

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему «**Модернізація електроприводу бурової лебідки**»

Виконав: студент 4 курсу, групи 401-МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Бондар І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Кислиця С.Г.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Єрмілова Н.В.


(прізвище та ініціали)

Полтава - 2024 рік

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій
Ступінь вищої освіти Бакалавр
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,
електроніки та телекомунікацій

 О.В. Шефер
"01" квітня 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ

Бондару Іллі Віталійовичу

1. Тема роботи «Модернізація електроприводу бурової лебідки»
керівник роботи Кислиця Світлана Григорівна, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від 08.12.2024 року
№ 148/1-фа.
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 10.06.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) технічна документація на бурову лебідку
типу ЛБУ 22 – 720. Номінальна напруга живлення приводу бурової лебідки
6000 В, максимальна вантажопідйомність – 200 т, діаметр барабану лебідки –
800 мм. Максимальна швидкість підйому гака – 0,2м/сек. Розробити
сучасний енергоощадний регульований електропривод, забезпечити
перерегулювання у межах 20 %, час регулювання не більше 1 сек.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно
розробити) Характеристика об'єкту модернізації. Описання бурової установки
та електроприводу бурової лебідки. Аналіз недоліків електроприводу і
постановка задачі на бакалаврську роботу. Розрахунок потужності, вибір та
перевірка вибору двигуна бурової лебідки. Розроблення системи керування
електроприводом лебідки. Розрахунок та вибір елементів схеми. Математичне
моделювання. Дослідження перехідних процесів. Висновки про проведену
модернізацію.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

- 1) загальний вигляд бурової лебідки;
- 2) функціональна схема електропривода лебідки;
- 3) принципова схема електропривода лебідки;
- 4) структурна схема САК;
- 5) графіки визначення стійкості та логарифмічні характеристики;
- 6) плакати дослідної частини.

6. Дата видачі завдання 01.04.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів бакалаврської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
1	Описання бурової установки та електроприводу бурової лебідки. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задач на бакалаврську роботу	25.04.24	I	20%	Пл. 1
2	Розрахунок потужності, вибір та перевірка вибору двигуна бурової лебідки	08.05.24		40%	Пл. 2
3	Розроблення системи керування електроприводом лебідки. Розрахунок та вибір елементів схеми	23.05.24	II	60%	Пл. 3,4
4	Математичне моделювання. Дослідження перехідних процесів	30.05.24		80 %	Пл. 5
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	10.06.24	III	100%	Пл. 6

Студент

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Бондар І.В.

Керівник роботи

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Кислиця С.Г.

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи бакалавра
«Модернізація електроприводу бурової лебідки»

Робота містить 51 сторінку, 12 рисунків, 3 таблиці, 19 літературних джерел.

Ключові слова: бурова лебідка, електропривід, швидкість обертання, двигун, перехідний процес.

Метою дослідження є аналіз роботи лебідки під час спускопідйомних операцій з різним навантаженням на елеваторі. Розглянутий технологічний процес експлуатації приводу бурової лебідки під час спускопідйомних операцій, досліджено проблеми, які пов'язані з системою керування, сформовані задачі та проведена модернізація цього електроприводу. Розроблена цифрова система управління асинхронним частотно-регульованим електроприводом, також модернізована силова схема електроприводу. Результати моделювання показали, що розроблена система забезпечує завдані характеристики точності та стабільності роботи системи керування.

ABSTRACT

of the qualification work of the bachelor

"Modernization of the electric drive of the drilling winch"

The work contains 51 pages, 12 figures, 3 tables, 19 references.

Key words: drilling winch, electric drive, rotation speed, motor, transient.

The aim of the study is to analyze the winch operation during hoisting operations with different loads on the elevator. The technological process of operation of the drilling winch drive during hoisting operations is considered, the problems associated with the control system are investigated, tasks are formed, and the modernization of this electric drive is carried out.

A digital control system for an asynchronous variable frequency drive was developed, and the power circuit of the drive was modernized. The modeling results showed that the developed system provides the specified characteristics of accuracy and stability of the control system.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	8
1.1 Застосування та класифікація бурових установок	8
1.2 Технічні характеристики бурової установки типу БУ 3200/200	10
1.3 Опис та призначення бурової лебідки	13
1.4 Постановка задач на кваліфікаційну роботу бакалавра	16
2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	18
2.1 Загальні відомості про застосування електроприводів лебідок.	18
2.2. Вимоги до електроприводу бурової лебідки	19
2.3 Розрахунок потужності та вибір двигуна бурової лебідки	20
2.4. Опис сучасних перетворювачів частоти	30
3. МОДЕЛЮВАННЯ ПРИВОДУ ЛЕБІДКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ СПУСКОПІДЙОМНИХ ОПЕРАЦІЙ	36
3.1 Розробка моделі	36
3.2 Аналіз результатів моделювання	39
3.3 Вибір перетворювача частоти	42
3.4 Модернізація схеми силового кола електроприводу бурової лебідки	45
3.5 Вибір елементів автоматики	47
ВИСНОВКИ	49
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	50
Додатки	52

ВСТУП

В наш час головними видами палива, споживаного людством, залишається нафта і газ, за рахунок цього палива покривається близько 70% енергетичної потреби в світі.

Основним об'єктом при видобуванні нафти і газу є бурова установка, яка складається з комплексу різних механізмів, котрі призначаються для буріння, та кріплення свердловин. Усі бурові установки за видом монтажу і транспортування розділяються на нерозбірні та розбірні. Склад вузлів бурової установки, їх конструкція визначається призначенням свердловини, умовами та способом буріння, а також кліматом місцевості, де знаходиться родовище.

Процес спорудження свердловин складається із повторюваних операцій: спуску бурильних труб з долотом (інструменту) у свердловину; руйнування породи на забої – процес буріння; нарощування колони труб по мірі заглиблення свердловини; підйому труб для заміни зношеного долота. Для здійснення таких операцій, а також робіт по кріпленню стовбура свердловини використовують бурові установки, які представляють собою складний комплекс виробничих механізмів [1].

У склад цього комплексу входять підйомна система з індивідуальними приводами для підйому, спуску та подачі інструмента, бурові насоси, ротор, механізми для приготування та очищення бурового розчину, вантажно-розвантажувальних робіт, забезпечення установки стисненим повітрям та ін. Основні (ротор, бурова лебідка з талевою системою та бурові насоси) і допоміжні механізми бурової установки приводяться в дію від силового привода, тип якого вибирають залежно від умов буріння конструкцій механізмів та інших факторів.

Актуальність теми. Максимальна автоматизація установок для буріння дозволяє виконувати основні робочі операції процесу буріння, в тому числі спуско-підйомні операції КБТ (колон бурових труб) та НКТ (насосно-компресорних труб), з наліпшими показниками по експлуатації, крім того

автоматизація процесів покращує процес безперервного видобутку нафти, а це зменшує збитковість усього технологічного процесу. Тому вимоги вірного вибору електрообладнання для видобутку нафти, максимально можлива автоматизація роботи, зниження експлуатаційних витрат є в наш час дуже актуальними.

Мета і задача дослідження. Основною задачею даної кваліфікаційної роботи є модернізація системи автоматичного керування буровою лебідкою типу ЛБУ 22–720. Модернізована система керування лебідкою повинна забезпечувати високу точність, економічність роботи, зменшення аварійних ситуацій.

Метою дослідження є аналіз роботи лебідки під час спускопідйомних операцій з різним навантаженням на елеваторі. Необхідно створити таку систему автоматичного керування, яка здатна забезпечити виконання усіх необхідних функцій, а також здатна передбачити і унеможливити розвиток та виникнення аварійних ситуацій під час спуску або підйому бурових колон або бурильного інструменту. Для цього треба проаналізувати роботу лебідки під час спускопідйомних операцій; розглянути процеси, що протікають в механічній частині приводу, виявити та усунути шляхом модернізації проблеми, які при цьому виникають.

1 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

1.1 Застосування та класифікація бурових установок

Бурові установки застосовуються для таких видів буріння [2]:

- буріння пошукових свердловин середньої глибини (до 600 м) на тверді корисні копалини;
- буріння глибоких розвідувальних та експлуатаційних свердловин (до 6000 м) на нафту й газ;
- буріння неглибоких свердловин на воду;
- буріння вибухових свердловин на відкритих гірничих виробках і в шахтах.

Також бурові установки можуть застосовуватися для буріння неглибоких (до 25 метрів) свердловин невеликого діаметра (76-219 мм) для сейсмозв'язки та інженерних пошукових роботах.

Цільове призначення свердловин може бути різним. У нафтовій і газовій промисловості (НГП) бурять, в основному, наступні свердловини [2]:

- структурно–пошукові – для виявлення тектоніки, стратиграфії та літології, а також для оцінки можливої продуктивності того чи іншого горизонту;
- опорні – для з'ясування геологічної будови та напрямку нафтопошукових робіт у мало досліджених районах;
- експлуатаційні – для витягу нафти або газу із надр землі;
- розвідувочі – для виявлення продуктивних горизонтів та встановлення їх промислового значення, а також для оконтурювання вже розроблюваних нафтоносних та газоносних пластів;
- нагнітаючі - для закачування у продуктивні горизонти води (повітря чи газу) з ціллю підтримання пластового тиску та видовження природнього періоду фонтанування;

- оціночні – для оцінки колекторських можливостей експлуатованого горизонту.

При бурінні нафтових та газових свердловин в Україні застосовують виключно обертовий метод буріння, при цьому методі буріння свердловина як би висвердлюється безперервно обертаючимся долотом. Розбурені частки породи в процесі буріння виносяться на поверхню, безперервно циркулюючим струменем промивної рідини або нагнітаючим в свердловину повітрям, або газом [1]. Залежно від місця розташування двигуна обертове буріння поділяють на:

- роторне – двигун знаходиться на поверхні і приводить в обертання долото на забої з допомогою колони бурильних труб;
- буріння з забійним двигуном (турбінне або за допомогою електробура) – двигун переміщений до забою свердловини і встановлюється над долотом.

НГП являється однією з найбільш енергоємних галузей, і на електропривід бурових насосів та бурових лебідок припадає найбільша частина споживаної енергії. Враховуючи, що вартість самої електроенергії, а також вартість її передачі по ЛЕП постійно зростають, завдання зменшення енергоспоживання є однією з головних задач бурових установок. Використання регульованого електроприводу дає можливість у значній мірі вирішувати цю задачу.

В останні роки одним з головних напрямків розвитку нафтової і газової промисловості є перехід до плавного регулювання технологічних режимів на основі впровадження енергозберігаючих технологій. У період становлення вітчизняної нафтової і газової промисловості всі основні технологічні механізми установок буріння, видобутку і транспортування нафти і газу оснащувалися найпростішими системами нерегульованого електроприводу або дизельного приводу [3]. На бурових установках (БУ) широке застосування отримали асинхронні двигуни з фазним ротором серії АКБ. Для приводу

магістральних насосів транспорту нафти застосовувалися нерегульовані асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором і синхронні двигуни серії СТМ.

Розвиток електроприводу тісно пов'язаний з розвитком систем електропостачання та силової електроніки. Спочатку нафтопромислові об'єкти отримували живлення від районних електростанцій, які підключалися в енергосистему, по лініях електропередачі напругою 20 – 35 кВ. В даний час електропостачання нафтопромислів здійснюється по лініях електропередач напругою 35, 110 і 220 кВ від потужних, енергосистем а для розподільчих мереж замість напруги 380 В використовується напруга 6 або 10 кВ. Для всіх споживачів галузі розроблені і виготовлені спеціальні комплексні трансформаторні підстанції.

Необхідність використання регульованого електроприводу у важких, а іноді й екстремальних умовах експлуатації обладнання, показує особливу важливість створення регульованих електроприводів для усього потужного обладнання, що використовується при освоєнні континентального шельфу України.

Крім того при створенні нового і модернізації діючого обладнання дуже важливим є застосування сучасних процесорних засобів автоматизації. Необхідно також відмітити і традиційний для НГП напрям вдосконалення електроприводу - підвищення його вибухозахищеності та надійності роботи.

1.2. Технічні характеристики бурової установки типу БУ 3200/200

В наш час за пропозицією нафтовиків і газовиків в останні роки розроблені комплектні бурові установки з регульованим електроприводом. Створено ряд блочно-модульних установок кушового буріння БУ-3200/200-ЕК БМ, БУ-3900/225-ЕК БМ і БУ-4500/270-ЕК БМ.

Бурова установка «БУ-3200/200», що розглядається в даній роботі, призначена для буріння нафтових та газових свердловин в електрифікованих районах. Бурові установки такого типу мають

універсальні монтажно - транспортні якості і залежно від призначення перевозяться великими блоками на спеціальних транспортних засобах (ваговозах), секціями (модулями) на трайлерах і агрегатами транспортом загального призначення.

Умовна глибина буріння свердловини при масі одного метра бурильної колони 30 кілограмів складає 3200 метрів. Допускається навантаження на гаці (елеваторі) в процесі проведення та кріплення свердловини в 2000 кН. Максимальна швидкість підйому гака складає 0,2 метрів за секунду. Максимальна частота обертання ствола ротору – 232 об/хв, мінімальна – 20. Постачання бурової установки електроенергією здійснюється від мережі змінного струму 6000 В, 50 Гц.

Електроустаткування бурової установки складається з ряду самостійних систем управління приводами головних та допоміжних механізмів бурової установки [2]:

- електроустаткування забезпечення живлення та розподілу електроенергії напругою 6000 В;
- електроустаткування забезпечення живлення та розподілу електроенергії напругою 380/220 В;
- електроустаткування бурової лебідки;
- електроустаткування бурових насосів;
- електроустаткування компресорів низького тиску;
- електроустаткування компресорів високого тиску;
- електроустаткування допоміжної лебідки;
- електроустаткування освітлення;
- електроустаткування циркуляційної системи.

Зазвичай бурова установка забезпечується електроенергією від лінії високовольтної мережі яка проходить поруч або спеціально прокладена для бурового комплексу. В разі виникнення проблем із енергопостачанням, а процес буріння, переривати не можна, використовуються дизельні генератори.

Дизель-генератор призначений для живлення електродвигунів головного приводу та допоміжних механізмів бурової установки, до яких відносяться компресор з електроприводом, глиномішалку, водяний насос і ін. Крім того, від цього генератора може живитися освітлення всієї установки.

До електрообладнання забезпечення живлення і розподілу електроенергії напругою 6000 В відносять пристрій розподільний РП-6 типу КРУНБ – 6У, який складається з шести комірок, змонтованих на загальних основах.

До електрообладнання забезпечення живлення і розподілу електроенергії напругою 380/220 В належать:

- а) головна шафа живлення та перемикач РЩ1;
- б) шафа живлення циркуляційної системи РЩ2;
- в) шафа живлення силового блоку і електродвигунів компресорів низького тиску РЩ3;
- г) шафа живлення мереж житлового комплексу РЩ4.

Електрообладнання компресорів низького тиску призначено для постачання стисненим повітрям тиском 6-8 кгс/см² системи пневматичного керування бурової установки.

На буровій установці встановлено два компресори низького тиску типу КС-5. До електрообладнання компресора високого тиску відноситься компресорна станція КР-2, призначена для створення необхідного тиску у повітряних компенсаторах бурових насосів. Привід компресорів високого тиску здійснюється від асинхронних двигунів потужністю 7,5кВт з напругою 380В.

Електрообладнання системи освітлення бурової установки включає в себе освітлення бурової вишки, приймальних містків, робочого майданчика, лебідочного приводного та насосного блоків, блоку компресорів та території. Напруга робочого освітлення прийнята 220В, напруга ремонтна та аварійна – 12В.

1.3 Опис та призначення бурової лебідки

Лебідка - основний механізм підйомної системи бурової установки. Вона призначена для проведення наступних операцій:

- спуску і підйому колони і обсадних труб;
- утримання колони труб на вазі в процесі буріння або промивці свердловини;
- припідйомі бурильної колони і труб при нарощуванні;
- згвинчування і розгвинчування труб;
- допоміжних робіт по подачі в бурову інструменту, обладнання, труб та ін;
- підйому зібраної вишки у вертикальне положення.

Спуск колони виконують у зворотній послідовності. Тривалість підйому і спуску кожної свічки складається з машинного і машинно-ручного часу. Машинний час - це тривалість роботи головного приводу і являє собою час підйому (спуску) колони на довжину однієї свічки. Час, що витрачається на машинно-ручні операції – це час виконання допоміжних операцій

В склад бурової лебідки входить зварна рама з встановленими підйомним та трансмісійним валами, коробка передач, а також система гальмування, котра включає основний (стрічковий) і допоміжний (регулюючий) гальма, пульт управління (рис. 1.1). Всі ці механізми лебідки закриті захисними щитами [2].

Підйомний вал лебідки, отримуючи обертання від КПП, перетворює обертальний рух силового приводу в поступальний рух талевого каната, рухливий кінець якого закріплений на барабані підйомного валу.

Навантажений гак підіймається з витратою потужності, яка залежить від ваги труб, що піднімаються, а спускається під дією власної ваги труб або талевого блоку, гака і елеватора, коли елеватор опускається вниз за черговою свічкою.

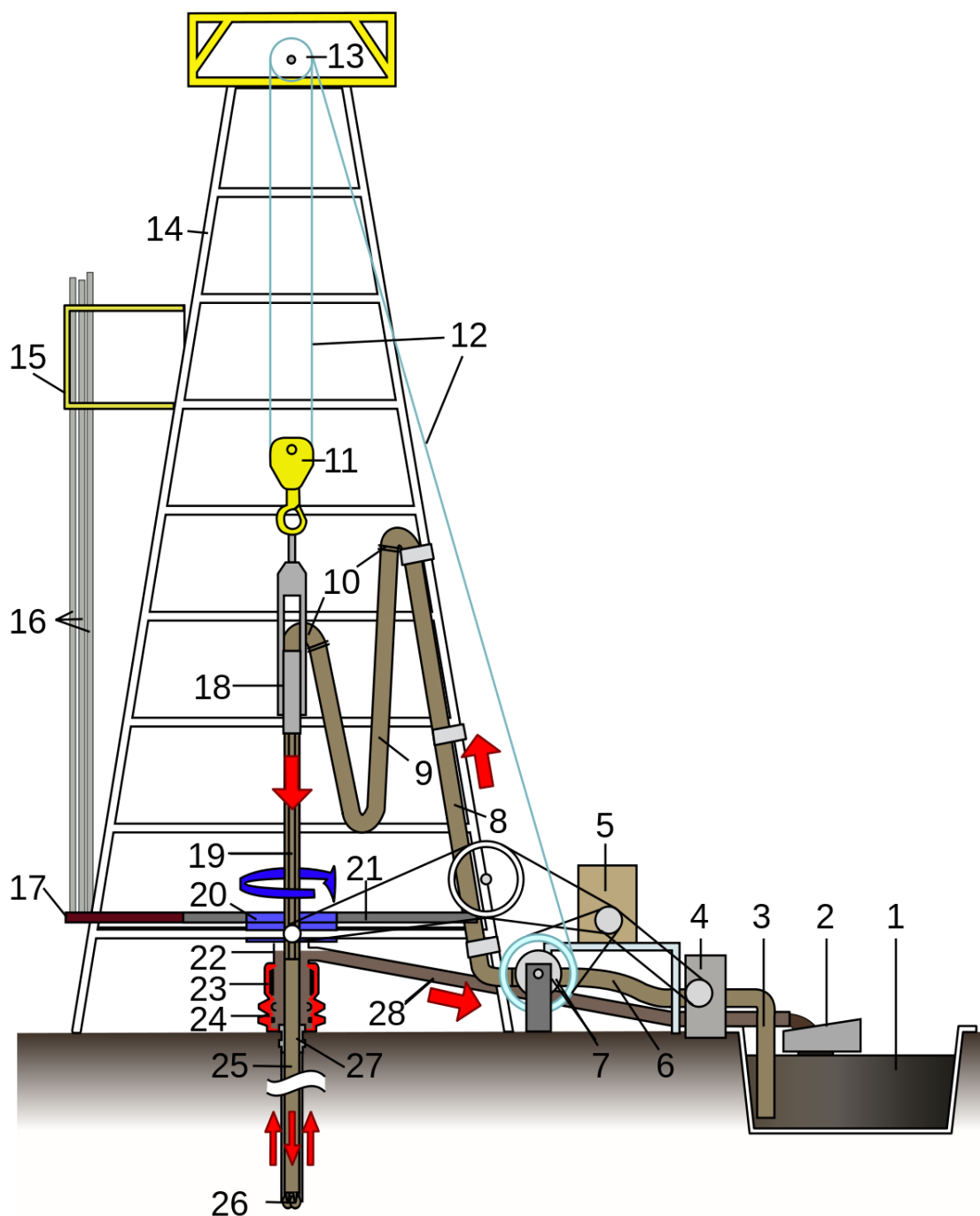


Рисунок 1.1 – Основні складові частини бурової вишки

1 — резервуар для бурового розчину, 2 — вібраційне сито, 3 — всмоктувальна труба, 4 — буровий насос, 5 — двигун, 6 — вібраційна труба, 7 — привід лебідки, 8 — бурильна труба, 9 — шланг бурильної труби, 10 — коліно труби, 11 — талевий блок, 12 — талевий канат, 13 — кронблок, 14 — стояк вишки, 15 — місце оператора, 16 — свічки, 17 — підсвічник, 18 — вертлюг, 19 — стояк, 20 — буровий ротор, 21 — бурова підлога, 23 — превентор, 24 — противикидні пристрої, 25 — бурильна колона, 26 — бурове долото, 27 — кондукторна колона, 28 — викидна лінія бурового розчину

Лебідки забезпечуються пристроями для підведення живлення при підйомі колони і гальмівними пристроями при її спуску. Під час підйому гака з ненавантаженими елеватором або лебідки виконують багатошвидкісними з механічною коробкою передач. Перемикання з вищої швидкості на нижчу і навпаки здійснюється фрикційними оперативними муфтами. Під час підйому колон різні ваги швидкості в коробках передач перемикають періодично. Лебідки виконуються трьох, чотирьох, або п'ятишвидкісними.

Бурові лебідки конструкції заводу Уралмаш, які багато використовуються в Україні, мають різні привідні системи, характеризуються високою привідною потужністю, оптимальними співвідношеннями діаметра барабана і талевого каната, обладнані надійними гальмівними системами і регуляторами подачі долота на забій, а також механізмами для правильного укладання талевого каната на барабані.

Шифр лебідки слід читати так: ЛБУ22-720 - лебідка бурова уралмашівська, натяг ходового кінця талевого каната 22 т (220 кН), розрахункова потужність на вхідному валу лебідки 720 кВт. Електрообладнання бурової лебідки ЛБУ 22-720 складається зі схем управління двигуном типу СМБОІ5-49-8УХЛ2.

Привід бурової лебідки – для приводу лебідки використовується асинхронний двигун з короткозамкненим ротором зі ступінчастим механічним регулюванням швидкості від електродвигуна типу СМБО-15-49-8УХЛ2 потужністю 540 кВт. Крутний момент передається через муфту на механічну чотириступінчасту коробку передач, яка в свою чергу обертає барабан.

Бурова лебідка має головний та аварійний приводи. Головний привід складається з електродвигуна, який з'єднується з лебідкою за допомогою пневматичної муфти типу ШПМ 500. Живлення синхронного електродвигуна здійснюється від мережі 6000 В, 50 Гц за допомогою комірок розподільного пристрою КРУНБ-6У, а живлення кола управління – напругою 380/220 В. Аварійний привод складається з асинхронного

двигуна потужністю 30 кВт, живлення якого здійснюється від мережі 380 В.

1.4 Постановка задач на кваліфікаційну роботу бакалавра

Метою модернізації системи управління процесом спускопідйомних операцій є підвищення техніко-економічних показників роботи технологічного обладнання за рахунок удосконалення системи контролю та управління, спрямованого на досягнення оптимальних режимів роботи об'єкта за рахунок заданої точності підтримки технологічного регламенту в будь-яких умовах роботи при дотриманні надійної безаварійної роботи обладнання.

Метою управління при веденні технологічного процесу є високоефективна робота технологічного об'єкта управління, що забезпечить точність роботи під час спускопідйомних операцій.

Ефективність роботи оцінюється значенням критерію управління - показником, що характеризує функціонування технологічного об'єкта управління в цілому і приймають числові значення в залежності від збурюючих і керуючих впливів. Також критерієм ефективності є надійність системи лебідки в цілому та її енергетична ефективність під час роботи. Модернізація системи керування повинна забезпечувати також зменшення простоїв лебідки під час проведення планових та непланових технічних оглядів та ремонтів. Система керування повинна виключати різкі стрибки механічного пікового навантаження на механічні частини приводу (гальмівна система, барабан, талева система).

Для реалізації даної задачі необхідно:

- проаналізувати роботу лебідки під час спускопідйомних операцій;
- розглянути процеси, що протікають в механічній частині приводу під час спускопідйомних операцій та виявити проблеми, які при цьому виникають;

- зробити розрахунок вибору електродвигуна для даної бурової лебідки та конкретної бурової установки з урахуванням особливостей місцевості та кліматичних умов, перевірити вибраний двигун на перевантажувальну здатність за моментом;
- вибрати перетворювач частоти для конкретного електродвигуна та системи керування;
- розробити функціональну схему системи керування лебідкою з метою підвищення якості регулювання;
- визначити алгоритм роботи блоків та регуляторів системи автоматичного керування;
- провести моделювання отриманої системи керування в комп'ютерному середовищі Matlab / Simulink;
- дослідити отримані результати моделювання та зробити висновки;
- модернізувати силову схему приводу лебідки.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1. Загальні відомості про застосування електроприводів лебідок

В електроприводах бурових лебідок використовують електродвигуни трифазного змінного струму (синхронні і асинхронні з короткозамкненим та фазним ротором), а також двигуни постійного струму (послідовного або паралельного збудження). Вони працюють, як правило, в повторно-короткочасному режимі при широкому регулюванні частоти обертання, причому внаслідок частих пусків та гальмувань можуть виникати великі перевантаження. Внаслідок цього двигуни бурових лебідок за характеристиками відрізняються від звичайних загальнопромислових двигунів [4].

До таких особливостей двигунів можна віднести:

- мають закрите виконання;
- достатньо високий клас нагрівостійкості по ізоляції;
- момент інерції ротора повинен бути мінімальним, а швидкість його обертання відносно невелика, це потрібно, щоб зменшити втрати в моменти перехідних процесів;
- двигуни повинні мати достатньо великий магнітний потік, щоб забезпечити значну перевантажувальну здатність по моменту;
- величина нетривалого перевантаження по моменту для бурових лебідок на базі ДПС становить 2,15 - 5,0, а для двигунів, що працюють на змінному струмі - 2,3 - 3,5;
- співвідношення максимальної до номінальної робочих частот обертання для ДПС дорівнює 3,5 - 4,9, для електродвигунів, що працюють на змінному струмі 2,5;
- для лебідочних електродвигунів змінного струму за номінальний режим прийнятий режим з тривалістю вмикання $T_B = 40\%$, а для ДПС тривалість вмикання може бути як 40%, так і 60%.

Дуже часто для приводу бурових лебідок використовують трифазні

асинхронні електродвигуни з фазним ротором, які здатні забезпечити плавний пуск механізму та регулювання швидкості при достатньо великому навантаженні на валу [19]. Такі двигуни встановлюють на лебідочних механізмах як при середньому, так і при важкому режимах роботи. Вони здатні забезпечити регулювання пускового моменту у потрібних межах і регулювати швидкість в межах (3 : 1) - (4 : 1).

Відомо, що асинхронні електродвигуни в порівнянні з ДПС такої же потужності мають більшу надійність, відносно меншу вартість, простіші в обслуговуванні та ремонті. Також вони мають в 2,2 – 3 рази меншу масу (у порівнянні з ДПС) при однакових номінальних моментах.

Якщо експлуатаційні витрати прийняти за одиницю для АД з КЗ ротором, то для двигунів з фазним ротором такі витрати будуть у п'ять разів більше, а для ДПС – у 10 разів [19].

Тому в електроприводі бурової лебідки будемо використовувати асинхронний електродвигун.

2.2. Вимоги до електроприводу бурової лебідки

Для покращення функціонування електропривод лебідки повинен відповідати наступним вимогам:

- двигун повинен бути захищений від перевантаження і коротких замикань силового ланцюга і ланцюга керування. При припиненні живлення привідного двигуна повинне автоматично вимкнутися коло управління, а після відновлення – повинен бути ввімкнений самозапуск;

- електропривід повинен мати реверс;

- високий клас нагрівостійкості обраного типу приводу повинен бути доволі високим – F або H;

- робота приводу в повторно-короткочасному режимі з $T_B = 40\%$;

- прискорення підйому гака з вантажем, як з максимальним так і пустим елеватором, не повинне перевищувати $a_{amax} = 0,3 \text{ м / с}$;

- швидкість підйому не повинна перевищувати $V_{max} = 1,4 \text{ м / с}$;

– діапазон регулювання швидкості приводу підйому D (4: 1).

Механічна частина приводу складається з рухомої частини пристрою, передавального пристрою і виконавчого органу. В загальному випадку вона являє собою складну систему елементів з різними режимами і швидкостями руху, на які впливають різні сили і моменти.

У багатодвигунних приводах зазвичай використовується декілька звичайних двигунів, але часто в них можуть застосовуватися спеціальні вмонтовані двигуни, чим забезпечується обмежене злиття елементів усього електрифікованого агрегату [4]. Спеціальні двигуни застосовуються не тільки в багатодвигунних приводах, але і в ряді одиничних приводів, де двигун і механізм конструктивно пристосовані один до одного.

2.3 Розрахунок потужності та вибір двигуна бурової лебідки

На потужність електродвигуна впливають багато параметрів, таких як діаметр барабана, швидкість підйому гака елеватора з вантажем та без нього, кількість передач, час машинних, допоміжних або ручних операцій. Діаметр барабану вибирається для кожної лебідки індивідуально виходячи з параметрів бурової вишки. Кількість передач залежать від типу коробки передач, в нашому випадку це чотирьохступінчаста коробка «УРБ 25 – Б». Передавальне число відіграє основну роль під час вибору двигуна, це число залежить від типу коробки передач, яка встановлена на лебідці.

Барабан лебідки призначений для перетворення обертової сили електроприводу в поступальний рух канату. Канат кріпиться до барабану через систему зажимних та клинових механізмів, які не дозволяють канатові від'єднатися від барабану. Канат намотується на барабан щільними витками.

Вантажопідйомність лебідки напряму залежить від діаметра барабану, чим менший діаметер барабану, тим менше зусилля потрібне для підйому вантажу, але, в свою чергу, буде й зменшення швидкості.

Коробка передач є важливим конструктивним елементом трансмісії бурової лебідки. Коробку передач лебідки характеризує кількість передач $n_{\text{п}}$

та передавальне число на кожній швидкості $i_I, i_{II}, i_{III}, i_{...n}$.

Вихідні дані для бурової лебідки ЛБУ 22 – 720 для бурової установки БУ 3200/2000 приведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні параметри механізму бурової лебідки

Параметр	Величина
Максимальне навантаження при підніманні на I, II, III, IV швидкостях, кН, Q	2000
	1600
	680
	455
Вага одного метра бурових труб Q, Н	35
Натяг тягового кінця талевого канату від однієї свічі Qx св, Н	343
Швидкість піднімання труб на I, II, III, IV швидкостях V, м/с	0,25
	0,4
	0,63
	1,25
Передавальне відношення лебідки, i, на I, II, III, IV швидкостях	25,0
	20,0
	10,5
	4,2
Кількість свічок n, на I, II, III, IV швидкостях	125
	100
	42
	28
Довжина свічки, l, м	25
Діаметр канату, D, мм	32
Момент під час машинних допоміжних операцій, Mдоп м, Н·м	2000
Час машинних допоміжних операцій, tдоп м, с	50
Час ручних допоміжних операцій, tдоп р, с	250
ККД піднімального пристрою, η	0,74

Підйом колони бурових труб полягає їх окремих циклах, число яких дорівнює кількості свічок [15].

На одну «свічку» бурильні труби переміщуються за три етапи:

1. Розгін колони протягом часу t_p , тобто збільшення швидкості від нуля

до деякого сталого значення. В зв'язку з тим, що лебідка має велику вантажопідйомність та працює з великим вантажем, час розгону двигуна до номінальної швидкості значно більший, а ніж в інших типових приводах, і складає близько 4 - 6 с.

2. Рівномірний рух зі сталою швидкістю V протягом часу t_y .

3. Уповільнення колони, тобто зменшення швидкості від сталого значення до нуля протягом часу $t_{\text{доп м}}$ та $t_{\text{доп р}}$ - час допоміжних операцій машинних та ручних. Під часом допоміжних операцій, слід розуміти час, за який проводяться такі операції, як розгвинчування та згвинчування труб, натягування талевого каната, захват свічки оператором.

За необхідності розрахунку потужності для приводу бурової лебідки відомі різні формули [15].

Ми вирішили провести розрахунок за методом еквівалентного моменту [4,19], за допомогою якої враховується не тільки зміна режиму роботи, а також і процес зменшення ваги КБТ при їх підніманні. Також тут враховуються допоміжні операції та пускові режими :

$$M_{\text{екв}} = K \cdot \sqrt{\frac{(M_1 \cdot M_2 + M_3^2 \cdot \frac{2 \cdot n^2 - 3 \cdot n + 1}{6}) \cdot t_i + \sum M_{\text{доп.м.}}^2 \cdot t_{\text{доп.м.}}}{t_i + t_{\text{доп.м.}} + 0.5 \cdot t_{\text{доп.р.}}}} \cdot 10, \text{Нм} \quad (2.1)$$

де M_1 – момент, що створюється максимально можливим вантажем при даній швидкості, Н·м;

M_2 – момент, що створюється мінімально можливим вантажем при даній швидкості, Н·м;

M_3 – момент, що створюється вагою одної свічки, Н·м;

n – число свічок, що піднімаються на даній швидкості;

t_i – тривалість робочого періоду циклу, с;

$t_{\text{доп.м.}}$ – тривалість періоду машинних операцій (допоміжних), с;

$t_{\text{доп.р.}}$ – тривалість періоду ручних операцій (допоміжних), с;

$M_{\text{доп.м.}}$ – момент, що треба розвинути двигуну при машинних операціях, (допоміжних), Н·м;

$K=(1.1\div 1.5)$ – коефіцієнт, що буде враховувати зміну швидкості механізму внаслідок зміни діаметра барабана від намотування канату.

Момент на валу двигуна, створений вантажем на гаці :

$$M = \frac{Q_x \cdot D_{\text{сер.}}}{2 \cdot i_{\text{об.}} \cdot \eta_n}, \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (2.2)$$

де Q_x – натяг тягового кінця канату, кН;

$i_{\text{об.}}$ – передавальне число від вала двигуна до барабана;

$D_{\text{сер.}}$ – середній діаметр намотування каната на барабан, приймаємо величину $D_{\text{сер.}} = 0,8$ м;

η_n – ККД передачі.

Натяг тягового кінця талевого каната при підніманні колони бурових труб на відповідній швидкості рівний [15]:

$$Q_x = Q \cdot \frac{\beta^m \cdot (\beta - 1)}{\beta^m - 1}, \text{ кН}, \quad (2.3)$$

де Q – вантаж, який піднімають на відповідній швидкості, кН;

β – величина, обернена до ККД: $\beta = 1/\eta_n = 1/0,74 = 1,351$;

m – число робочих жил, приймаємо $m = 10$.

Під кількістю робочих жил розуміють кількість ниток талевого каната, на яких підвішено талевий блок до кронблока (якщо нерухомий кінець талевого каната закріплено до верхньої серги талевого блока).

$$Q_x^I = 2000 \cdot \frac{(1.351)^{10} \cdot (1.351 - 1)}{(1.351)^{10} - 1} = 738.456, \text{ кН};$$

$$Q_x^{II} = 1600 \cdot \frac{(1.351)^{10} \cdot (1.351 - 1)}{(1.351)^{10} - 1} = 590.765, \text{ кН};$$

$$Q_x^{III} = 680 \cdot \frac{(1.351)^{10} \cdot (1.351 - 1)}{(1.351)^{10} - 1} = 251,075, \text{ кН};$$

$$Q_x^{VI} = 455 \cdot \frac{(1.351)^{10} \cdot (1.351 - 1)}{(1.351)^{10} - 1} = 168, \text{ кН.}$$

За значеннями Q_x^I , Q_x^{II} , Q_x^{III} , Q_x^{IV} визначаємо момент M_1 при роботі на I, II, III, IV швидкостях приводу бурової лебідки:

$$M_1^I = \frac{738.556 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{2 \cdot 25 \cdot 0,74} = 1,597 \cdot 10^4, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_1^{II} = \frac{590.765 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{2 \cdot 20 \cdot 0,74} = 1,597 \cdot 10^4, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_1^{III} = \frac{251.075 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{2 \cdot 10,5 \cdot 0,74} = 1,293 \cdot 10^4, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_1^{IV} = \frac{168 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{2 \cdot 4,2 \cdot 0,74} = 2,162 \cdot 10^4, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Необхідно визначити момент M_2 , що створюється найменшим вантажем при роботі на вказаних 4 швидкостях :

$$M_2^I = \frac{Q_x^{II} \cdot D_{сер.}}{2 \cdot i_{об.} \cdot \eta_n}; \quad M_2^I = \frac{590.456 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{2 \cdot 25 \cdot 0,74} = 12.773, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_2^{II} = \frac{Q_x^{III} \cdot D_{сер.}}{2 \cdot i_{об.} \cdot \eta_n}; \quad M_2^{II} = \frac{251.075 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{2 \cdot 20 \cdot 0,74} = 6,786, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_2^{III} = \frac{Q_x^{IV} \cdot D_{сер.}}{2 \cdot i_{об.} \cdot \eta_n}; \quad M_2^{III} = \frac{178 \cdot 10^3 \cdot 0,8}{2 \cdot 10,5 \cdot 0,74} = 8.649, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_2^{IV} = \frac{Q_T \cdot D_{сер.}}{2 \cdot i_{об.} \cdot \eta_n}; \quad M_2^{IV} = \frac{16000 \cdot 0,8}{2 \cdot 4,2 \cdot 0,74} = 2.059 \cdot 10^3, \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

IV момент виникає від ваги талевої системи (без врахування ваги інструменту). Аналогічно можна розрахувати момент M_3 , що створюється вагою однієї «свічки» ($Q_{x св.}$) при виконанні операцій на 4 швидкостях: (M_3^I , M_3^{II} , M_3^{III} , M_3^{IV}).

$$M_3^I = \frac{Q_{x св.} \cdot D_{сер.}}{2 \cdot i_{об.} \cdot \eta_n}; \quad M_3^I = \frac{5200 \cdot 0,8}{2 \cdot 25 \cdot 0,74} = 112.432 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_3^{II} = \frac{Q_{x\text{ св.}} \cdot D_{\text{сер.}}}{2 \cdot i_{\text{об.}} \cdot \eta_n}; \quad M_3^{II} = \frac{5200 \cdot 0,8}{2 \cdot 20 \cdot 0,74} = 140,541 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_3^{III} = \frac{Q_{x\text{ св.}} \cdot D_{\text{сер.}}}{2 \cdot i_{\text{об.}} \cdot \eta_n}; \quad M_3^{III} = \frac{5200 \cdot 0,8}{2 \cdot 10,5 \cdot 0,74} = 267,696 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_3^{IV} = \frac{Q_{x\text{ св.}} \cdot D_{\text{сер.}}}{2 \cdot i_{\text{об.}} \cdot \eta_n}; \quad M_3^{IV} = \frac{5200 \cdot 0,8}{2 \cdot 4,2 \cdot 0,74} = 669,241 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Якщо враховувати число "свічок", що будуть підніматися на 4-х швидкостях, можна визначити час підйому "свічок" для кожної зі швидкостей : $t_i^I, t_i^{II}, t_i^{III}, t_i^{IV}$

$$t_i = \frac{l \cdot n'}{\nu}, \quad (2.4)$$

де l – довжина кожної свічки, м;

ν – швидкість її підйому, м/с;

n' – число свічок.

$$t_1 = \frac{25 \cdot 125}{0,25} = 12500 \text{ с};$$

$$t_2 = \frac{25 \cdot 100}{0,4} = 62500 \text{ с};$$

$$t_3 = \frac{25 \cdot 42}{0,63} = 16670 \text{ с};$$

$$t_4 = \frac{25 \cdot 28}{1,25} = 560 \text{ с}.$$

Визначаємо Мекв на I, II, III, IV швидкостях за формулою (2.1), кН·м

$$M_{\text{екв}}^I = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{(1,597 \cdot 10^4 \cdot 12,773 + 112,432^2 \cdot \frac{2 \cdot 125^2 - 3 \cdot 125 + 1}{6}) \cdot 12500 + \sum 2000^2 \cdot 50}{12500 + 45 + 0,5 \cdot 250}} = 8,812 \cdot 10^3;$$

$$M_{\text{екв}}^{II} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{(1,597 \cdot 10^4 \cdot 6,786 + 140,432^2 \cdot \frac{2 \cdot 100^2 - 3 \cdot 100 + 1}{6}) \cdot 62500 + \sum 2000^2 \cdot 45}{62500 + 45 + 0,5 \cdot 250}} = 8,739 \cdot 10^3;$$

$$M_{\text{екв}}^{III} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{(1,293 \cdot 10^4 \cdot 8,649 + 267,72^2 \cdot \frac{2 \cdot 42^2 - 3 \cdot 42 + 1}{6}) \cdot 16670 + \sum 2000^2 \cdot 45}{16670 + 45 + 0,5 \cdot 250}} = 6,681 \cdot 10^3;$$

$$M_{\text{екв}}^{IV} = 1,1 \cdot \sqrt{\frac{(2,162 \cdot 10^4 \cdot 2,059 \cdot 10^3 + 669,241^2 \cdot \frac{2 \cdot 28^2 - 3 \cdot 28 + 1}{6}) \cdot 560 + \sum 2000^2 \cdot 45}{560 + 45 + 0,5 \cdot 250}} = 1,013 \cdot 10^4$$

В результаті проведеного розрахунку можна визначити потрібну потужність двигуна на усіх швидкостях та його середню потужність.

$$P_{екв.сер} = \frac{P_{екв.1} + P_{екв.2} + P_{екв.3} + P_{екв.4}}{4}, \text{ кВт}, \quad (2.5)$$

$$\text{де } P_{EKB.i} = \frac{M_{EKB.i} \cdot n_i}{9550}, \text{ кВт},$$

тут n – швидкість в об/хв.:

$$n = \frac{V \cdot i_3 \cdot K_n \cdot 60}{\pi \cdot D_{сер}},$$

$$n_1 = \frac{0,25 \cdot 25 \cdot 4 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,8} = 597,134 \text{ об/хв};$$

$$n_2 = \frac{0,4 \cdot 20 \cdot 4 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,8} = 764,331 \text{ об/хв};$$

$$n_3 = \frac{0,64 \cdot 10,5 \cdot 4 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,8} = 632,006 \text{ об/хв};$$

$$n_4 = \frac{1,25 \cdot 4,2 \cdot 4 \cdot 60}{3,14 \cdot 0,8} = 501,59 \text{ об/хв}.$$

Отже

$$P_{EKB1} = \frac{M_{EKB}^I \cdot n_1}{9550} = \frac{8,812 \cdot 10^3 \cdot 597,134}{9550} = 550,96 \text{ кВт};$$

$$P_{EKB2} = \frac{M_{EKB}^{II} \cdot n_2}{9550} = \frac{8,739 \cdot 10^3 \cdot 764,331}{9550} = 699,44 \text{ кВт};$$

$$P_{EKB3} = \frac{M_{EKB}^{III} \cdot n_3}{9550} = \frac{6,681 \cdot 10^3 \cdot 632,006}{9550} = 442,148 \text{ кВт}.$$

$$P_{EKB4} = \frac{M_{EKB}^{IV} \cdot n_4}{9550} = \frac{1,013 \cdot 10^4 \cdot 501,59}{9550} = 532,003 \text{ кВт}.$$

$$P_{сер} = \frac{550,96 + 669,44 + 442,148 + 532,003}{4} = 556,139 \text{ кВт}.$$

За розрахунковими даними з каталогу продукції електроприводу вибираємо двигун для приводу лебідки.

Однією із важливих умов вибору двигуна приводу бурової лебідки є сучасність приводу та, відповідно, його вартість [19]. Вибір електроприводу проводиться за такою умовою:

$$P_{\text{дв}} \geq P_{\text{екв}}$$

В таблиці 2.2 записані номінальні параметри обраного двигуна типу А4 - 450У - 8УЗ, який живиться від мережі 6000 В та частоті мережі 50 Гц.

Таблиця 2.2 - Параметри двигуна А4 - 450У - 8УЗ

Найменування	Позначення	Величина
Потужність номінальна, кВт	P_n	630
Напруга живлення, В	U_n	6000
Частота мережі, Гц	$f_{S.ном}$	50
Швидкість оберт. номінальна., об/хв	n	750
Момент інерції ротора, кг*м	J_{θ}	49
Струм номінальний А	I_n	500,000
ККД, %	η	0,945
Номінальне ковзання	S_n	1.4
Кількість пар полюсів	p	4
Cos φ	$\cos \varphi$	0,830
Момент номінальний, Н*м	M_N	8022
Момент максимальний, Н*м	$M_{макс}$	15242
Момент критичний, Н*м(кг*м ²)	$M_{к}$	60000
Параметри схеми заміщення:		
Індуктивний опір. гол. магн. кола, в.о.	l_m	1,092
Активний опір. стат. кола, в.о.	r_s	0,030
Індук. опір. расс, стат. кола, в.о.	l_{sy}	0.088
Активний опір. ротор. кола, в.о.	r_r	0.012
Індук. опір. расс, рот. кола, в.о.	l_{ry}	0,013

Після вибору потужності двигун треба перевірити на перевантажувальну здатність за моментом:

$$\frac{M_{\max}}{M_{\text{НОМ}}} \leq \lambda_M, \quad (2.6)$$

де $M_{\max} = M_{\text{екв}}^I = 8,812 \cdot 10^3$ Н·м – максимальний момент;

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{д.НОМ}}}{n_{\text{НОМ}}} = \frac{630}{750} \cdot 9550 = 8.022 \cdot 10^3 \text{ Н·м} – \text{номінальний момент};$$

λ_M – коефіцієнт перевантажувальної здатності за моментом

$$\frac{M_{\max} \cdot n_1}{M_{\text{НОМ}} \cdot n_{\text{НОМ}}} = \frac{8,812 \cdot 10^3 \cdot 597,134}{750 \cdot 8.022 \cdot 10^3} = 0.874 < 2,6.$$

Так як умова виконуються, то двигун вибраний вірно.

Проведемо перевірку обраного двигуна на умови перевантаження та на перегрівання під час пуску.

Відомо, що потужність двигуна повинна відповідати навантаженню: якщо двигун має недостатню потужність, то він буде часто перевантажуватися і виходити з ладу. Якщо ж двигун матиме завищену потужність, то він буде мати невиправдано високу вартість, буде споживати більшу енергію, тобто матиме нижчий ККД і $\cos \varphi$.

Фактором, що може обмежувати навантаження на електродвигун, є нагрівання ізоляції обмоток, причому незначне перебільшення температури ізоляції порівняно з нормативним рівнем призводить до передчасного зносу обмоток і виходу двигуна з ладу. Наприклад, для ізоляції двигунів класу А перебільшення допустимої температури нагріву на 8...10 °С може скоротити строк її служби майже вдвічі. Відомі шість класів ізоляції, найменшу температуру перегріву витримує ізоляція класу А (105°С), а найбільшу – класу Н (180°С). В сучасних електродвигунах найчастіше використовують клас В (130°С) та F (155°С).

Перевірка двигуна на перенавантаження як раз і полягає в порівнянні цієї температури, що він має при найбільшому навантаженні з температурою, яка є допустимою для його класу ізоляції [4].

Зазвичай перевірку нагріву двигуна проводять по температурі перегріву τ , яка представляє собою різницю між температурою самого двигуна t° і температурою навколишнього середовища (НС) $t^\circ_{\text{НС}}$

$$\tau = t^\circ - t^\circ_{\text{НС}}.$$

Для проведення теплових розрахунків приймаємо стандартну температуру довкілля, рівну 40°C , котрій і повинна відповідати номінальна потужність, що зазначена на щитку двигуна. При більш низькій температурі НС двигун можна навантажувати вище за номінальну потужність, а при більш високій температурі - навантаження треба знижувати, або треба вживати заходи для додаткового охолодження двигуна. Також можна використати двигун більшої потужності.

Таким чином, можна зробити висновок, що двигун може працювати, не перегріваючись, якщо його максимальний статичний момент навантаження не перевищує номінального моменту, тоді буде виконуватися умова:

$$\tau_{\text{роб}} \leq \tau_{\text{дпд}},$$

де $\tau_{\text{роб}}$ – температура перегріву при роботі двигуна;

$\tau_{\text{дпд}}$ – допустима температура перегріву двигуна, що визначається його класом ізоляції.

В якості $\tau_{\text{роб}}$ при перевірці вибирають середній, або максимальний перегрів за певний час роботи приводу. Якщо орієнтуватися на середній перегрів, то буде найбільш повне використання потужності двигуна. Якщо ж орієнтуватися на максимум перегріву, то двигун може бути недовикористаним за його потужністю [4].

При розрахунку двигуна лебідки прийmemo такі припущення:

- вважаємо, що магнітний потік і опір ланцюгів двигуна не змінюються;
- постійні втрати потужності не враховуються. Роботу двигуна на ділянках пуску і гальмування не беремо до уваги;
- даний цикл роботи відповідає повторно - короткочасного режиму.

Розраховуємо номінальну кутову швидкість і номінальний момент при номінальній $TB_{\text{НОМ}}$ двигуна:

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{\pi n_{\text{НОМ}}}{30}; \quad (2.7)$$

$$\omega_{\text{НОМ}} = \frac{3.14 \cdot 750}{30} = 78.5 \frac{\text{рад}}{\text{сек}}.$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\omega_{\text{НОМ}}} \quad (2.8)$$

$$M_{\text{НОМ}} = \frac{630000}{78.5} = 8022 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Знаходимо реальну тривалість включення двигуна в циклі. Із характеристики роботи бурової лебідки слідує, що $TB_{\text{реал}} = 35\%$.

Визначаємо еквівалентний середньоквадратичний момент навантаження за час роботи:

$$M_{\text{екв.сер}} = \sqrt{\frac{M_{\text{екв}}^I + M_{\text{екв}}^{\text{II}} + M_{\text{екв}}^{\text{III}} + M_{\text{екв}}^{\text{IV}}}{4}}; \quad (2.9)$$

$$M_{\text{екв.сер}} = \frac{8.812 \cdot 10^3 + 8.739 \cdot 10^3 + 6.681 \cdot 10^3 + 1.013 \cdot 10^4}{4} = 8591 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Перераховуємо цей момент до стандартного значенням $TB_{\text{НОМ}} = 40\%$.

$$M_{\text{с.ст}} = M_{\text{екв.сер}} \sqrt{\frac{TB_{\text{реал}}}{TB_{\text{НОМ}}}}; \quad (2.10)$$

$$M_{\text{с.ст}} = 8591 \cdot \sqrt{\frac{35}{40}} = 7920,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Так як отримане значення

$$M_{\text{с.ст}} = 7920,5 \text{ Н} \cdot \text{м} < M_{\text{НОМ}} = 8022 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

то вважаємо, що середній момент двигуна бурової лебідки при роботі в такому циклі не буде перевищувати допустимого рівня і двигун буде достатньо завантажений і не буде перегріватися.

2.4. Опис сучасних перетворювачів частоти

В наш час у нафтовидобувній промисловості постає проблема вдосконалення усіх технологічних процесів, а також підвищення надійності обладнання нафтовидобувних промислів і магістральних газопроводів для зниження вартості видобутку нафти і газу, а також для зниження відпускних цін на це паливо. Це є засобом для зниження енергоємності валового національного продукту.

Здебільшого на нафтових промислах використовують нерегульовані електродвигуни з незмінною швидкістю обертання [3]. При цьому можливі шкідливі динамічні впливи на обладнання в пускових режимах, така робота призводить до частих поломок обладнання, і як наслідок, до простоїв для ремонту та заміни деяких вузлів.

Прямі пуски асинхронних та синхронних електродвигунів, що працюють на напрузі живлення 6 та 10 кВ, можуть супроводжуватися значними стрибками пускових струмів, які досягають 6 - 8 кратного значення відносно їх номінального струму.

Такі стрибки струму унеможливають пуск в роботу потужних двигунів в разі їх електропостачання від газотурбінних, дизельних чи інших електростанцій з обмеженою потужністю.

В наш час все більше розглядають застосування електроприводів з регульованою частотою обертання як ключ до значного збереження енергії, внаслідок чого підвищується рентабельність і конкурентоспроможність підприємств, поліпшується екологічна обстановка. Принцип економії електроенергії регульованим електроприводом вельми простий: регулювання здійснюється не заслінками, засувками, шиберами, а зміною швидкості обертання валу електропривода.

Застосуванням регульованого електроприводу в нафтовій промисловості забезпечується [19]:

- потрібні швидкісні характеристики приводу бурових лебідок у всіх чотирьох квадрантах механічних характеристик;

- економія до 30-40% енергії, споживаної двигунами;
- плавний пуск і гальмування високовольтних двигунів без великих стрибків струмів;
- плавне регулювання частоти обертання від 0,1 до 120 Гц в замкнутому і розімкнутому контурі;
- зростання надійності роботи і збільшення ресурсу електродвигунів, а також наведених ними агрегатів і механізмів за рахунок оптимізації їх роботи в широкому діапазоні зміни навантажень;
- зниження аварійності обладнання і зменшення витрат на ремонт і обслуговування, а також скорочення аварійних простоїв виробництва;
- повний захист двигуна від надструмів і позаштатних режимів експлуатації;
- можливість створення замкнутих систем асинхронного електроприводу з точною підтримкою потрібних технологічних параметрів.

Розглянемо роботу перетворювача частоти (ПЧ) з проміжною ланкою постійної напруги (інвертор напруги). Ця група ПЧ є найбільш значною і домінує в діапазоні потужностей від 0,5 до декількохсот кіловат. Інвертори з проміжною ланкою постійного струму (інвертори струму) є економічними тільки при потужностях вище 20 кВт і призначені, в основному, для автономних електроприводів. З цих причин інвертори напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) мають перевагу в середньому діапазоні потужностей.

Головною перевагою дволанкових ПЧ з проміжною ланкою постійного струму є те, що на виході такого перетворювача можна отримати широкий діапазон частот, який є незалежним від частоти мережі живлення і може повністю покривати потреби електроприводів різного призначення. Також можливо для таких ПЧ використовувати відносно прості силові схеми і схеми управління перетворювачами для електроприводів з невисокими вимогами в

частині діапазону регулювання, швидкодії та інших показників.

До основних недоліків ПЧ з проміжною ланкою постійного струму можна віднести те, що відбувається дворазове перетворення енергії, а це може збільшити втрати енергії, а також збільшити масогабаритні показники перетворювача і приводу в цілому [9].

Важливим параметром ПЧ є частота модуляції вихідної напруги. Оптимальний вибір цього параметра створює по суті варіаційну задачу, зміст якої визначає деякі суперечливі фактори.

Якщо збільшувати частоту ШІМ, то можна отримати ряд переваг:

- підвищення динамічної точності відтворення широтно - імпульсними модуляторами вхідних задавальних впливів;
- розширення робочого діапазону частот для системи «Перетворювач – двигун»;
- зменшення амплітуди пульсацій струмів, поточозчеплення і електромагнітного моменту двигуна;
- зменшення додаткового шуму двигуна (можна відмовитися від вихідних фільтрів);
- створюються можливості для підвищення швидкодії.

Одночасно при підвищенні частоти ШІМ можна отримати й негативні явища:

- при підвищенні частоти комутації також можна отримати збільшення комутаційних втрат в інверторі, і внаслідок цього - зниження його корисної потужності;
- можна отримати збільшення діючих значень ємнісних струмів в кабелях живлення, що також знижує ККД;
- виникає проблема обмеження перенапруг від електромагнітних хвиль в колі навантаження.

Відомо, що використання перетворювачів частоти на IGBT транзисторах дозволяє збільшувати діапазон регулювання швидкостей електродвигуна, що

підвищує швидкодію та ефективність роботи приводу. При використанні приводу з векторною системою керування такі перетворювачі на низьких частотах обертання можуть працювати без зворотного зв'язку. А при більш високій частоті використання схем на IGBT разом з мікропроцесорною системою керування дозволяє знижувати рівень вищих гармонік, які є характерними для тиристорних перетворювачів [9].

Таким чином знижуються втрати в обмотках і магнітопроводі двигуна, що приводить до зменшення його нагріву. Також схеми на транзисторах IGBT транзисторах в порівнянні з тиристорними перетворювачами мають менші габарити, масу та підвищену надійність в силу модульного виконання електронних ключів, кращого тепловідведення з поверхні модуля.

І хоча на сьогоднішній день схеми низьковольтних перетворювачів на IGBT у порівнянні з тиристорними схемами, мають більш вищу ціну на одиницю вихідної потужності, однак по співвідношенню ціна / якість, виходячи з перерахованих переваг, вони все ж таки виграють у тиристорних перетворювачів.

Проведемо перерахунок потужності для визначення необхідної потужності векторного перетворювача частоти:

P_d – розрахункова потужність обраного двигуна, - 630000 Вт;

η_d – ККД двигуна, - 0,945;

$P_{спч}$ - розрахункова потужність статичного перетворювача частоти.

Розрахунок потужності:

$$P_{спч} = \frac{P_d}{\eta_d}, \text{ кВт} \quad (2.11)$$

$$P_{спч} = \frac{630000}{0,945} = 666667 \text{ Вт} \approx 667 \text{ кВт.}$$

За проведенням розрахунком отримано, що потужність статичного перетворювача частоти повинна бути не менше 667 кВт.

Бурова лебідка є складною і дорогою електромеханічною системою. Технологічно, підйом колон - складний і відповідальний процес, який не

допускає зупинок, простоїв і аварійних ситуацій. З огляду на ці два фактори, пошук оптимальних режимів роботи лебідки на об'єкті є непростим і ризикованою завданням, для вирішення якої не завжди є відповідні можливості. З огляду на ці фактори, можна сказати, що моделювання регульованої лебідки на стадії проектування є перспективним способом визначення оптимальних режимів роботи агрегату в заданих умовах нафтовидобувної галузі. Це дозволить значною мірою уникнути труднощів роботи на об'єкті, зменшити кількість невимушених зупинок лебідки і порушень роботи газотранспортної системи.

Моделювання також дозволяє випробувати і відпрацювати нові технічні рішення, без необхідності створення складного і дорогого прототипу. Як вже зазначалося, найбільш перспективною топологією перетворювача частоти для лебідки на сьогоднішній день є топологія багаторівневого інвертора напруги з каскадним з'єднанням інверторних осередків в кожній фазі [9].

3 МОДЕЛЮВАННЯ ПРИВОДУ ЛЕБІДКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ СПУСКОПІДЙОМНИХ ОПЕРАЦІЙ

3.1 Розробка моделі

Моделювання проводимо, користуючись методикою [7]. Проведемо розробку моделі багаторівневого інвертора напруги в системі MATLAB (рис. 3.1). Маємо електропривід бурової лебідки з двигуном потужністю 630 кВт. В схему моделі включаємо 15 симетричних інверторних блоків (в кожній фазі по п'ять послідовно з'єднаних комірок), що разом забезпечить подачу на двигун напруги 6 кВ. Ці 15 блоків отримують окреме живлення від вихідних обмоток багатообмотувального трансформатора, на вхід цього трансформатора подається змінна напруга 6 кВ частотою 50 Гц.

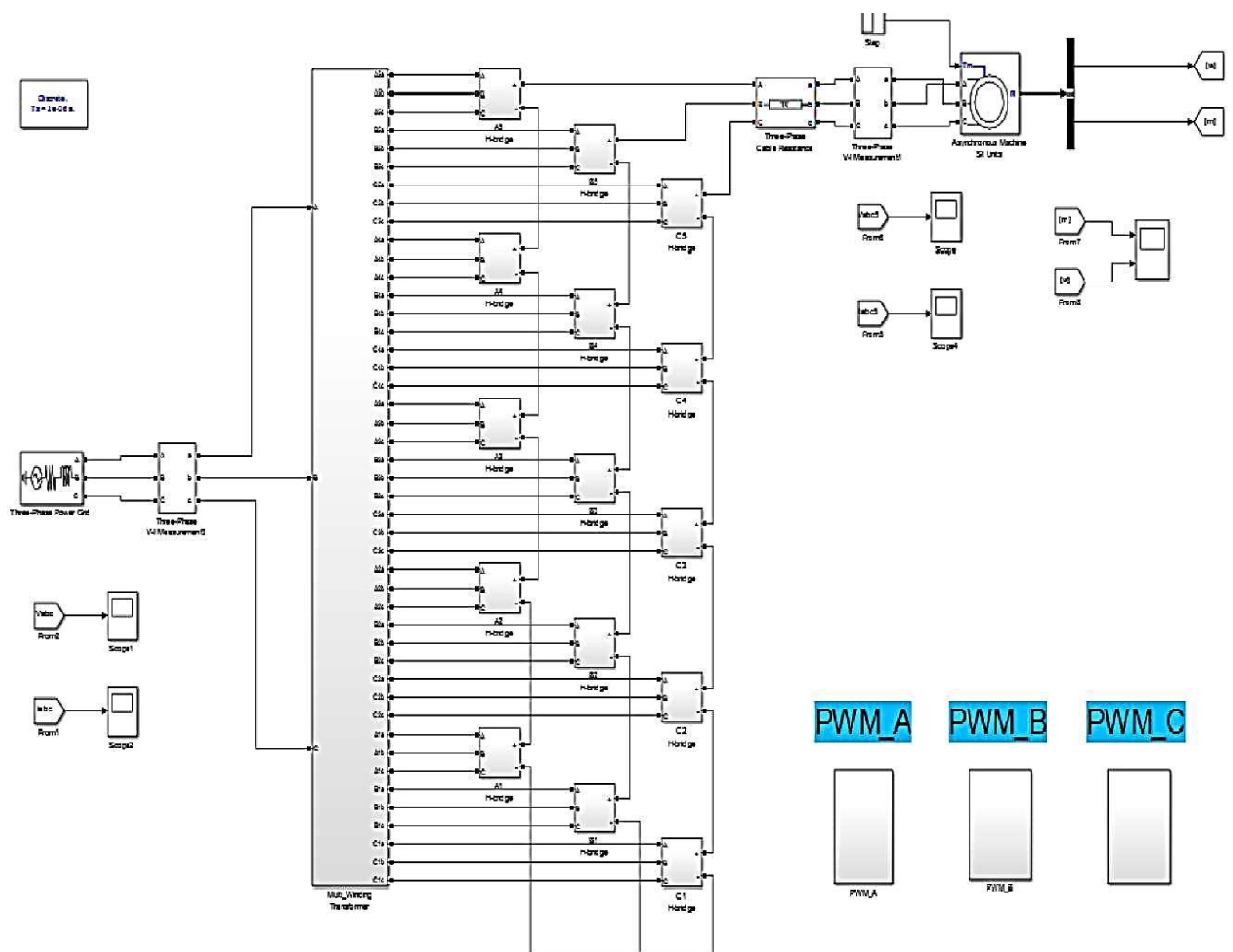


Рисунок. 3.1 – Модель інвертора напруги в пакеті MATLAB

Величину діючої напруги для кожної комірки можна визначити таким чином:

$$U_{2n} = \frac{U_{\text{л}}}{k \cdot \sqrt{3}} \quad (3.1)$$

де k – число комірок у кожній фазі.

Фазну напругу у навантаженні розраховуємо шляхом додавання напруг послідовно з'єднаних комірок.

Значення кута зсуву вектора вторинної напруги визначаємо за виразом:

$$\varphi = \frac{60}{k} \cdot n_1 \quad (3.2)$$

де $n_1 = 1, 2, 3 \dots \frac{k-1}{z}$.

Модель інвертора напруги в пакеті MATLAB (рис. 3.1) включає наступні блоки [9]:

- блок Three-Phase Power Grid – трифазне джерело змінної синусоїдальної напруги, що імітує трифазну промислову мережу напругою 6000 В, частотою 50 Гц;
- блок Multi_Winding Transformer – багатообмотковий трансформатор;
- блоки A1-A5, B1-B5, C1-C5 – інверторні комірки H-bridge;
- блок Three-Phase Cable Resistance – моделює резистивний опір кабельної лінії від перетворювача до затискачів електродвигуна;
- блок Asynchronous Machine – моделює трифазний АД потужністю 630 кВт, що працює на напрузі 6 кВ;
- блоки PWM_A, PWM_B, PWM_C – призначені для формування ШІМ для інверторних комірок відповідних фаз.

Якщо з'єднати стандартні блоки Zigzag Fase - Shifting Transformer, то можна отримати модель багатообмоткового трансформатора, при цьому треба встановити завдання потрібного фазового зсуву для кожної вторинної обмотки.

Модель системи керування двигуном лебідки представляє поєднання двох блоків: завдання швидкості та керування інвертором. Блок розрахунку сигналів керування інвертором складається, у свою чергу, з наступних блоків: регулятора поточечплення ротора двигуна, регулятора швидкості та блоку обчислення фазних напруг.

В якості регулятора швидкості представлений ПІ - регулятор, на вхід котрого надходять як сигнал завдання потрібної швидкості, так і сигнал зворотного зв'язку [8]. Величини струмів по двох осях i_d та i_q представлені блоком *abc_to_dq Transformation*. На його вхід подані сигнали зворотного зв'язку фазних струмів статора, а також обчислені величини \sin та \cos кута положення вектора потокозчеплення ротора:

$$\begin{aligned} i_q &= \frac{2}{3} \cdot \left[i_a \cdot \cos\theta + i_b \cdot \cos\left(\theta - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) + i_c \cdot \cos\left(\theta - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \right], \\ i_d &= \frac{2}{3} \cdot \left[i_a \cdot \cos\theta + i_b \cdot \sin\left(\theta - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) + i_c \cdot \sin\left(\theta - \frac{2 \cdot \pi}{3}\right) \right]. \end{aligned} \quad (3.3)$$

В якості блоків PWM_A, PWM_B, PWM_C (блоків формування і розподілу імпульсів управління) представлені ШІМ генератори, котрі призначені для передачі імпульсів керування транзисторам Н-мостових осередків відповідної величини [9].

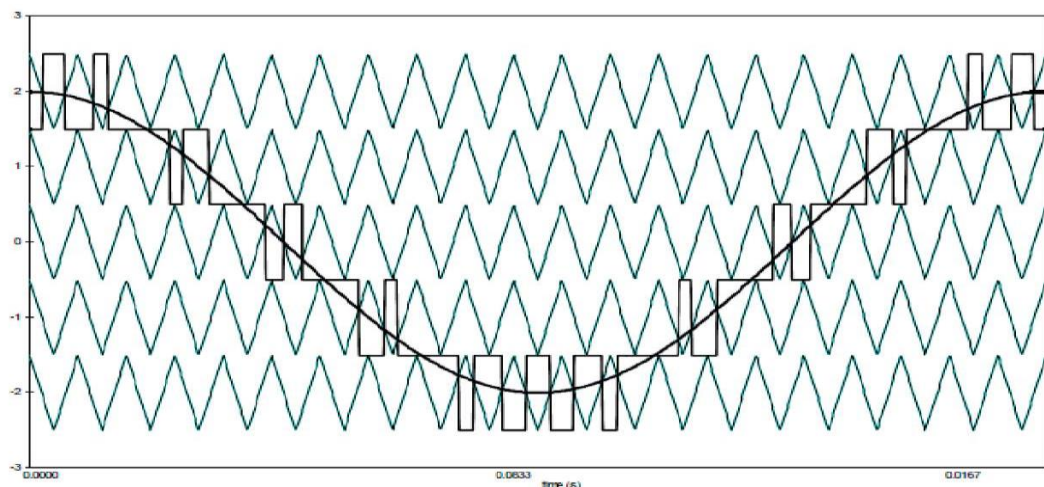


Рисунок 3.2 - Формування імпульсів керування транзисторами

Для формування цих імпульсів транзисторами кожної фази проводиться порівняння п'яти рівнів пилкоподібної опорної напруги і однієї огибаючої \sin -ї форми потрібної частоти (рис. 3.2).

Таким чином, ми розробили модель приводу бурової лебідки з перетворювачем частоти, за допомогою котрої проведемо перевірку роботи цього приводу в статичному та динамічному режимах.

3.2 Аналіз результатів моделювання

В результаті моделювання було отримано наступні характеристики:

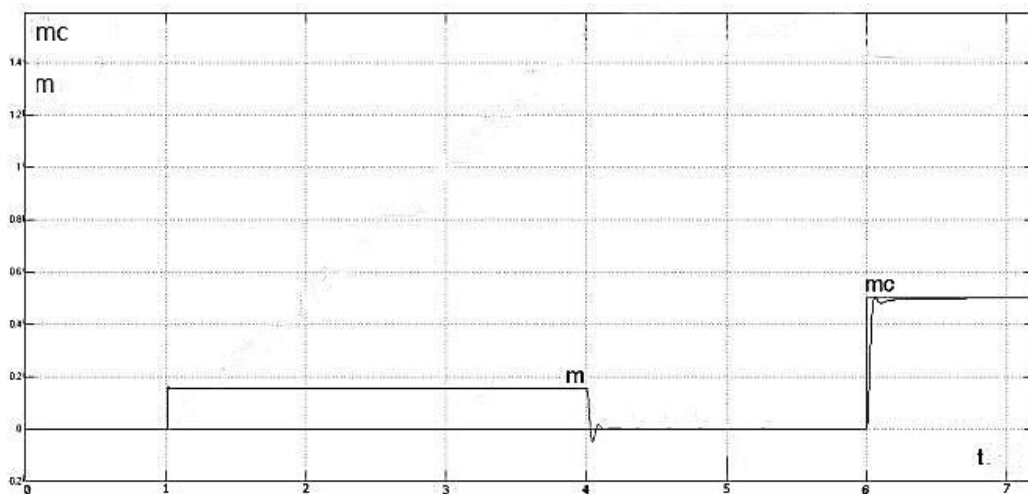


Рисунок 3.3 - Діаграма перехідного процесу за моментом m і моментом опору mc під час роботи на холостому ході бурової лебідки

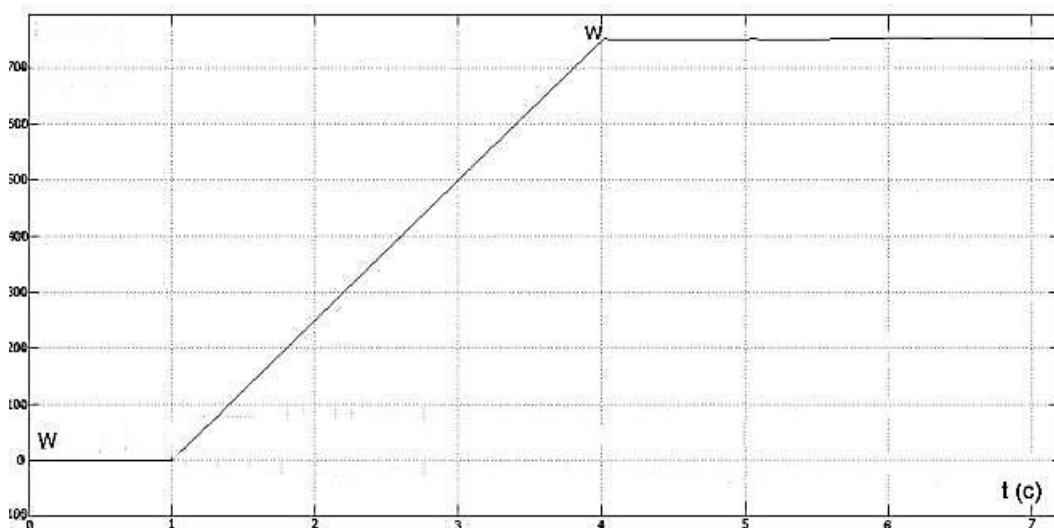


Рисунок 3.4 - Діаграма перехідних процесів за швидкістю на холостому ході бурової лебідки

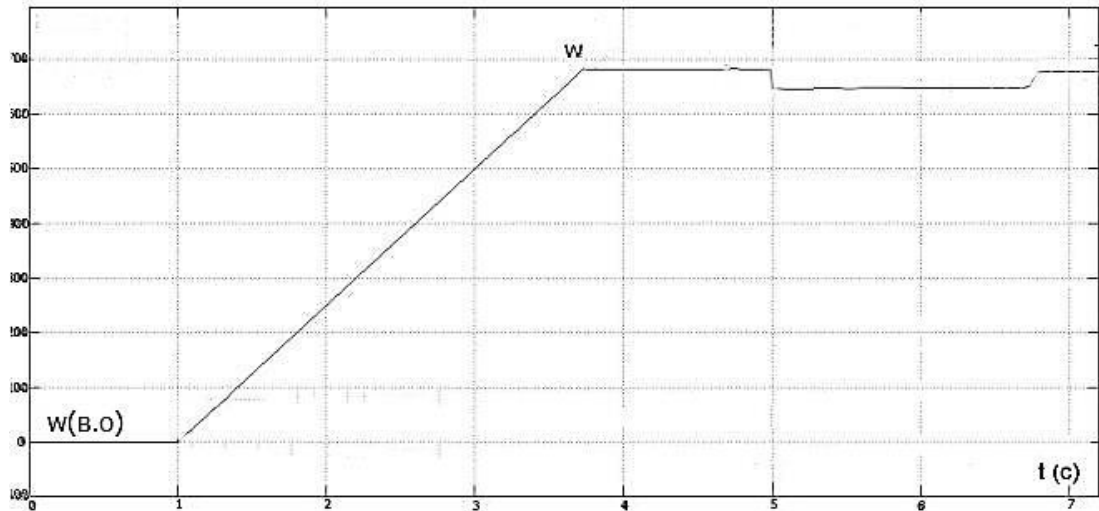


Рисунок 3.5 - Діаграма перехідного процесу за швидкістю під час подачі навантаження на гак лебідки та зняття навантаження

На рисунку 3.6 забражено графік перехідного процесу за моментом та швидкістю приводу лебідки з максимальним навантаженням на елеваторі (гак лебідки). Під максимальним навантаженням розуміється максимальна вага свічок, які можуть підійматися на конкретній буровій установці, а саме 128 бурових свічок, при цьому вага однієї свічки дорвнює 875 кг, отже сумарна вага буде становити близько 112 тонн.

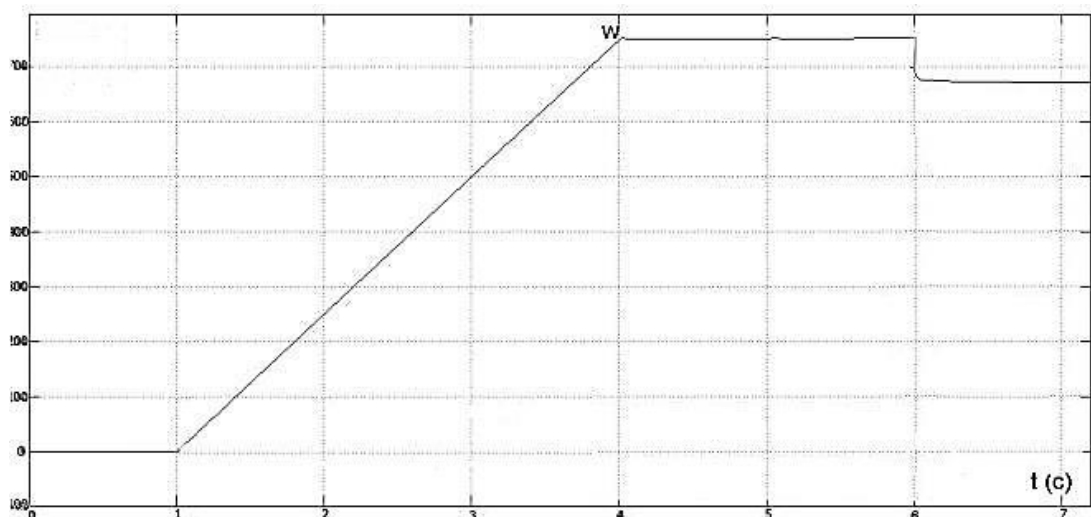


Рисунок 3.6 – Перехідний процес за швидкістю при максимальному навантаженням на елеваторі

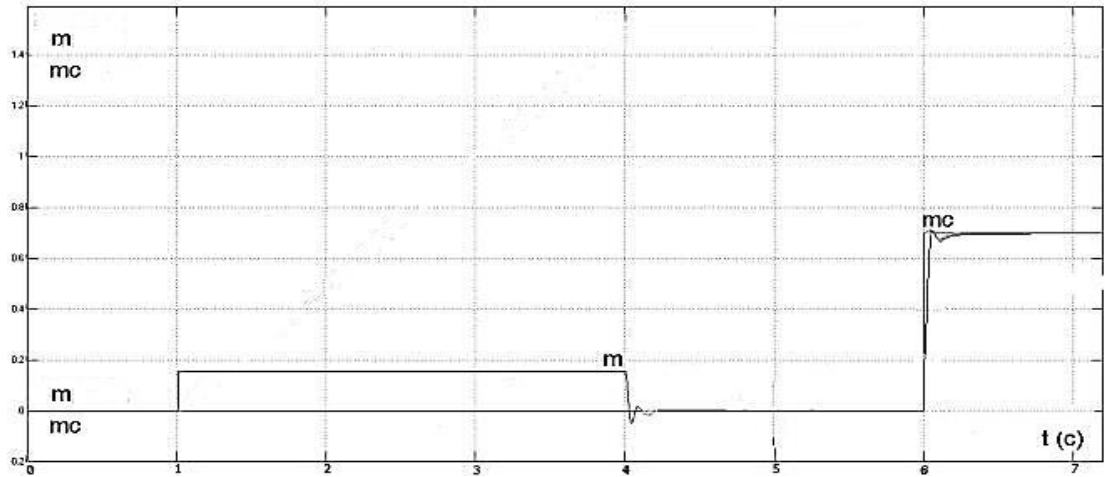


Рисунок 3.7 – Перехідні процеси за моментом і моментом опору під час підйому максимального навантаження

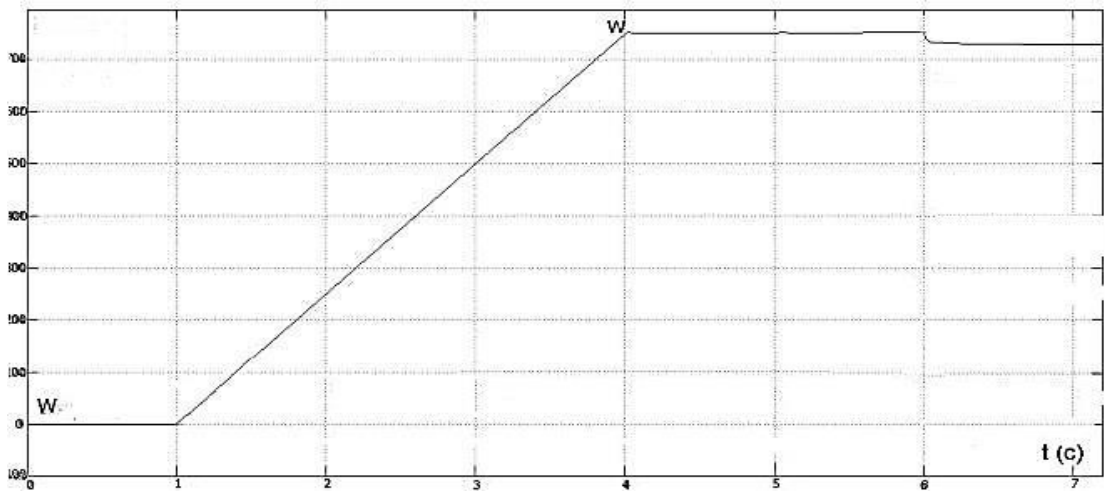


Рисунок 3.8 – Перехідний процес за швидкістю під час підйому мінімального навантаження

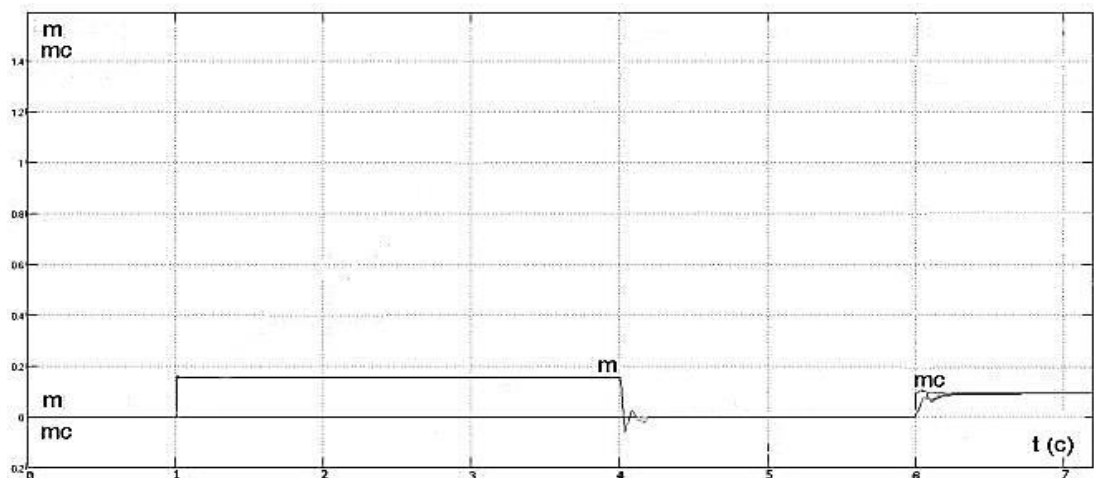


Рисунок 3.9 – Перехідний процес за моментом і моментом опору під час підйому мінімального вантажу лебідкою

Як видно з графіків, процеси в системі протікають так, як і було потрібно при синтезі регуляторів і оцифруванні результатів регулювання. Відпрацювання системою завдання за швидкістю проходить нормально. Далі система розганяється до швидкості 750 об/хв і працює в сталому режимі до часу 6 с. У цей момент подається момент опору. З діаграми видно, що при появі моменту опору момент машини встановився на даному значенні моменту опору. Потрібно відзначити, що зі зміною швидкості відбувається незначна просадка. Просадка напруги живлення відбувається в момент часу 5 с. Далі система продовжила працювати в нормальному режимі. Також можна зробити висновки, що під час навантаження система працює нормально і повністю задовольняє поставленим вимогам електроприводу.

З отриманих графіків перехідних процесів можна зробити наступну оцінку якості системи:

$$\text{Перерегулювання системи } \delta = \frac{h_{max} - h_{nom}}{h_{nom}} = \frac{0,6 - 0,5}{0,5} = 0,2 = 20\%.$$

$$\text{Час регулювання } T_{рег} = 0,18 \text{ с.}$$

$$\text{Час перерегулювання дорівнює } t_{п} = 0,65 \text{ с.}$$

Коливальність перехідного процесу:

- число коливань – 1;
- ступінь затухання $\Psi = \frac{b_1 - b_2}{b_1} = \left[\frac{0,39 - 0,5}{0,39} \right] = 0,28$;
- період коливань $T = 0,13 \text{ с.}$

Робимо висновок, що система задовольняє заданим вимогам по якості.

3.3 Вибір перетворювача частоти

Спираючись на проведені дослідження математичної моделі, проведемо вибір перетворювача частоти. Вибираємо високовольтний перетворювач фірми Omron типу Yaskawa серії FSDrive-MV1S, який можна використовувати як при змінному (підйомні механізми), так і при постійному моменті на валу

двигуна (вентилятори, екструдери і т.ін.). Характеристики перетворювача приведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика перетворювача частоти Yaskawa серії FSDrive - MV1S

Найменування	Величина
Діапазон напруг	3~ 6/6,6кВ, +/-10%
Діапазон потужностей	250 – 5000 кВт
Вихідна частота перетворювача	від 0,01 до 120 Гц
Точність підтримки швидкості	+/- 0,2 (Open Loop Current Vector), +/- 0,02 (Flux vector control)
Точність підтримки моменту	+/- 5%
Перенавантажувальна здатність перетворювача	110% для 60 с, 120% для 15 с
Час розгону / гальмування	від 0,01 до 6000 с.
Максимально допустима вологість	від 45 до 85% (без конденсату)
Ступінь захисту	IP40
Входи / виходи	дискретні входи – 10 аналогові входи – 2 дискретні виходи – 8 аналогові виходи – 2
ККД	97%

Такі транзисторні перетворювачі частоти призначаються для керування швидкістю обертання електродвигунів змінного струму великої потужності (до 5 МВт), які працюють на номінальній напрузі 3, 6 або 10 кВ. Спеціальні погоджувальні багатообмоткові трансформатори побудовані за деякою визначеною схемою, мають декілька вторинних обмоток, які гальванічно не пов'язані. Часто такі перетворювачі можуть бути з'єднані із загальнопромисловими двигунами навіть без підключення проміжних вихідних фільтрів. Система управління реалізовує різноманітні закони

регулювання вихідної частоти в доволі широкому діапазоні, а також підтримує керування електроприводом за векторним законом керування.

Основним елементом систем управління таких перетворювачів є спеціалізований мікроконтролер або цифровий сигнальний процесор (DSP). Побудова системи управління на базі DSP обумовлено необхідністю створення великого обсягу складних обчислень в режимі реального часу для реалізації сучасних алгоритмів управління [9].

Перетворювач частоти фірми Omron серії Yaskawa побудований на базі двопроекторної схеми. Тут перший з процесорів (ЦП1) виконує головні функції перетворення частоти (функція управління інвертором, випрямлячем, почергове опитування датчиків і т. ін.). Призначенням другого процесора (ЦП2) є забезпечення роботи пульта управління, контроль за роботою, сприйняття та передача сигналів від системи верхнього рівня, а також деякі додаткові сервісні функції. За необхідності розподіл функцій між мікроконтроллерами може бути запрограмований інакше.

Переваги двопроекторної системи в порівнянні з однопроекторною полягають у зниженні вимог до процесорів по вбудованій периферії, швидкодії і обсягу пам'яті; для зв'язку центрального контролера з пультом оператора можна застосувувати спільний інтерфейс; а також значно спрощується розроблення програмного забезпечення для кожного з цих контролерів [9].

Управління драйверами інвертора здійснюється за допомогою формування шестиканального ШІМ - сигналу з автоматичним додаванням «мертвого часу». Модуль ШІМ реалізований апаратно. Функціональна схема роботи частотного перетворювача з АІН фірми Omron – Yaskawa FS Drive – MV1S зі зворотнім зв'язком за швидкістю зображена на рис 3.10.

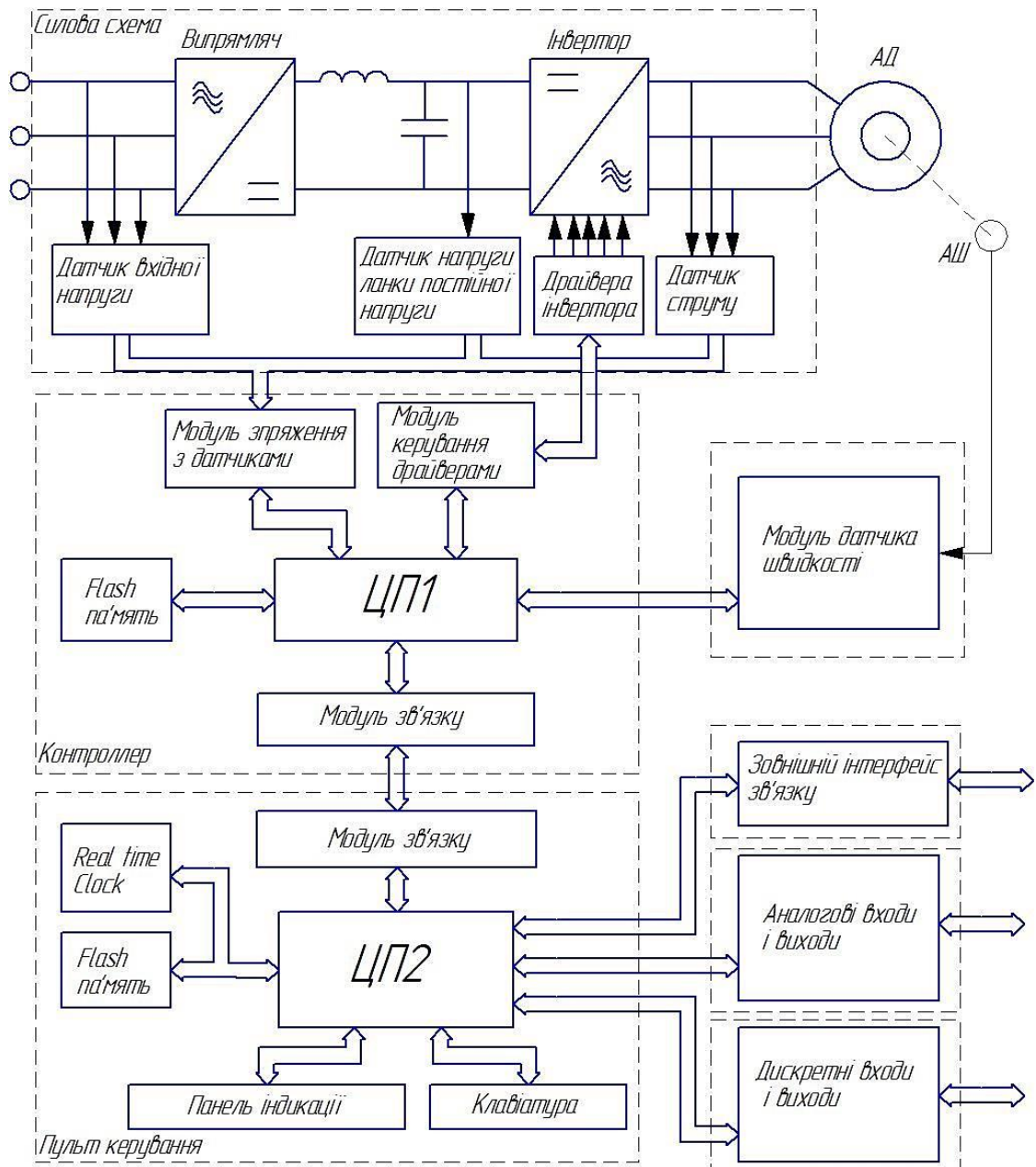


Рисунок 3.10 – Функціональна схема роботи ПЧ з АІН

3.4 Модернізація схеми силового кола електроприводу бурової лебідки

Розглянемо модернізовану схему роботи силового кола приводу бурової лебідки, яка показана на рисунку 3.11.

Електродвигун серії А4-450У-8У3, що обрано, живиться від інвертора напруги, який, в свою чергу, підключений до трифазної мережі 6000 В з промисловою частотою 50 Гц.

Бурова лебідка не розрахована на тривалий час роботи під час одиничної спускопідйомної операції, але на практиці в літню пору (або в місцях роботи, де присутній високотемпературний клімат) може виникнути проблема перегріву електродвигуна. Тому було прийнято рішення встановити додатковий двигун вентилятора охолодження.

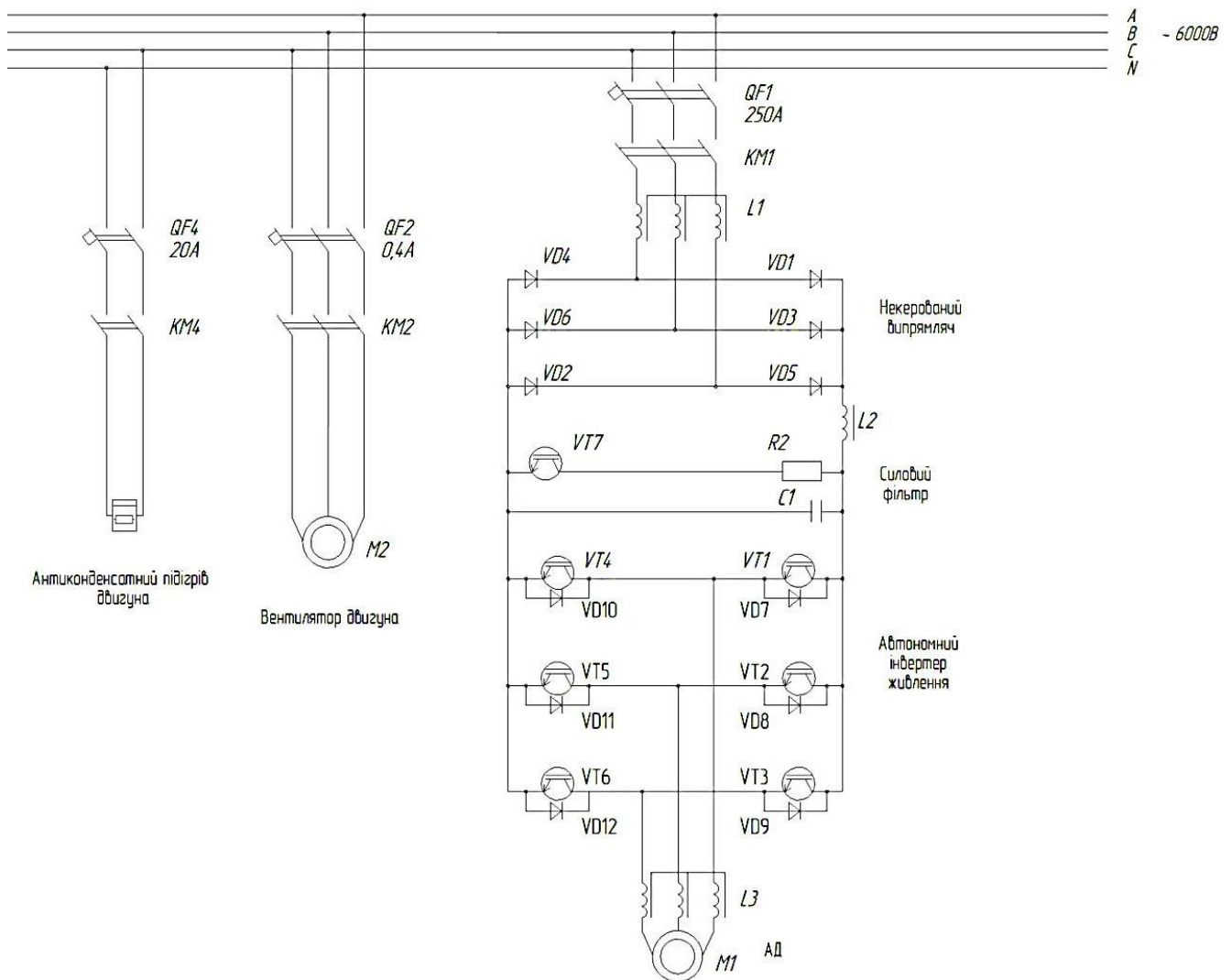


Рисунок 3.11 – Схема електрична принципова силового кола приводу бурової лебідки

Роль електроприводу вентилятора охолодження виконуватиме електродвигун серії AIP71B2 потужністю 1,1кВт, який має швидкість обертання 3000 об / хв.

Під час роботи в зимовий період, або в місцях, де переважає холодний клімат, виникає проблема накопичення конденсату та подальшого його обledenіння, а також може виникнути проблема загускання мастила в піддоні. При такому загусканні, деякий час лебідка працює без змащення, що, в свою чергу, може спричинити швидке зношення деталей (гальмівної системи, системи муфт, підшипників кочення і т.ін.). Тому було прийнято рішення про встановлення типової системи підігріву. Встановлена система підігріву вповній мірі справляється з даними проблемами.

Системи охолодження і підігріву повинні підключатися до загальної системи енергозабезпечення бурового промислу. Енергозабезпечення малопотужного обладнання промисла проводиться від понижувального трансформатора який перетворює 6000 В на 220 В. Частота мережі залишається незмінною – 50 Гц.

3.5 Вибір елементів автоматики

У даному електроприводі в систему автоматичного керування ми заклали математичну модель, що дозволить розраховувати як момент на валу двигуна, так і швидкість обертання його валу. Найбільш важливими елементами тут являються датчики струму фаз статорної обмотки.

В якості датчика струму пропонуємо використовувати високоточний датчик типу HCS – НА – 1000А, який працює за принципом ефекту Холла. Принцип дії такого датчика полягає у виникненні різниці електричних потенціалів U_N в провіднику зі струмом I_N , що знаходиться під впливом магнітного поля B . Живлення датчика відбувається від незалежного джерела живлення. Клас точності даного датчика складає – 0.5.

Розроблена спеціальна структура САК забезпечує малоінерційне і незалежне регулювання двох головних параметрів двигуна лебідки - моменту на валу та швидкості обертання.

Відомо, що векторне управління можна розділити на 2 основні системи:

- система без датчика швидкості на валу двигуна;

- система з датчиком швидкості в колі зворотного зв'язку.

Якщо маємо відносно невеликий діапазон зміни швидкості (у межах 100 :1) і невисоки вимоги за точністю підтримання цієї швидкості, то можна застосовувати 1 варіант - систему без датчика швидкості.

При значному діапазоні зміни швидкості (10000 :1 і більше), або при високих вимогах по точності, як правило, застосовують другий варіант – система з датчиком швидкості в колі зворотного зв'язку. Цю ж систему використовують за необхідності позиціонування вала.

Враховуючи те, що діапазон регулювання швидкості лебідки не перевищує діапазон регулювання 1:10, то в даному випадку можна було б використовувати бездатчикову систему керування. Але зважаючи на те, що реалізація системи з датчиком зворотного зв'язку за швидкістю не потребує великих затрат на реалізацію, а точність керування при цьому значно поліпшується, було прийнято рішення використати датчик швидкості за зворотнім зв'язком. В якості датчика швидкості будемо використовувати цифровий тахометр типу Digital-RPM. Робота цього тахометра будується за принципом датчика Холла. Тахометр відповідає всім сучасним вимогам. Клас точності пристрою – 1, тобто точність складає $\pm 0,5-1,0$ об / хв.

Для підключення тахометра в системі перетворювача частоти є спеціальний вихід – розширення. Система виходів і входів цифрових сигналів містить 18 виходів.

Перетворювач частоти має також виходи для підключення аналогових датчиків, в яких потім перетворюється аналоговий сигнал на цифровий. Програмна реалізація здійснюється безпосередньо процесором, який знаходиться апаратно в перетворювачі частоти, який ми обрали.

ВИСНОВКИ

В процесі роботи над даною кваліфікаційною роботою бакалавра був розглянутий технологічний процес експлуатації приводу бурової лебідки під час спуско-підйомних операцій, досліджено проблеми, які пов'язані з системою керування, сформовані задачі та проведена модернізація цього електроприводу.

Було проведено розрахунок двигуна для конкретної бурової лебідки та бурової установки, після вибору двигун перевірили на перевантажувальну здатність за моментом. Розроблено асинхронний електропривід на базі обраного перетворювача частоти фірми Omron серії Yaskawa.

В результаті виконання роботи була розроблена цифрова система управління асинхронним частотно-регульованим електроприводом з векторною системою управління, також проведена модернізація силової схеми електроприводу.

Результати моделювання показали, що розроблена система забезпечує задані характеристики точності та стабільності роботи системи керування.

Викладене вище дозволяє зробити висновок, що завдання на кваліфікаційну роботу бакалавра виконано. Модернізований електропривод задовольняє вимогам електроприводів підйомних установок за якістю перехідних процесів і швидкодії.

Робота має практичну цінність, її результати після більш детальної доробки можуть бути розглянуті для використання на даному об'єкті.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Орловський В. М., Білецький В. С., Вітрик В. Г., Сіренко В. І. Бурове і технологічне обладнання. Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова, НТУ «ХП», ТОВ НТП «Бурова техніка», Львів, Видавництво «Новий Світ – 2000», 2021. – 358 с.
2. Білецький В. С. Основи нафтогазової інженерії / В. С. Білецький, В. М. Орловський, В. Г. Вітрик. – Полтава: ТОВ «АСМІ», 2018. – 415 с.
3. Войтенко В. С. Технологія і техніка буріння: узагальнювальна довідкова книга / В. С. Войтенко, В. Г. Вітрик, Р. С. Яремійчук, Я. С. Яремійчук. – Львів: Центр Європи, 2012. – 708 с.
4. Шефер, В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.
5. Онушко, В.В. Моделювання електромеханічних систем: навчальний посібник / В.В. Онушко, Д.В. Стрижеус. – Полтава, ПолтНТУ, 2010. – 81с.
6. Моделювання систем: Підручник для ВУЗів / В.М. Томашевський. – К.: ВНУ, 2005. – 352 с.
7. Основи комп'ютерного моделювання: навч. посібник / М.С. Барабаш, П.М. Кір'язев, О.І. Лапенко, М.А. Ромашкіна. 2-е вид. стер. – К.: НАУ, 2019. – 492 с.
8. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко. – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с.
9. Єрмілова Н.В. Порівняння та вибір високовольтних перетворювачів частоти для електроприводів бурових установок /Н.В. Єрмілова, С.І. Калов // Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. Випуск 4(44) – Полтава: ПолтНТУ, 2017. С. 43-47.
10. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.: іл.

11. Куцик А.С. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах: Навч. посіб. - Нац. ун-т «Львівська політехніка»/ А.С. Куцик, В.О. Місюренко.– Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011.– 199 с.
12. Колб Ант. А, Колб А. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. – 2-е вид. перероб. і доп. –Д., Національний гірничий університет, 2011. – 540 с.
13. Донець О. В. Теорія електропривода/ В. І. Колотіло, О. В. Донець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
14. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посібник для вищ. навч. закл., за ред. Поповича М.Г., Лозинського О.Ю. – К.:Либідь, 2005. – 678 с.
15. Галушак І.Д., Семенцова А.О. Розрахунок електроприводу бурової лебідки. Курсова робота. Методичні вказівки.– Івано-Франківськ: Факел, 2006. – 48 с.
16. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Підручник. – К: Либідь, 2007, – 656с.
17. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи. Навч. пос-к. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – 454с.
18. Галай В.М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. –131 с.
19. Шефер О.В. Електропривод та автоматизація загальнопромислових механізмів: конспект лекцій. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – 154 с.

1 TECHNOLOGICAL PART

1.1 Application and classification of drilling rigs

Drilling rigs are used for the following types of drilling:

- drilling of medium-depth (up to 600 m) structural and exploration wells for solid minerals;
- drilling of deep (up to 6000 m) exploration and production wells for oil and gas;
- drilling of water wells;
- drilling blast wells in open pit mines and mines.

The drilling rigs are also used for drilling shallow (up to 25 meters) wells of small diameter (76-219 mm) in seismic exploration and engineering prospecting.

The purpose of the wells may vary. In the oil and gas industry (O&G), the following wells are mainly drilled:

- structural exploration wells - to identify tectonics, stratigraphy and lithology, as well as to assess the possible productivity of a particular horizon;
- reference wells - to determine the geological structure and direction of oil exploration in poorly explored areas;
- production - to extract oil or gas from the earth's interior;
- exploration - to identify productive horizons and determine their commercial significance, as well as to delineate already developed oil and gas bearing formations;
- injection - for injecting water (air or gas) into productive horizons to maintain reservoir pressure and extend the natural flow period;
- appraisal - to assess the reservoir capabilities of the exploited horizon.

When drilling oil and gas wells in Ukraine, only rotary drilling is used, whereby the well is drilled with a continuously rotating bit. During the drilling process, the drilled rock particles are brought to the surface by a continuously circulating jet of flushing fluid or air or gas injected into the well.

Depending on the location of the engine, rotary drilling is divided into:

- rotary - the engine is located on the surface and drives the bit at the bottomhole with the help of a drill pipe string;
- drilling with a downhole motor (turbine or electric drill) - the motor is moved to the bottom of the well and installed above the bit.

O&G is one of the most energy-intensive industries, and the electric drive of drilling pumps and drilling winches accounts for the largest share of energy consumption. Given that the cost of electricity itself, as well as the cost of its transmission through power lines, is constantly growing, the task of reducing energy consumption is one of the main tasks of drilling rigs. The use of a regulated electric drive makes it possible to solve this problem to a large extent.

In recent years, one of the main areas of development in the oil and gas industry has been the transition to smooth regulation of technological modes based on the introduction of energy-saving technologies.

In the early days of the domestic oil and gas industry, all the main technological mechanisms of drilling, production and transportation facilities were equipped with the simplest systems of unregulated electric drive or diesel drive. Asynchronous motors with a phase rotor (AKB series) are widely used on drilling rigs. Unregulated squirrel-cage asynchronous motors and synchronous motors of the STM series were used to drive main oil transportation pumps.

The development of electric drives is closely linked to the development of power supply systems and power electronics. Initially, oilfield facilities received power from regional power plants that were connected to the power grid via 20-35 kV power lines. At present, the power supply to oilfields is carried out via 35, 110 and 220 kV power lines from powerful power systems, and 6 or 10 kV voltage is used for distribution networks instead of 380 V. Special integrated transformer substations have been designed and manufactured for all consumers in the industry.

The need to use a regulated electric drive in difficult and sometimes extreme operating conditions of the equipment shows the particular importance of creating regulated electric drives for all powerful equipment used in the development of the continental shelf of Ukraine.

In addition, when creating new equipment and modernizing existing equipment, it is very important to use modern processor-based automation tools. It is also necessary to note the traditional direction of improving the electric drive - increasing its explosion protection and reliability.

1.2. Technical characteristics of the drilling rig type BU 3200/200

In recent years, Uralmash OJSC, at the suggestion of oil and gas companies, has developed complete drilling rigs with an adjustable electric drive. A number of block-modular cluster drilling rigs BU-3200/200-EC BM, BU-3900/225-EC BM and BU-4500/270-EC BM have been created.

The BU-3200/200 drilling rig is designed for drilling oil and gas wells in electrified areas. Drilling rigs of this type have universal assembly and transportation qualities and, depending on the purpose, are transported in large blocks on special vehicles (heavy trucks), in sections (modules) on trailers and in units by general-purpose transport.

The conditional depth of the well drilling with a drill string weight of 30 kilograms per meter is 3200 meters. The load on the hook (elevator) during the process of running and casing the well is allowed to be 2000 kN. The maximum hook lifting speed is 0.2 meters per second. The maximum rotor barrel speed is 232 rpm, the minimum is 20. The drilling rig is supplied with electricity from the 6000 V, 50 Hz alternating current network.

The drilling rig's electrical equipment consists of a number of independent control systems for the drives of the main and auxiliary mechanisms of the drilling rig:

- electrical equipment for power supply and distribution of electricity with a voltage of 6000 V
- electrical equipment for power supply and distribution of electricity with voltage of 380/220 V;
- electrical equipment of the drilling winch;
- electrical equipment for drilling pumps;
- electrical equipment for low-pressure compressors;

- electrical equipment for high-pressure compressors;
- auxiliary winch electrical equipment;
- electrical equipment for lighting;
- electrical equipment of the circulation system.

Usually, the drilling rig is supplied with electricity from a high-voltage power line that runs nearby or is specially laid for the drilling complex. In case of problems with power supply, and the drilling process cannot be interrupted, diesel generators are used.

The diesel generator is designed to power the electric motors of the main drive and auxiliary mechanisms of the drilling rig, which include an electric compressor, clay mixer, water pump, etc. In addition, this generator can power the lighting of the entire rig.

The electrical equipment for power supply and distribution of electricity with a voltage of 6000 V includes a switchgear RP-6 of the KRUNB-6U type, which consists of six cells mounted on common bases.

Electrical equipment for power supply and distribution of electricity with a voltage of 380/220 V includes

- a) main power and switchgear cabinet PC1;
- b) power supply cabinet of the circulation system PC2;
- c) power supply cabinet for the power unit and electric motors of low-pressure compressors PC3;
- d) power supply cabinet of the residential complex networks PC4.

The electrical equipment of the low-pressure compressors is designed to supply compressed air with a pressure of 6-8 kgf/cm² to the pneumatic control system of the drilling rig.

The drilling rig is equipped with two low-pressure compressors of the KS-5 type. The electrical equipment of the high-pressure compressor includes the KR-2 compressor station, designed to create the required pressure in the air compensators of the drilling pumps. The high-pressure compressors are driven by 7.5 kW asynchronous motors with a voltage of 380V.

The rig's lighting system includes lighting for the drilling tower, receiving bridges, working platform, winch drive and pump units, compressor unit and territory. The voltage of the working lighting is 220V, the voltage of the repair and emergency lighting is 12V.

1.3 Description and purpose of the drilling winch

The winch is the main mechanism of the drilling rig lifting system. It is designed to perform the following operations

- lowering and lifting the drill string and casing;
- holding the pipe string by weight during drilling or well flushing;
- lifting of the drill string and pipes during the build-up;
- screwing and unscrewing pipes;
- auxiliary work on the supply of tools, equipment, pipes, etc. to the drill hole
- lifting the assembled rig to a vertical position.

The column descent is performed in the reverse order. The lifting and lowering time of each candle consists of machine time and machine-manual time. The machine time is the duration of the main drive and represents the time it takes to raise (lower) the column by the length of one candle. Manual time is the time spent on auxiliary operations.

The drilling winch includes a welded frame with installed lifting and transmission shafts, a gearbox, as well as a braking system that includes the main (band) and auxiliary (control) brakes, and a control panel (Fig. 1.1). All these winch mechanisms are covered with protective shields.

The hoist shaft of the winch, receiving rotation from the gearbox, converts the rotational movement of the power drive into the translational movement of the hoist rope, the movable end of which is fixed on the drum of the hoist shaft.

The loaded hook is lifted with a power consumption that depends on the weight of the pipes being lifted, and is lowered under the action of the own weight of the pipes or the hoist unit, hook and elevator when the elevator goes down for the next candle.

Winches are equipped with power supply devices when lifting the column and braking devices when lowering it. When lifting a hook with an unloaded elevator or winch, the winch is made multi-speed with a mechanical gearbox. Switching from a higher speed to a lower one and vice versa is carried out by friction clutches. When lifting columns of different weights, the speeds in the gearboxes are switched periodically. The winches are made of three, four, or five-speed.

Drilling winches designed by Uralmash, which are widely used in Ukraine, have various drive systems, are characterized by high drive power, optimal ratios of drum and hoist rope diameters, are equipped with reliable braking systems and regulators for feeding the bit to the bottom hole, as well as mechanisms for proper laying of the hoist rope on the drum.

The winch code should be read as follows: LBU22-720 - Uralmash drilling winch, tension of the running end of the hoist rope is 22 tons (220 kN), rated power at the input shaft of the winch is 720 kW. The electrical equipment of the drilling winch LBU 22-720 consists of motor control circuits of the SMBOI5-49-8UHL2 type.

Drilling winch drive - an asynchronous squirrel-cage motor with a stepped mechanical speed control from a 540 kW electric motor of the SMBO-15-49-8UHL2 type is used to drive the winch. The torque is transmitted through a clutch to a mechanical four-speed gearbox, which in turn rotates the drum.

The drilling winch has main and emergency drives. The main drive consists of an electric motor, which is connected to the winch using a pneumatic coupling of the SPM 500 type. The synchronous electric motor is powered by a 6000 V, 50 Hz network using the cells of the KRUNB-6U switchgear, and the control circuit is powered by a voltage of 380/220 V. The emergency drive consists of a 30 kW induction motor powered by a 380 V network.

1.4 Setting tasks for the bachelor's qualification work

The purpose of modernization of the control system for the process of hoisting operations is to improve the technical and economic performance of technological equipment by improving the control and management system aimed at achieving

optimal operating conditions of the facility due to the specified accuracy of maintaining technological regulations in any operating conditions while observing reliable trouble-free operation of the equipment.

The purpose of process control is to ensure highly efficient operation of the process control object, which will ensure the accuracy of operation during hoisting operations.

The efficiency of operation is assessed by the value of the control criterion - an indicator that characterizes the functioning of the technological control object as a whole and takes numerical values depending on the disturbing and controlling influences. Another performance criterion is the reliability of the winch system as a whole and its energy efficiency during operation. The modernization of the control system should also reduce winch downtime during scheduled and unscheduled maintenance and repairs. The control system should exclude sudden surges of mechanical peak load on the mechanical parts of the drive (brake system, drum, hoist system).

To accomplish this task, it is necessary to:

- analyze the operation of the winch during hoisting operations;
- to consider the processes occurring in the mechanical part of the drive during hoisting operations and identify the problems that arise;
- calculate the selection of an electric motor for a given drilling winch and a particular drilling rig, taking into account the characteristics of the terrain and climatic conditions, check the selected motor for overload capacity by torque;
- select a frequency converter for a specific electric motor and control system;
- develop a functional diagram of the winch control system in order to improve the quality of regulation;
- determine the algorithm of operation of the blocks and regulators of the automatic control system;
- to simulate the resulting control system in the Matlab/Simulink computer environment and to study the obtained modeling results and draw conclusions;
- modernize the power circuit of the winch drive.

Міністерство освіти та науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

Модернізація електроприводу бурової лебідки

Кваліфікаційна робота бакалавра

Виконав:

студент групи 401МЕ

Бондар І.В.

Керівник:

доцент, к.т.н.

Кислиця С.Г.

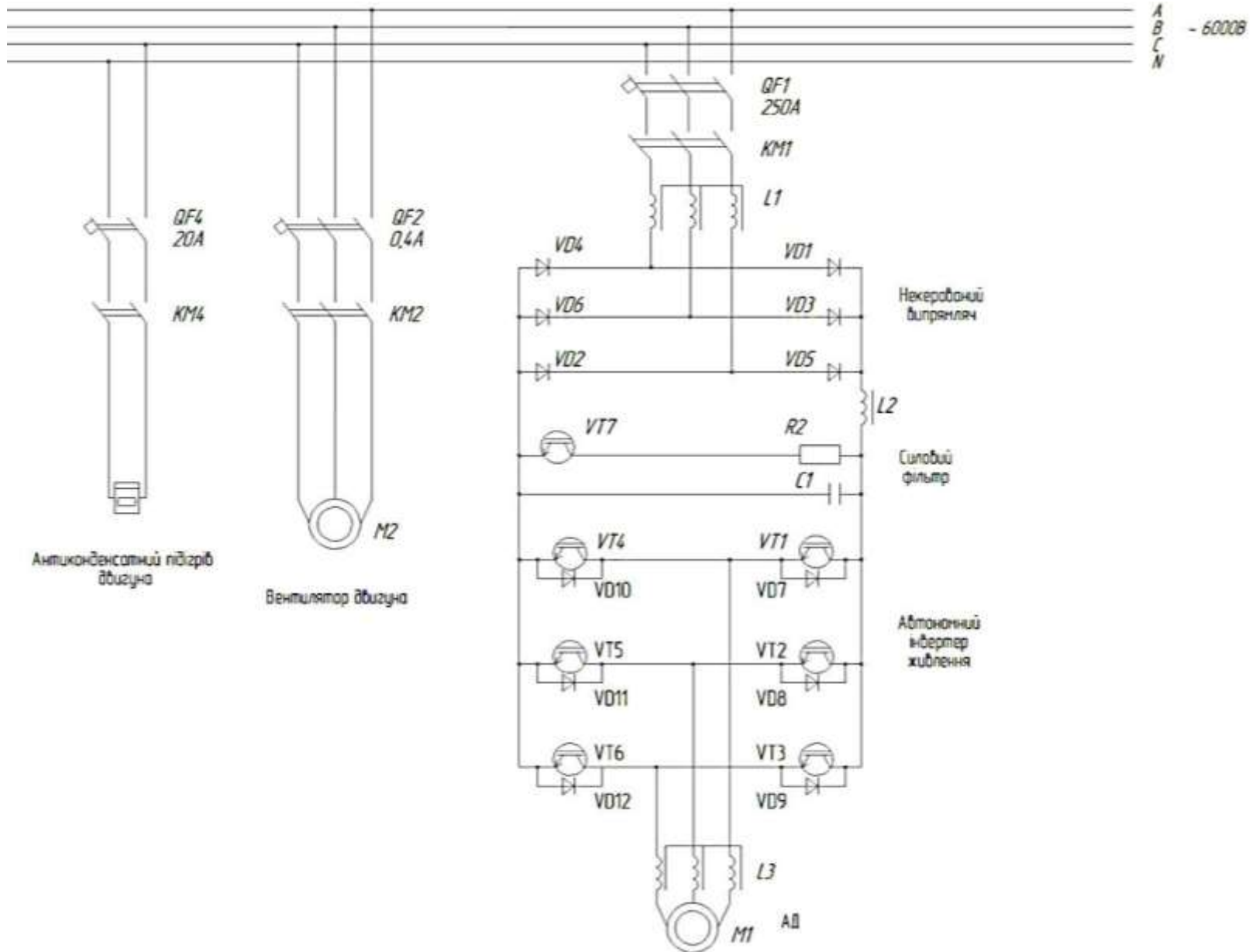
Полтава 2024

Актуальність теми. Сучасний електропривод бурових установок дозволяє здійснювати більшість робочих операцій процесу буріння, включаючи спуско-підйомні операції колон бурових й насосно-компресорних труб, з найкращими експлуатаційними показниками, крім того автоматизація цих процесів дозволяє покращити графік безперервного видобутку нафти. Тому вимоги правильного вибору електрообладнання для нафтовидобутку, автоматизація його роботи, зниження витрат на експлуатацію та ремонт обладнання є дуже актуальними.

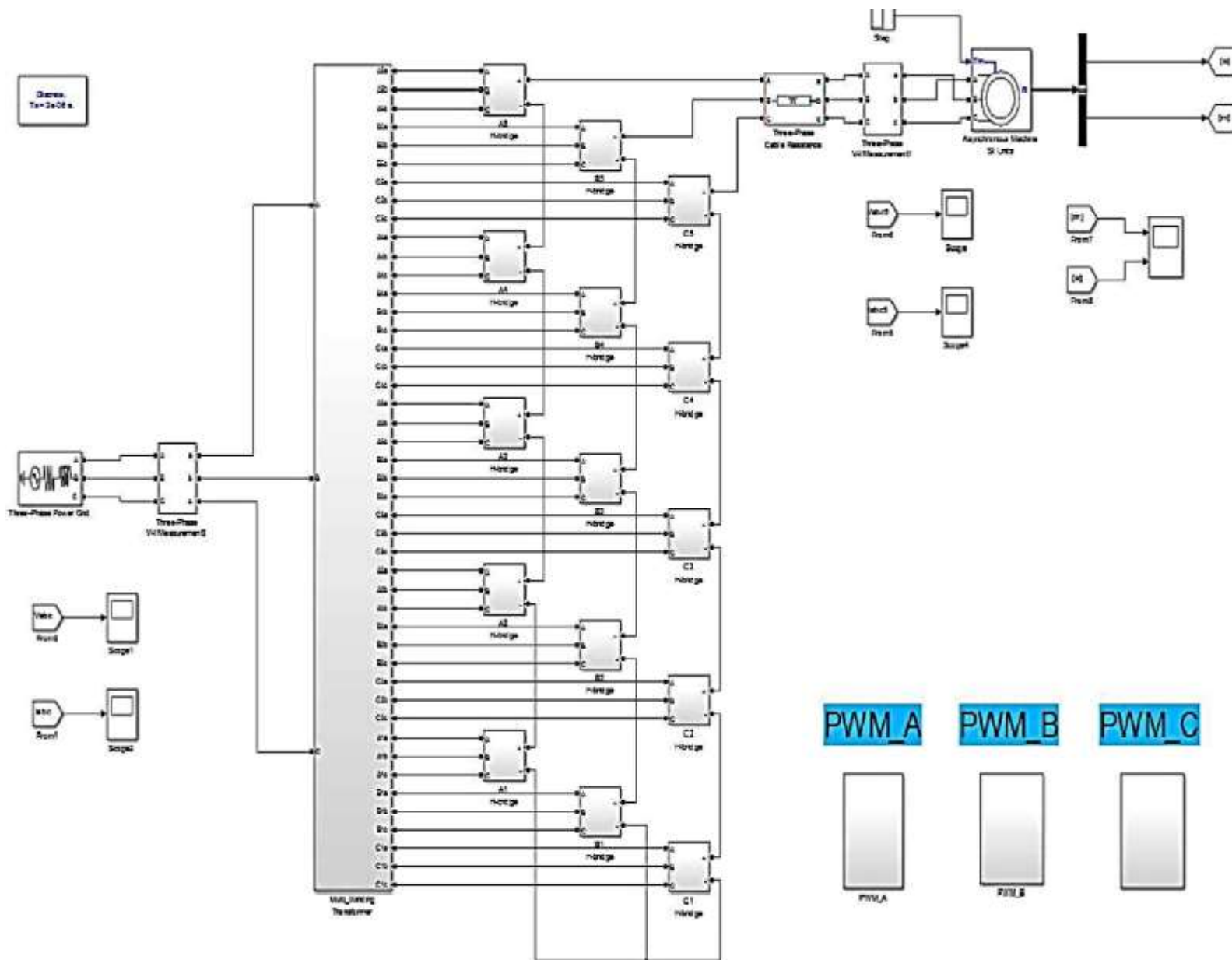
Задача роботи. Основною задачею даної кваліфікаційної роботи є модернізація електроприводу разом з системою керування бурової лебідки типу ЛБУ 22–720. Модернізована система керування лебідкою повинна забезпечувати високу точність, економічність роботи, зменшення аварійних ситуацій.

Метою роботи є аналіз роботи лебідки під час спуско-підйомних операцій з різним навантаженням на елеваторі. Необхідно створити таку систему автоматичного керування, яка здатна забезпечити виконання усіх необхідних функцій, передбачити й унеможливити виникнення аварійних ситуацій під час спуску або підйому бурових колон, а також матиме достатній запас стійкості.

Схема електрична принципова силового кола приводу бурової лебідки

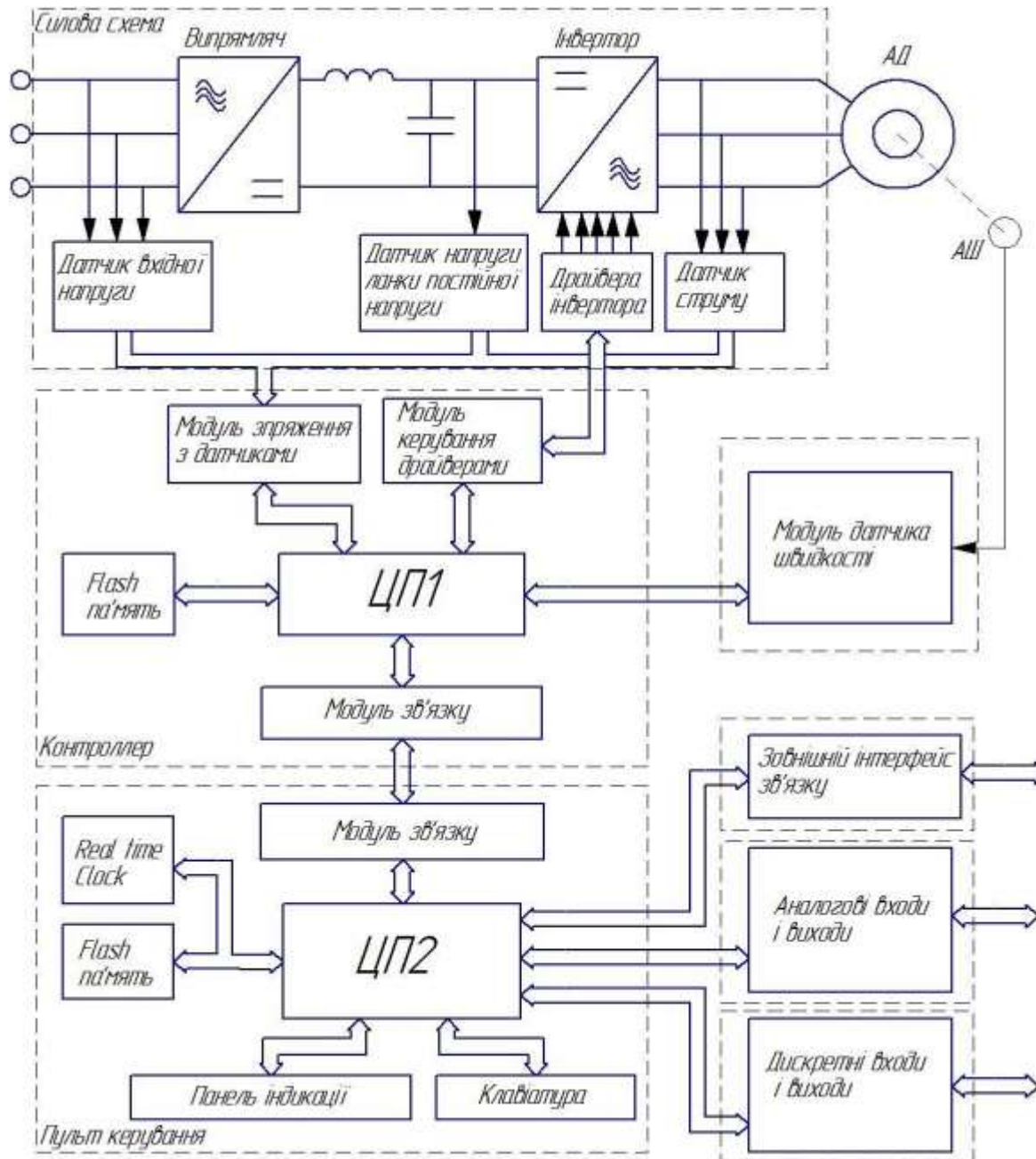


Модель інвертора напруги в пакеті MATLAB

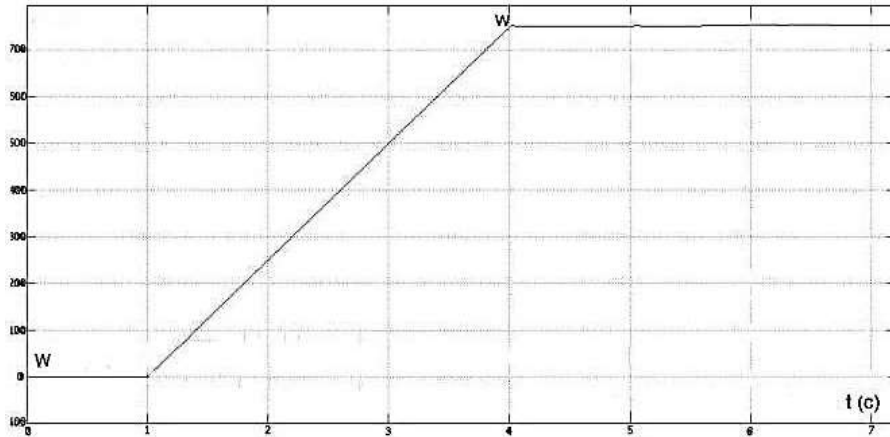


Функціональна схема роботи перетворювача частоти

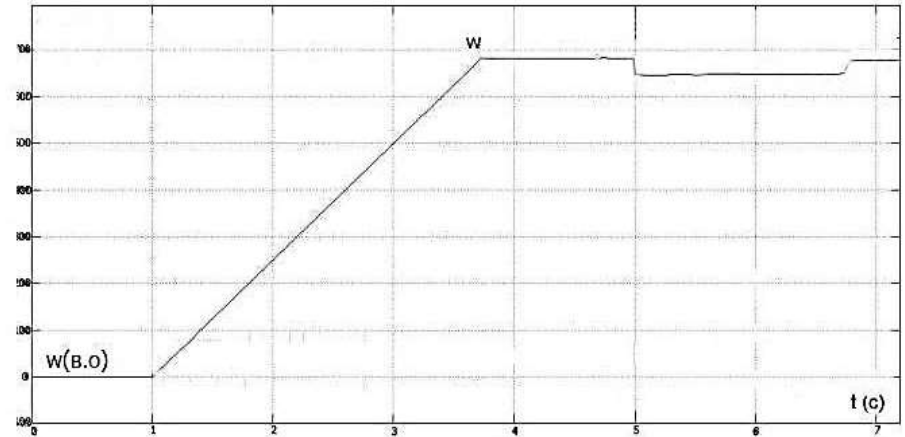
6



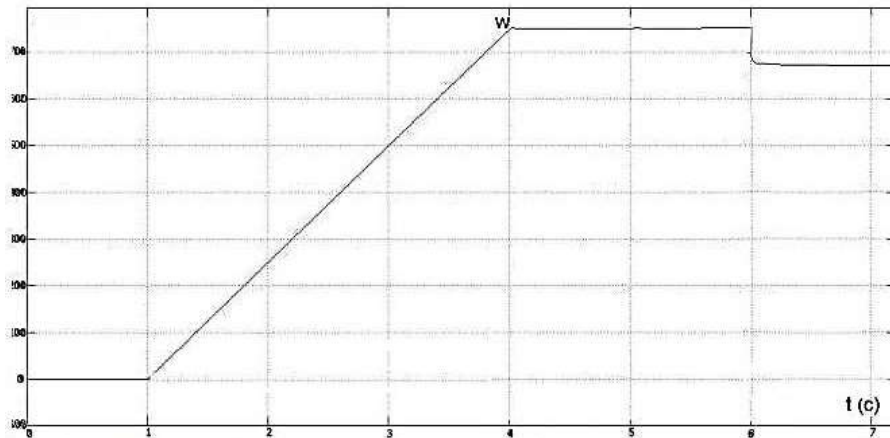
Діаграми перехідних процесів за швидкістю



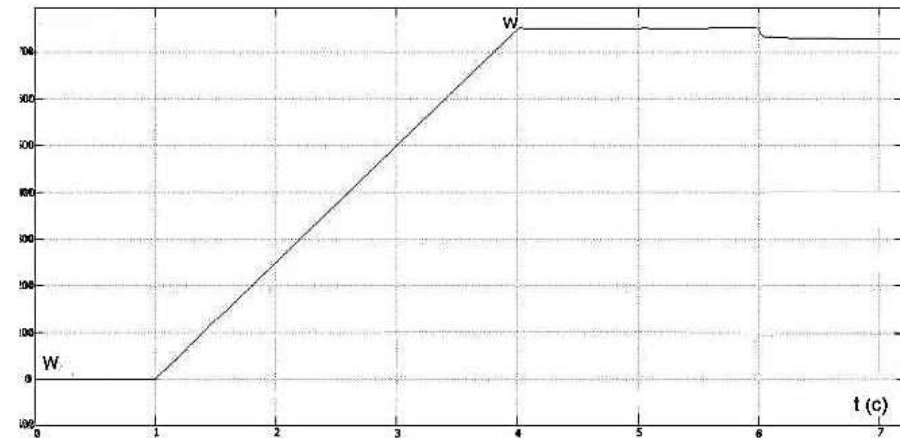
Діаграма перехідних процесів за швидкістю на холостому ході



Діаграма перехідного процесу за швидкістю під час подачі навантаження на гак та зняття навантаження

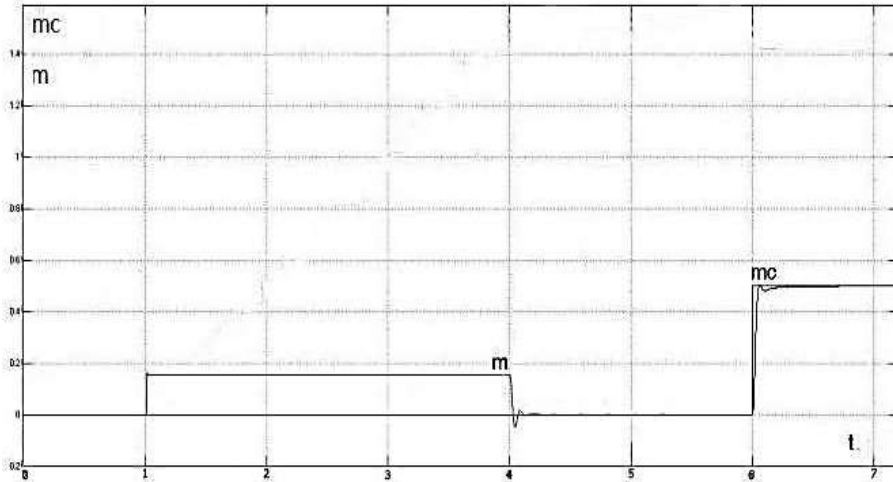


Діаграма перехідних процесів за швидкістю при максимальному навантаженні на закладілки

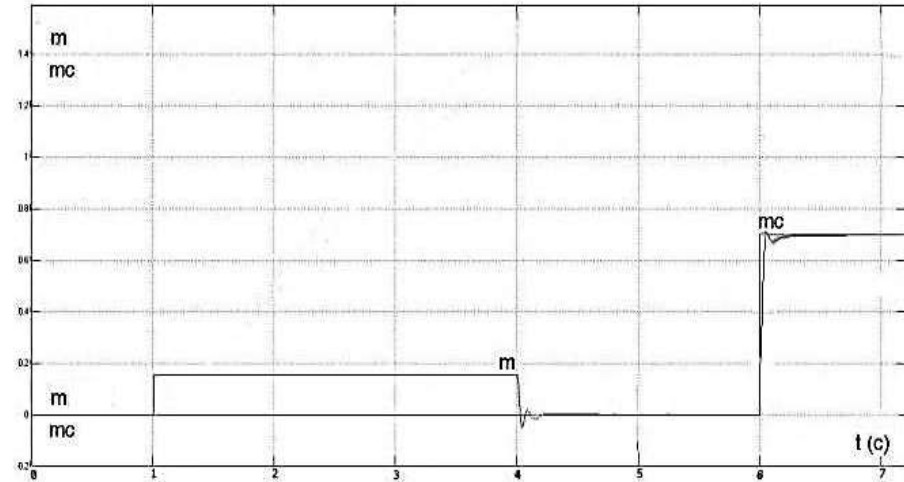


Діаграма перехідних процесів за швидкістю при мінімальному навантаженні на закладілки

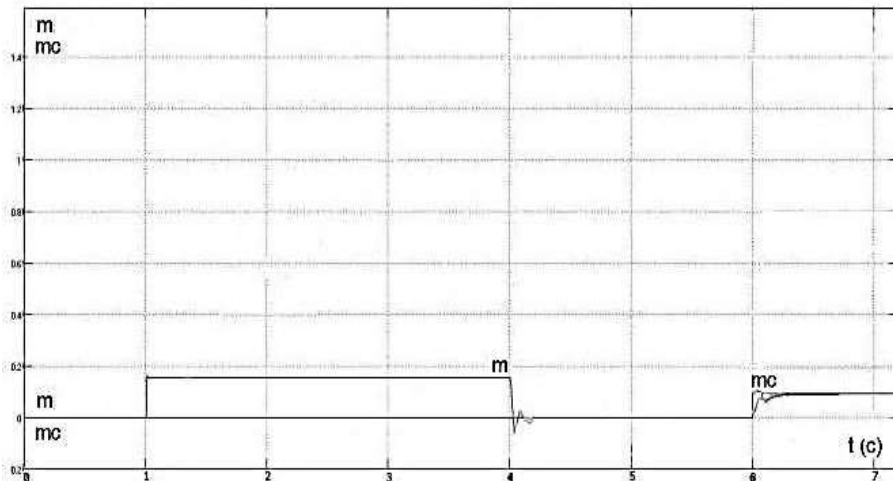
Діаграми перехідних процесів за моментом та струмом



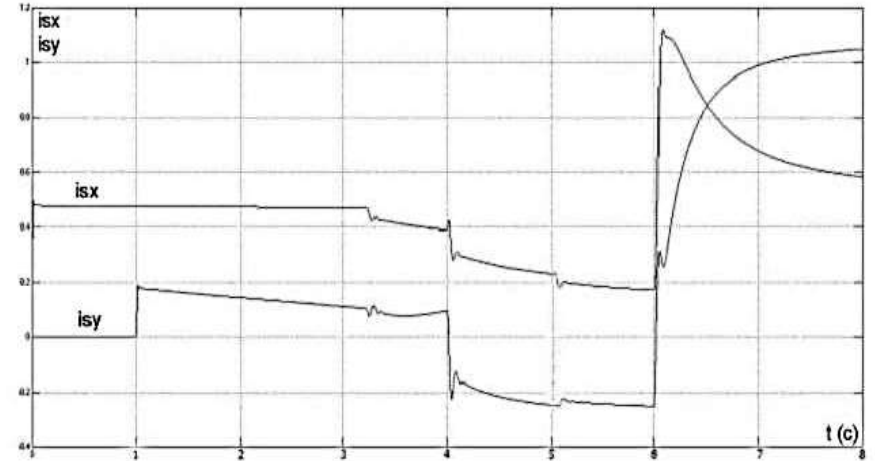
Діаграма перехідного процесу за моментом і моментом опору під час роботи в нормальному режимі



Діаграма перехідного процесу за моментом і моментом опору під час підйому максимального навантаження



Діаграма перехідного процесу за моментом і моментом опору під час підйомні мінімального вантажу



Діаграма перехідних процесів за струмом

Якісні характеристики роботи системи

З отриманих графіків перехідних процесів можна зробити наступну оцінку якості системи:

- Перерегулювання системи $\delta = \frac{h_{max} - h_{nom}}{h_{nom}} = \frac{0,6 - 0,5}{0,5} = 0,2 = 20\%$.
- Час регулювання $T_{рег} = 0,18$ с.
- Коливальність перехідного процесу:
- число коливань – 1;
- ступінь затухання $\psi = \frac{b_1 - b_2}{b_1} = \left[\frac{0,39 - 0,5}{0,39} \right] = 0,28$;
- період коливань $T = 0,13$ с.

Висновки

1. Розглянутий технологічний процес експлуатації приводу бурової лебідки під час спуско-підйомних операцій, досліджено проблеми, які пов'язані з системою керування, сформовані задачі та проведена модернізація цього електроприводу.
2. Проведено розрахунок двигуна для даної бурової лебідки, після вибору двигун перевірено на перевантажувальну здатність за моментом.
3. Розроблено асинхронний електропривід на базі обраного перетворювача частоти фірми Omron серії Yaskawa.
4. Розроблена цифрова система управління асинхронним частотно-регульованим електроприводом з векторною системою управління, також проведена модернізація силової схеми електроприводу.
5. Результати моделювання показали, що розроблена система забезпечує задані характеристики точності та стабільності роботи системи керування.
6. Модернізований електропривод задовольняє вимогам електроприводів підйомних установок за якістю перехідних процесів і швидкодії.
7. Робота має практичну цінність, її результати після більш детальної доробки можуть бути розглянуті для використання на даному об'єкті.

Доповідь закінчено.
Дякую за увагу!