T \cdot w_{\text{ковз}}^*. \quad (2.5)$$

де ζ - коефіцієнт, враховує втрати, не залежні від ковзання; $w_{ковз}^*$ - відносні втрати ковзання, визначається за допомогою розрахункових кривих, представлених на рис. 2.2 в вигляді залежності $w_{ковз}^* = f(\lambda, H_n^*)$.



а)



б)

Мал. 2.2. Зміна втрат ковзання в залежності від параметрів λ і H_n^* :

а - для насосів чистою води $H_{\phi}^* = 1,25$;

б - для насосів стічної рідини $H_{\phi}^* = 1,45$

Результуюча економія електроенергії у разі застосування РЕП, що працюють із втратами ковзання (з ЕМС, гідромурфтами і т. п.)

$$w_{рез} = (1 - \zeta) \cdot \frac{N_{\sigma} \cdot T}{\eta_{ек}} \cdot w_{ек}^* \cdot \varphi, \quad (2.6)$$

де $w_{ек}^* = w^* - w_{ковз}^*$ - відносна економія електроенергії, визначається з допомогою розрахункових кривих; $\eta_{ед}$ - ККД приводного електродвигуна; φ - знижуючий коефіцієнт.

Для спрощення обчислень на рис. 2.3 представлені розрахункові криві $w_{ек}^*$. Криві побудовані для двох значень H_{ϕ}^* - 1,25 та 1,45. Перше значення відноситься до більшості водяних насосів, а друге - до фекальних насосів.

У РЕП, що працюють з рекуперацією енергії ковзання (по схемою АВК), частина енергії повертається назад в електричну мережу, але якась частина все-таки губиться:

$$W_{пот\ ковз} \approx W_{ковз} (1 - \eta_k), \quad (2.7)$$

де η_k - ККД каскадної схеми.

Сучасні каскадні схеми мають досить високий ККД (0,9-0,95), а РЕП, що працюють з рекуперацією енергії, характеризуються високими енергетичними показниками.

Крім втрат, що залежать від втрат ковзання, у каскадних схемах мають місце постійні втрати, які становлять приблизно 3% споживаної потужності. Орієнтовно сумарні втрати в електроприводі при виконанні економічних розрахунків можна, можливо прийняти

$$W_{пот} \approx \zeta W_{ек},$$

де $\zeta = 0,02-0,05$.

З урахуванням викладеного результуюча економія електроенергії при використанні електроприводів з рекуперацією енергії ковзання

$$w_{рез} = (1 - \zeta) \cdot \frac{N_{\sigma} \cdot T \cdot w^*}{\eta_{ек}} \cdot \varphi, \quad (2.8)$$

де w^* - відносна економія електроенергії, визначається за графіками (рис. 1.16, а, б; 1.19), залежно від того, який спосіб регулювання замінюється та якими насосами оснащена установка.

Втрати в РЕП, які працюють без втрат ковзання, зумовлені втратами у частотних перетворювачах, а також зниженням ККД електродвигуна через несинусоїдальну форму кривої перетворюваного струму. Втрати в таких РЕП згідно [3]:

$$W_{пот} = N_{\sigma} \cdot T \cdot (1 + \zeta - \eta_{пер}), \quad (2.9)$$

де ζ - коефіцієнт, який враховує втрати за рахунок несинусоїдальності перетвореного струму, $\zeta = 0,03 \div 0,05$; $\eta_{\text{пер}}$ - ККД частотного перетворювача; $\eta_{\text{пер}} = 0,9 \div 0,95$.

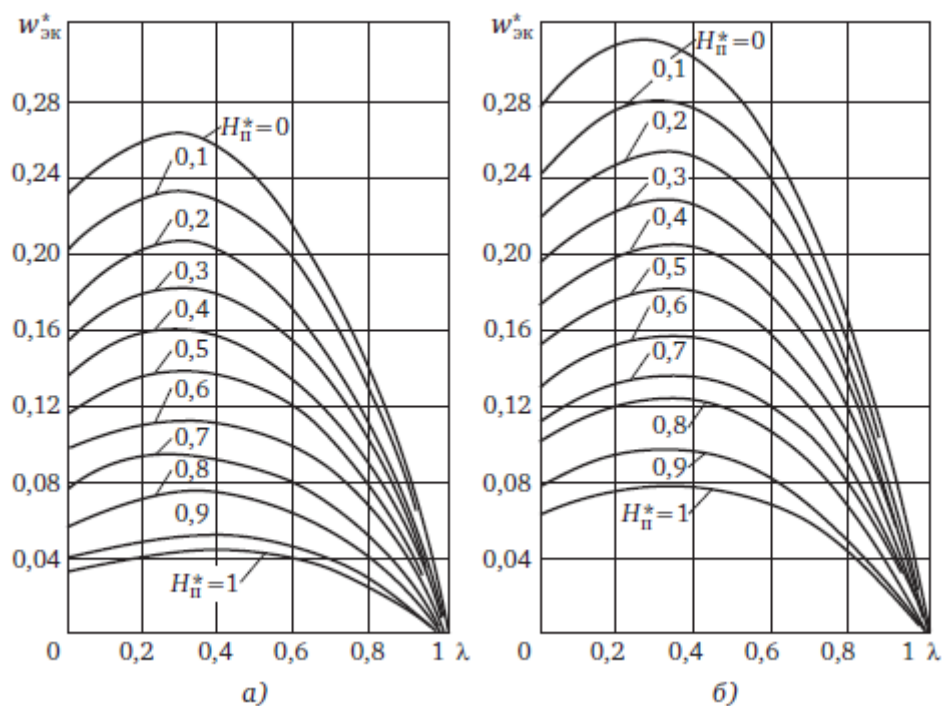


Рисунок 2.3. Зміна відносною економії електроенергії в залежності від параметрів λ і H_{II}^* при заміні дроселювання

регулюванням частоти обертання насоса:

а - для насосів з чистою води; б - для насосів стічної рідини

У випадку застосування РЕП, регулюючих без втрат ковзання, результуюча економія електроенергії з обліком втрат в РЕП визначається по формулі

$$W_{\text{рез}} = \frac{N_{\sigma} \cdot T}{\eta_{\text{ед}}} \cdot [w^* - (1 + \zeta - \eta_{\text{пер}})]. \quad (2.10)$$

У деяких насосних установках застосовуються не тільки РЕП, плавно регулюючі, але і приводи з асинхронними багатоскоросними електродвигунами, частота обертання яких змінюється дискретно (східцями) відповідно з (2.1).

Регулювання частоти обертання багатошвидкісних електродвигунів здійснюється зміною пар полюсів. Оскільки число пар полюсів не може бути дробовим, при $f = 50$ Гц частота обертання багатошвидкісних асинхронних електродвигунів без урахування ковзання має значення: 3000, 1500, 1000, 750 хв^{-1} і т. д.

Змінюючи сходинками частоту обертання електродвигуна, можна дискретно змінювати положення напірної властивості насоса. Завдяки цьому, суттєво зменшуються перевищення напорів в режимі мінімальних подач. за своєму ефекту обладнання насоса багатошвидкісним електродвигуном рівнозначно установці на станції додатково невеликого насоса (так званої різноваги). Хоча цей спосіб регулювання не ліквідує перевищення напорів повністю, але завдяки їх зменшенню забезпечує більше економічний режим роботи насосної установки. У зв'язку з досить широким поширенням частотного РЕП привід з багатошвидкісними електродвигунами в насосних установках використовується рідко. Тому тут він докладно не розглядається. Оцінка ефективності застосування багатошвидкісних електродвигунів в насосних установках наводиться в [3].

На закінчення слід ще раз звернути увагу на те, що розглядається методика визначення економії електроенергії є спрощеною, наведені в ній формули є наближеними, так як при їх висновку зроблено деякі допущення. Зокрема, не враховується зміна ККД насоса при зміні частоти його обертання, оскільки при цьому економія електроенергії, обумовлена зниженням напорів, зазвичай більше, ніж втрати електроенергії за рахунок зниження ККД насоса при зміні його частоти обертання. Облік втрат електроенергії, обумовлених зміною ККД насосного агрегату, здійснюється з допомогою рівняння (2.10).

Тим не менш, ця методика дозволяє досить швидко і просто оцінити прогнозовану економію енергії, яка може бути отримана при використанні РЕП в насосних установках.

Порівняння прогнозованої економії електроенергії, визначеною по цій методиці, з фактичною економією, отриманою при впровадженні

регульованого електроприводу на діючих об'єктах, показує, що похибка обчислення складає 10-15 %.

Враховуючи відсутність достатньо надійних вихідних даних про майбутній режим роботи насосних установок, цю похибку можна, можливо рахувати прийнятною при розробці практичних міроприємств по економії електроенергії в насосних установках.

Необхідно також відзначити, що регулювання частоти обертання вимагає застосування додаткових пристроїв, що збільшує капітальні витрати, в той же час регулювання частоти обертання дозволяє збільшити одиничну потужність насосних агрегатів і зменшити їх загальне число на станції та, відповідно, знизити капітальні витрати. Тому ухвалення рішення про використання РЕП у насосній установці має ґрунтуватися на техніко-економічному розрахунку з обліком зміни всіх видів витрат [14].

2.2 Область застосування і умови використання РЕП в насосних установках.

Вище описані основні види РЕП, які практично використовувалися у вітчизняних і зарубіжних насосних установках. Досвід експлуатації виявив область їх застосування (табл. 2.1) і умови використання в насосних установках.

Більшість насосних установок складаються з декількох агрегатів. Частина є робітниками, частина резервними. У відповідності з діючими правилами на кожну групу насосних агрегатів, що подають воду у свій район живлення, має бути передбачено два резервні агрегати. Як правило, РЕП обладнуються на усі агрегати. З двох-трьох встановлених агрегатів РЕП достатньо оснастити один [3].

У багатьох випадках у насосних установках використовуються різні типи насосні агрегати. Одні призначені для роботи в періоди великого водоспоживання, з великими подачами і, відповідно, з високими натисками. Інші використовуються в періоди мінімального водоспоживання, їх

номінальна подання менше і натиск менше. Виникає питання, які агрегати слід оснащати регульованим електропривод. Дослідженнями, виконаними у НДІ ВОДГЕО та ТОВ «Ягорба», встановлено, що для запобігання утворення «мертвих зон» [3] РЕП повинні оснащуватися найбільші насосні агрегати з найбільш пологими напорними витратними характеристиками.

Таблиця 2.1. Область застосування основних видів регульованого електроприводу

| Вид РЕП | Основна область застосування |
|------------------------------------|---|
| Частотний привід | Низьковольтні (400-690) в) насосні агрегати потужністю 400-1600 кВт, оснащені асинхронними короткозамкненими двигунами |
| Привід на базі вентильного двигуна | Високовольтні (6 -10 кВ) насосні агрегати потужністю (630-5000 кВт), оснащені стандартними синхронними двигунами |
| Асинхронний вентильний каскад | Низьковольтні (380) в) насосні агрегати потужністю 250-400 кВт, оснащені асинхронними двигунами з фазним ротором. Високовольтні (6-10 кВ) насосні агрегати потужністю (630-1600 кВт), оснащені асинхронними двигунами з фазним ротором |
| Електромагнітна муфта ковзання | Низьковольтні (380) в) насосні агрегати потужністю до 400 кВт. |

Якщо один перетворювач постійно підключений до одного з агрегатів, має місце нерівномірне витрачання їх мотороресурсу, оскільки агрегат, оснащений регульованим приводом, використовується в роботі значно більший час.

Для рівномірного розподілу навантаження між усіма агрегатами, встановленими на об'єкті, сучасні частотно-регульовані електроприводи мають функціями чергування включення двигунів у роботу. Крім того, існують станції групового управління, за допомогою яких агрегати можуть рідко підключатися до перетворювача. Станції управління готуються зазвичай для низьковольтних (380) агрегатів. Для високовольтних агрегатів рівномірний розподіл навантаження забезпечується відповідною схемою високовольтного розподільчого пристрої (РУ).

Станції групового управління. Зазвичай низьковольтні станції управління призначені для управління двома- трьома агрегатами. До складу

низьковольтних станцій управління входять автоматичні вимикачі, що забезпечують захист від міжфазних коротких замикань та замикань на землю, теплові реле для захисту агрегатів від перевантаження, а також апаратура управління (ключи, кнопкові пости і пр.).

Схема комутації станції управління містить у своєму складі необхідні блокування, що дозволяють зробити підключення перетворювача частоти до будь-якого обраного агрегату та здійснити заміну працюючих агрегатів без порушення технологічного режиму роботи насосної або повітродувної установки.

Станції управління, як правило, поряд з електросиловими елементами (автоматами, контакторами тощо) містять у своєму складі керуючі та регулюючі пристрої (мікропроцесорні контролери та ін.). Зазвичай станції комплектуються пристроями автоматичного увімкнення резервного живлення (АВР), комерційного обліку споживаної електроенергії, управління запірної апаратурою. При необхідності в склад станції управління вводяться додаткові апарати, які забезпечують використання, поряд з частотним перетворювачем, пристрою плавного пуску агрегатів.

Автоматизовані станції групового управління та регулювання забезпечують:

- підтримання заданого значення технологічного параметра (тиск, рівня, температури і ін);
- контроль режимів роботи електродвигунів регульованих і нерегульованих агрегатів (споживаний струм, потужність) і їх захист;
- автоматичне включення в роботу резервного агрегату при аварії основного;
- перемикання агрегатів безпосередньо на мережу при виході з ладу частотного перетворювача;
- автоматичне включення резервного (АВР) електричного введення;
- автоматичне повторне включення (АПВ) станції після зникнення і глибоких посадок напруги в живильній електричній мережі;

- автоматична зміна режиму роботи станції з зупинкою і запуском агрегатів в роботу в заданий час;
- автоматичне включення в роботу додатково нерегульованого, якщо регульований агрегат, вийшовши на номінальну частоту обертання, не забезпечує необхідною подачі води (повітря);
- автоматичне чергування працюючих агрегатів через задані проміжки часу для забезпечення рівномірного розходження моторесурсу;
- оперативне управління режимом роботи насосної (повітряно дувної) установки з панелі управління або з диспетчерського пульта.

Наприклад на рис. 2.11 представлена однолінійна схема станції групового управління типу АСУР [3], а також заданий опис інтелектуальної станції управління занурювальним насосом VLT SALT (Данфосс). До складу станції входить один із найкращих перетворювачів частоти VLT® Automation Drive FC-302. Станція призначена для управління штанговими глибинними нафто-видобувними насосами, а також електричними відцентровими насосами. Станція виготовлена у вигляді шафи, який кріпиться у вертикальному положенні на стіні. Станція може використовуватися в широкому діапазоні зміни температур (-60 ÷ +50 °C).

Станція SALT забезпечує автоматичне регулювання частоти обертання насоса, необхідної для підтримки необхідного динамічного рівня нафти у свердловині, вирівнюючи подачу насосу з припливом нафти в свердловину, а також плавний пуск насосу в роботу.

Оскільки в склад станції SALT входить частотний перетворювач серії VLT® Automation Drive FC-302 (компанія "Данфосс"), вона має усіма захистами і блокуванням, властивими цьому приводу, в том числі захистом від навантаження по струму, захисту від витоку струму на грішну землю, від нерівномірної навантаження фаз та інших. У приводі штангових насосів станція SALT забезпечує зниження механічних навантажень на стінки насоса-качалки, запобігаючи пошкодження штанги. Вибір і підтримка оптимальною

частоти обертання насосу забезпечує високі енергетичні показники установки ($\cos\varphi = 0,98$, економія енергії 22-30 %).

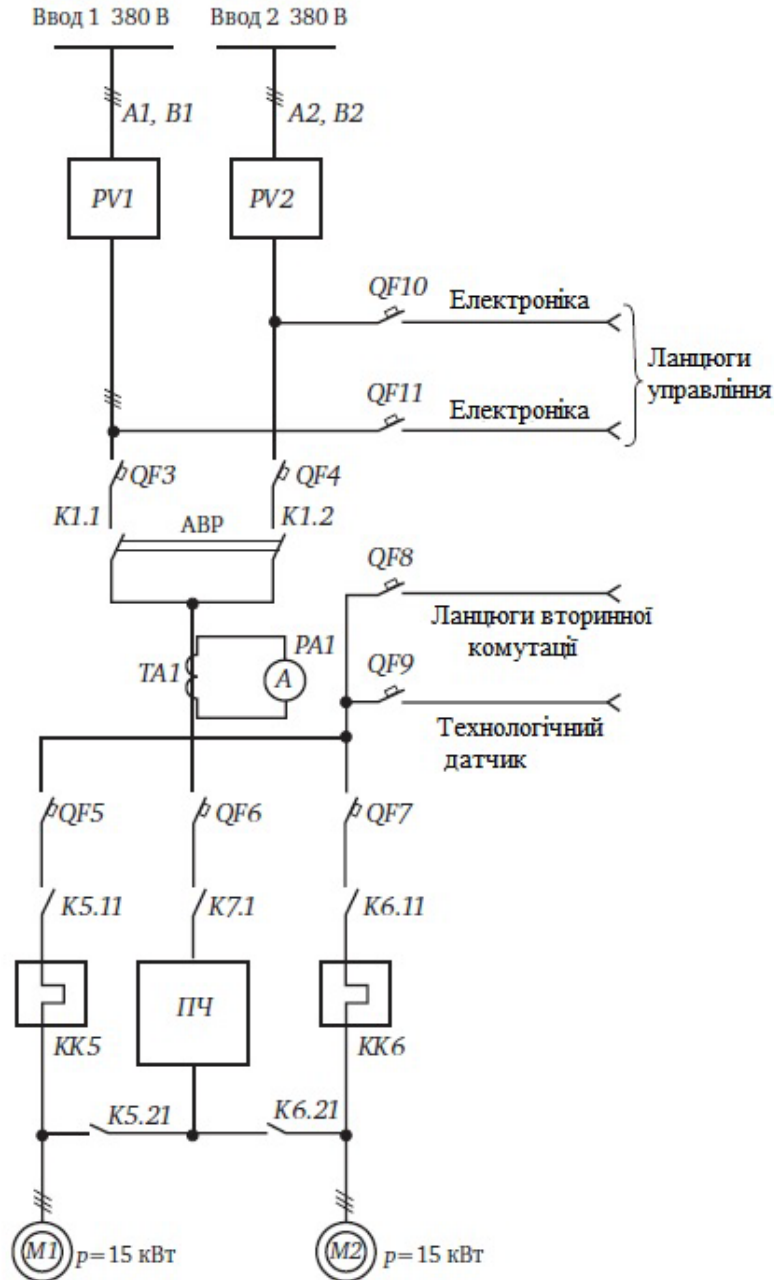


Рисунок 2.4. Принципова схема станції групового управління низьковольтними РЕП

2.3. Технічні характеристики і спеціальні функції частотних перетворювачів

Наведений вище огляд показує, що в сучасних насосних установках найбільшого поширення набув частотний РЕП. Основою цього виду приводу є напівпровідниковий частотний перетворювач. Вперше напівпровідникові частотні перетворювачі стали використовуватися в насосних установках кінці 60-х років минулого сторіччя. Фірма "Данфосс" одна з перших застосувала напівпровідникові частотні перетворювачі приводі відцентрових установок. Вона першою в світі (з 1968 р.) стала випускати серійні частотні перетворювачі, використовуваними в насосних установках [15].

Використовуючи свій багаторічний досвід застосування частотних перетворювачів у цій галузі техніки, фірма створила серію частотних перетворювачів VLT® AQUA Drive, призначених для використання в насосних установках систем водопостачання та водовідведення. На її прикладі далі розглядаються основні технічні характеристики та спеціальні функції сучасних частотних перетворювачів, що використовуються в насосних установках [15, 16, 17]. Перетворювачі VLT® AQUA Drive виготовляються для приводів потужністю від 0,37 до 1400 кВт (табл. 2.3).

Таблиця 2.2. Діапазон потужностей перетворювачів VLT® AQUA в залежності від числа фаз і напруги живильної мережі

| Рід струму і число фаз | Напруга, У | Діапазон потужностей, кВт |
|------------------------|------------|---------------------------|
| ~1 | 200-240 | 1,1-22 |
| ~3 | 380-480 | 0,37-1000 |
| ~3 | 525-690 | 11-1400 |

Номінальні значення потужності P , кВт, на валу насосних агрегатів, для яких виготовляються перетворювачі VLT® AQUA Drive на напруга живильною мережі приблизно $3 \times (380 \div 480)$ В, наведено нижче.

| | | | | | | | | | |
|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 0,37 | 0,55 | 0,75 | 1,1 | 1,5 | 2,2 | 3 | 4 | 5,5 | 7,5 |
| 1115 | 18,5 | 22 | 30 | 37 | 45 | 55 | 75 | 90 | |
| 110 | 132 | 160 | 200 | 250 | 315 | 355 | 400 | 450 | 500 |
| 630 | 710 | 800 | 1000 | | | | | | |

Перетворювачі, як видно нижче, мають одні з найвищих значень ККД перетворювачів, які залежать від потужності привода:

| | | | | | | | |
|-----------------|------|------|-----|---------|-------|----|----------|
| Потужність, кВт | 0,37 | 0,55 | 1,1 | 1,5-7,5 | 11-75 | 90 | 110-1000 |
| ККД, % | 93 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 98 |

Коефіцієнт потужності перетворювача також досить високий ($\cos \varphi \geq 0,9$), тому застосування регульованого привода на основі перетворювача VLT® AQUA Drive не вимагає додаткових пристроїв, підвищують $\cos \varphi$ (батарей статичних компенсаторів і т. п.).

На рис. 2.5 показано принципову схему перетворювача VLT® AQUA Drive та типова схема зовнішніх підключень (джерела живлення, електродвигуна насоса, датчиків та ін.). Зовнішній вигляд перетворювачів VLT® AQUA Drive представлений на рис. 2.6.

Перетворювач VLT® AQUA Drive призначений для використання в насосних установках водопостачання, водовідведення та систем іригації. У зв'язку з цим він має низку спеціальних функцій, що забезпечують необхідні для роботи в цих умовах властивості, які наведено нижче.

1. У системі управління перетворювача передбачена автоматична настройка пропорційно-інтегральних регуляторів, завдяки якій здійснюється корекція коефіцієнтів посилення ПІ-регуляторів, залежно від реакції об'єкта регулювання (резервуар-насос-водовід) на зміни режиму роботи системи, що вносяться регульованим приводом. Завдяки цьому властивості здійснюється індивідуальна налаштування ПІ-регулятора для кожного конкретного об'єкта і не потрібна точне налаштування пропорційних (П) та інтегральних складових регулятора при введенні перетворювача в експлуатацію (рис. 2.7).

2. Система управління перетворювача VLT® AQUA Drive об'єднує поступове заповнення порожнього водоводу, запобігає ризику виникнення гідравлічних ударів і, відповідно, пошкодження труб та гідромеханічного обладнання. Особливо ця властивість цінна для зрошувальних насосних установок, які досить часто входять у роботу на порожні водоводи. Заповнення

водоводу здійснюється за сигналом датчика тиску в декілька щаблів. Наведена діаграма пуску насосного агрегату на рис. 2.8.

3. Система управління перетворювача VLT ® AQUA Drive має властивість сигналізувати про падіння тиску в трубопроводі нижче заданого значення при досягненні насосом номінальної частоти обертання (точка А). Цей сигнал говорить про необхідність включення в роботу додаткового насоса, якщо на водовід працює група насосів. Якщо передбачається робота одиночного насоса на ізолюваний водовід, сигнал говорить про розрив водоводу або про великий витік води із системи. У цьому випадку насосний агрегат відключається, і вживаються заходи щодо ліквідації несправності водоводу (рис. 2.9).

4. Система управління перетворювача має властивість ререгулювати частоту обертання насоса при його зупинці. Завдяки цій властивості частота обертання поступово ступенями знижується до частоти обертання, що відповідає моменту закриття клапана, що запобігає виникненню гідравлічного удару в системі і механічних впливів на сам клапан. на рис. 2.9 представлена діаграма зупинки насосного агрегату.

5. Система управління перетворювача VLT ® AQUA Drive має здатність виявлення режиму «сухого ходу». Система безперервно за результатами вимірювання параметрів приводу частоти обертання і потужності приводу оцінює умови роботи насосного агрегату. При малій споживаній потужності, що має місце при занадто малій подачі або за її відсутності, насосний агрегат зупиняється. На рис. 2.10 представлений графік, пояснюючий принцип виявлення «сухого» ходу насосного агрегату.

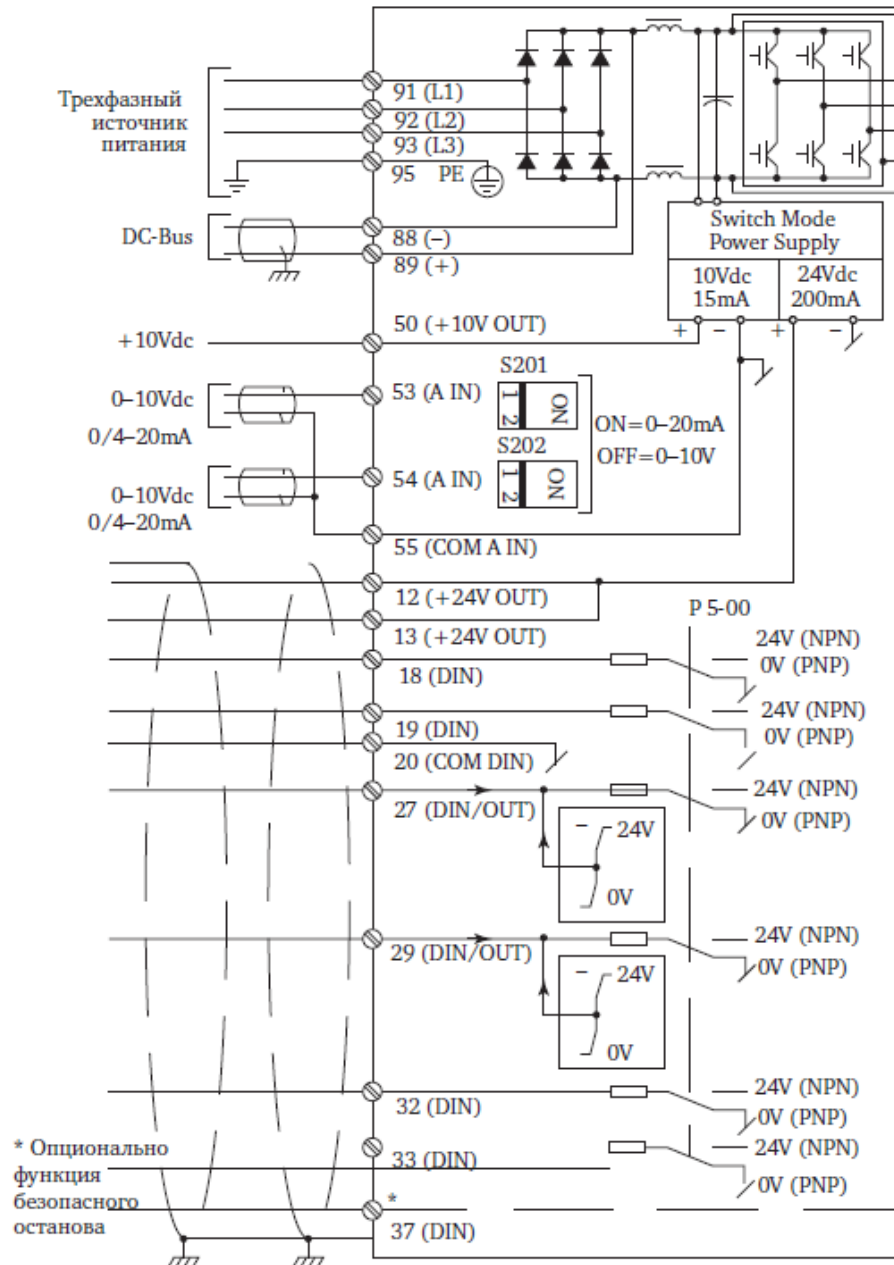


Рисунок 2.5. Схема зовнішніх підключень



Рисунок 2.6. Частотні перетворювачі "Данфосс" серії VLT® AQUA Drive

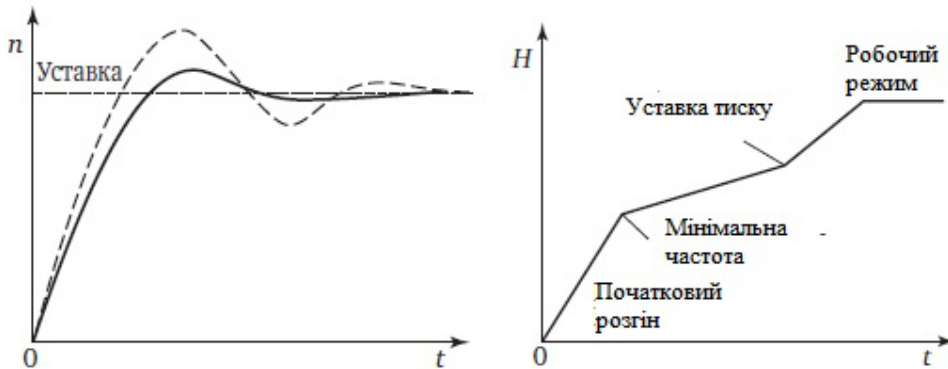


Рисунок 2.7. Автоналаштування ПІ-регуляторів перетворювача VLT® AQUA Drive

Рисунок 2.8. Діаграма пуску насосного агрегату на порожній водовід

6. Перетворювач частоти VLT® AQUA Drive може працювати в режимі сну. Під цим режимом розуміється робота насоса з дуже малою подачею, чому відповідає мале споживання потужності. Зазвичай це відбувається при роботі насосу на низькій частоті обертання. Система управління, зіставляючи частоту обертання насосу і споживану їм потужність, перекладає систему в «сплячий режим». При малій подачі насос піднімає тиск до необхідного значення та зупиняється. Далі система управління контролює тиск в системі водоподачі або рівень стоків у приймальному резервуарі каналізаційної станції. При тиску в системі водоподачі або підвищенні рівня стоків в приймальному резервуарі КНР насос включається в роботу.

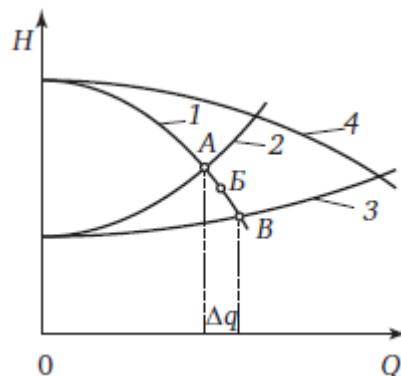


Рисунок. 2.9. Виявлення великий витoku при розриві водоводу:

1- характеристика регульованого насоса при виході на номінальну частоту обертання; 2- характеристика справного водоводу; 3 - характеристика пошкодженого водоводу; 4 - сумарна характеристика регульованого і додаткового нерегульованого насоса; *A* - гранична точка роботи насоса з номінальною частотою обертання; *B* - робота насоса на справний водовід з підвищеним витратою, необхідно включення додаткового насосу; *B* - робота насоса на пошкоджений водовід,

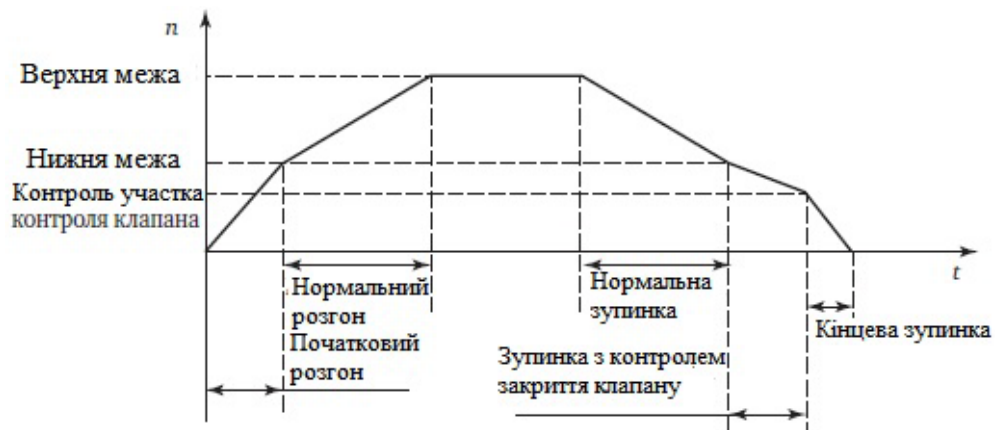


Рисунок 2.10. Діаграма зупинки насосу з контролем закриття зворотного клапана

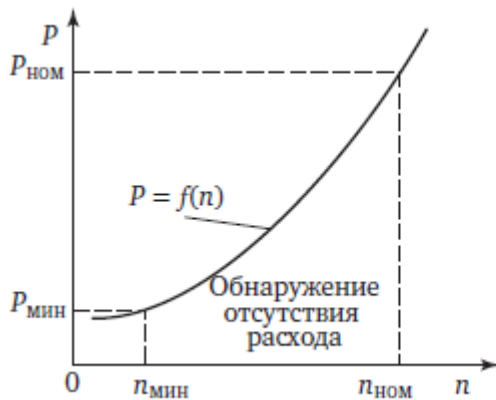


Рисунок 2.11. Виявлення «сухого ходу» насосного агрегату



Рисунок 2.12. Облік втрат тиску в водоводі

Завдяки властивості системи управління забезпечувати «сплячий режим», зменшується знос насосного агрегату, запобігаючи його роботу при малому водорозборі або малому притоку стоків у приймальний резервуар КНС.

Наявність цієї функції перетворювача дозволяє економити, в середньому, 5 % енергії, витрачається на подачу води.

7. Система управління перетворювача VLT ® AQUA Drive володіє функцією, завдяки якій враховуються втрати напору у водоводі від насосної станції до точки водопровідної мережі, що диктує. Завдяки цій функції на виході з насосної станції встановиться необхідний напір відповідно до подачі, що змінюється води. При цьому враховується, що втрати напору в трубах пропорційні квадрату витрати ($h_{\text{вт}} = sQ^2$) (рис. 2.12). Це властивість дозволяє забезпечити необхідний натиск в кінці водоводу без датчика тиску. Однак воно може ефективно використовуватися тільки при відсутності проміжних відборів води на водоводі.

8. Поряд із згаданими властивостями перетворювача VLT ® AQUA Drive системи управління необхідно відзначити наступне:

- забезпечення плавного пуску із заданою інтенсивністю пуску і зупинка насоса, що запобігає пошкодження підшипників насосів, знижує ймовірність виникнення гідравлічних ударів у трубопроводах, знижує пускові струми в живильній електромережі;

- забезпечення чергування насосних агрегатів як робочих та і резервних. Завдяки цьому забезпечується рівномірний знос моторесурсу насосних агрегатів;

- індикація окупності перетворювача, показує, скільки часу залишається до повної окупності коштів, потрачених на придбання приводу VLT ® AQUA Drive.

Далі окремо відзначимо спеціальні енергозберігаючі функції частотно-регульованих приводів, створених на основі перетворювачів "Данфосс".

1. Функція АЕО (функція автоматичною оптимізації споживання енергії). Завдяки цій функції привід споживає стільки енергії, скільки необхідно для подачі рідини в даний момент часу. Використання цієї функції заощаджує

додатково 5-10% енергії. Крім того, ця функція знижує споживання приводом реактивної потужності та відповідно струм навантаження електродвигуна. Ця функція особливо ефективна для механізмів з вентиляторним моментом опору (момент опору пропорційний квадрату частоти обертання), в тому числа для відцентрових насосів. Наявність цієї функції, крім того, знижує акустичні шуми агрегату.

2. Функція автоматичною адаптації електродвигуна, вбудована в перетворювач. Налаштування перетворювача частоти суттєво залежить від внутрішніх параметрів електродвигунів (опір, індуктивності та ін.).

Висновки по розділу 2

Функція автоматичної адаптації дозволяє достатньо точно визначити параметри підключеного до перетворювача двигуна та здійснити його налаштування. Ця функція має важливе значення в тих випадках, коли здійснюється заміна двигунів насосів, коли параметри двигуна змінюються після ремонту, а також у тих випадках, коли до одному і тому ж перетворювачу по черзі підключаються.

ВИСНОВКИ

Узагальнення досвіду розробки, впровадження та експлуатації таких систем дозволило сформулювати основні положення, забезпечують ефективне використання РЕП в насосних установках, які наведено нижче.

1. Регульований електропривід сам по собі не може забезпечити ефективної роботи установки. Ефективна робота насосної установки забезпечується належним технологічним режимом перекачування чистих чи стічних вод. Належний технологічний режим перекачування створюється спеціально для цього розробленою системою управління, в якій регульований привід є одним з елементів, хоча і дуже важливим.

2. Не існує ідеального, придатного для всіх насосних і повітродувних установок, єдиного виду РЕП. Для використання в насосних установках придатні різні види приводу. Кожен з них має свої переваги та недоліки. Вибір приводу для конкретних установок здійснюється на основі розрахунків за порівнянними технічними та економічними показниками.

3. Для створення належного технологічного режиму роботи насосної установки система управління повинна мати спосіб здійснювати спеціальні функції, що забезпечують роботу установки в найбільш економічному режимі, виключає передчасне зношування та пошкодження насосного агрегату. Такими функціями мають сучасні частотні перетворювачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Белозоров Н.П., Луговський М.В. Розрахунок систем водопостачання з застосуванням обчислювальної техніки. М.: Колос, 1973.
2. Ільїн В.Г. Розрахунок спільної роботи насосів, водопроводних мереж і резервуарів. // Київ, Держбудвидав УРСР, 1963.
3. Лезнов Б.С. Енергозбереження та регульований привід у насосних і повітродувних установках. М.: Енергоатоміздат, 2006.
4. Лезнов Б.С. Характеристики розгалужених трубопроводів з проміжними відборами води // Водопостачання та санітарна техніка. 2007, № 12.
5. Карелін В.Я., Мінаєв А.В. Насоси та насосні станції. М.: Будвидав, 1986.
6. Товстоліс Фл.П. . Гідравліка та насоси. Частина III. Насоси. -М.: ГОНТІ.Л. 1938.
7. Альтшуль А. Д., Кисельов П.Г. Гідравліка та аеродинаміка. М.: Будвидав, 1975.
8. Відцентрові насоси двостороннього входу Каталог. М.: ЦИНТІХІМНАФТОМАШ, 1982.
9. Електричні навантаження промислових підприємств / С.Д. Волобринський, Г.М. Каялів, П.М. Клейн і ін. Л.: Енергія, 1971.
10. 60 років ленінського плану ГОЕЛПРО: Зб. статей/За ред. П.С. Непорожній, М.: Енергія, 1980.
11. Лобачов П.В. Сучасні засоби вимірювання витрати рідини // Інтенсифікація діючих систем водопостачання на основі впровадження нової техніки та технології. М: МДНТП, 1986.
12. Великі відцентрові та осьові насоси / І.І. Кисельов, О.Л. Герман, Л.М. Лебедев і ін. М.: Машинобудування, 1977.
13. Брускін Д.Е., Зохорович А.Є., Хвостов В.С. Електричні машини. Частина 1, 2. М.: Вища школа, 1987.

14. Лезнов Б.С. Методика оцінки ефективності застосування регульованого електроприводу у водопровідних та каналізацій-них насосних установках. М.: Машинобудування, 2011 року.