

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
Бахмутський навчально-науковий професійно-педагогічний інститут
Кафедра електромеханічних та комп'ютерних систем

До захисту допущено

Завідувач кафедри


(підпис)

Інна НЕФЬОДОВА
(ім'я, прізвище)

«05» грудня 2024 року

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА (ПРОЄКТ)

рівень вищої освіти другий (магістерський)

спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

освітньо-професійна Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

тема «Синтез електромеханічної системи із взаємопов'язаними двигунами постійного струму»

Виконав(ла)


здобувач(ка) групи БЗ-П23мг
(шифр групи)

Микола УСЕНКО
(ім'я, прізвище)


(підпис)

Керівник роботи

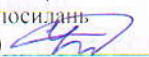
д.т.н., проф. Борис КУЗНЕЦОВ
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)


(підпис)

Рецензент роботи

д.т.н., проф. Валентина ШЕВЧЕНКО
(науковий ступінь, вчене звання, ім'я, прізвище)


(підпис)

Засвідчую, що у цій роботі
немає цитат та вилучень з
праць інших авторів без
відповідних посилань.
здобувач (ка) 
(підпис)

Харків – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Факультет/ННІ Бахмутський навчально-науковий професійно-педагогічний інститутКафедра Електромеханічних та комп'ютерних системРівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханікаОсвітньо-професійна програма Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Інна НЕФЬОДОВА

(підпис)

(ім'я, прізвище)

«08» жовтня 2024 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ)

Усенко Микола Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи Синтез електромеханічної системи із взаємопов'язаними двигунами постійного струмукерівник роботи Кузнецов Борис Іванович, д. т. н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «08» жовтня 2024 року № 5101-5/32322. Строк подання здобувачем роботи «02» грудня 2024 р.3. Перелік питань, які потрібно розробити: В пояснювальній записці необхідно відобразити аналітичний огляд та опис технологічного процесу, формулювання вимог до електроприводу, енергосиловий розрахунок параметрів технологічного об'єкта, обґрунтування вибору потужності двигуна, вибір електродвигуна та силового електрообладнання, математична модель електромеханічного об'єкта, розрахунок статичних та динамічних параметрів електроприводу, синтез системи керування та дослідження динамічних характеристик електромеханічної системи шляхом моделювання.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Огляд літературних джерел, нових розробок, опублікованих даних та іншої інформації, пов'язаної з темою роботи
2	Обґрунтування теоретичної бази обраної проблеми.
3	Характеристика об'єктів галузі: стан і стратегії розвитку
4	Дослідження синтезу електромеханічної системи із взаємопов'язаними двигунами постійного струму
5	Розробка електромеханічної системи із взаємопов'язаними двигунами постійного струму
6	Оформлення першого варіанту тексту, подання його на ознайомлення науковому керівнику
7	Усунення недоліків, написання остаточного варіанту тексту, оформлення дипломної роботи
8	Подання роботи на кафедру, перевірка на плагіат та зовнішнє рецензування роботи
9	Захист дипломної роботи у ЕК

5. Дата видачі завдання «08» жовтня 2024 р.

Здобувач(ка)


 (підпис)

Микола УСЕНКО

(ім'я, прізвище)

Керівник роботи


 (підпис)

Борис КУЗНЕЦОВ

(ім'я, прізвище)

АНОТАЦІЯ

У роботі розглянуто питання енергоспоживання електроприводу під час зміни джерела живлення обмотки збудження генератора Г-Д: з магнітного підсилювача на тиристорний збудник. Проведено розрахунки параметрів схеми заміщення, а також електромеханічні та енергетичні характеристики електроприводу у системі Г-Д. Особлива увага приділяється впливу інерційності джерела живлення обмотки збудження генератора на динамічні режими роботи електроприводу та його загальну продуктивність.

В ході дослідження використовувались різноманітні методи, такі як математичні розрахунки, графічні побудови, математичні залежності, а також теоретичні положення з курсів «Теорія електропривода», «Електричні машини» та «Теоретичні основи електротехніки». Крім того, було виконано моделювання роботи електропривода у програмному пакеті MATLAB, що дозволило візуалізувати дані та підтвердити теоретичні висновки.

У роботі також розроблені заходи з охорони праці та безпеки життєдіяльності, щоб забезпечити безпечну експлуатацію електроприводу. Проведено розрахунки елементів системи електропостачання, що є важливим для стабільної роботи системи. Визначено техніко-економічні показники прийнятого технічного рішення, які дозволяють оцінити ефективність впровадження нових технологій та їх потенційний вплив на зменшення витрат.

Отримані результати роботи можуть бути корисними для практичного впровадження у сфері електротехніки, сприяючи розвитку енергоефективних технологій в електроприводах, що в свою чергу підвищує конкурентоспроможність виробництва.

ЕЛЕКТРОПРИВОД, ТИРИСТОРНИЙ ЗБУДНИК, СХЕМА ЗАМІЩЕННЯ, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

ABSTRACT

The paper considers the issue of power consumption of the electric drive when changing the power source of the excitation winding of the generator G-D: from a magnetic amplifier to a thyristor exciter. Calculations of the parameters of the equivalent circuit, as well as the electromechanical and energy characteristics of the electric drive in the G-D system, were carried out. Special attention is paid to the influence of the inertia of the power source of the excitation winding of the generator on the dynamic modes of operation of the electric drive and its overall performance.

During the study, various methods were used, such as mathematical calculations, graphical constructions, mathematical dependencies, as well as theoretical provisions from the courses "Theory of the Electric Drive", "Electric Machines" and "Theoretical Fundamentals of Electrical Engineering". In addition, modeling of the operation of the electric drive was performed in the MATLAB software package, which allowed us to visualize the data and confirm the theoretical conclusions.

The work also developed measures for labor protection and life safety to ensure safe operation of the electric drive. Calculations of the elements of the power supply system were carried out, which is important for the stable operation of the system. The technical and economic indicators of the adopted technical solution were determined, which allow assessing the effectiveness of the implementation of new technologies and their potential impact on reducing costs.

The results of the work can be useful for practical implementation in the field of electrical engineering, contributing to the development of energy-efficient technologies in electric drives, which in turn increases the competitiveness of production.

ELECTRIC DRIVE, THYRISTOR EXCITER, SUBSTITUTION SCHEME,
MATHEMATICAL MODEL, POWER SUPPLY

ВСТУП

Часом спостерігається зниження основних техніко-економічних показників експлуатації машин, яке частково пояснюється недостатньою надійністю цих засобів. Для підвищення технічного рівня необхідно розробити математичну модель, яка адекватно відобразить їх основні робочі процеси.

Для опису динамічних процесів, що відбуваються під час роботи машин, кінематичні схеми їх приводів зображуються як багатомасові механічні системи. Загальноприйнятим є підхід, при якому повні розрахункові схеми приводів спрощуються до двомасових моделей. Проте параметри таких схем зазвичай приймають як сталі. На практиці ж, під час роботи, ці параметри зазнають змін, що може призвести до помилок у визначенні навантажень окремих елементів кар'єрних екскаваторів і ускладнити дослідження, спрямовані на підвищення їх надійності [2].

Особливо складною операцією, в якій виникають зовнішні навантаження, є процес, для якого важливо точно описати роботу в даному режимі. Водночас задіяні два електроприводи, тому при створенні математичної моделі необхідно враховувати як кінематичні особливості електроприводів, так і їх взаємозв'язок. У цьому контексті особливо важливим є врахування зміни параметрів електроприводів, що викликане змінами їх геометричного положення [3].

1. ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА ВИБІР ОБЛАДНАННЯ

Визняні кар'єри активно використовують екскаватори типу ЕКГ, значна частина яких перебуває в експлуатації вже протягом 10-20 років. Ці машини обладнані системою Г-Д, яка володіє рядом переваг, таких як стабільна функціональність в умовах слабких мереж кар'єра, високий коефіцієнт потужності $\cos \varphi$ та відносно проста структура механізму для регуляції швидкості двигунів. Проте існуючі схеми управління приводами, що забезпечують підйом, напір і поворот, мають певні недоліки, пов'язані з використанням застарілих магнітних підсилювачів. Серед недоліків можна виокремити неплавне регулювання швидкості двигунів через дискретність впливу, значні динамічні навантаження, які найбільше помітні в умовах скельних забоїв, недостатню швидкість реакції магнітних підсилювачів та незадовільне використання системи Г-Д для зменшення коливань у головних механізмах. Основна проблема полягає в тому, що головні механізми працюють як двомасові системи з нежорсткою кінематикою. Складною операцією, що викликає зовнішні навантаження, є процес, робота якого потребує ретельного опису. Під час функціонування беруть участь два електроприводи, тому під час створення математичної моделі важливо врахувати і кінематичні характеристики приводів, і їхню взаємодію. Найважливішим аспектом є зміна параметрів електроприводів, зумовлена зміною геометричного положення [4].

Екскаватор ЕКГ-8І складається з робочого обладнання, поворотної платформи, на якій розміщені механізми, а також ходового візка. Робоче обладнання включає стрілу, рукоять, ківш з підвіскою, механізм, що відкриває днище ковша, та підвіску стріли. Шарнірно-зчленована стріла складається з верхньої та нижньої секцій, виготовлених із трубчастих матеріалів. Вона сприймає навантаження від ковша через рукоятку і передає їх на поворотну платформу [5].

кціонує в парі з електродвигуном і редуктором, з'єднаним через фрикційну муфту, яка контролює граничний момент. Гальмування під час операцій відбувається за рахунок протитечії, а для загального гальмування напірного механізму, коли машина зупинена або знеструмлена, передбачено пневматичне гальмо, яке уніфіковане з підйомним механізмом.

Підйомний механізм використовується для підйому і опускання ковша, і він також складається з підйомної лебідки та канатів. Цей механізм приводиться в рух двома електродвигунами, які з'єднані з редуктором за допомогою пружних муфт. Барабани, на які намотуються підйомні канати, закріплені на вихідних валах редуктора. Гальмування підйомного механізму здійснюється протитечією, а під час зупинки екскаватора за дії пневматичних гальм.

Поворотний механізм екскаватора забезпечує обертання платформи, на якій розміщені механізми та робоче обладнання. Привід на поворот реалізується за допомогою двох ідентичних механізмів, кожен з яких має електродвигун і редуктор. Гальмування поворотного механізму натомість відбувається через гальмівні шківни на валу електродвигуна. Пневматична схема відповідає за управління гальмами, обдування стисненим повітрям електрообладнання, управління сходами і подачу сигналів.

Компресорна станція, оснащена компресором ВВ-07/8 із приводом від електродвигуна та двома послідовно з'єднаними повітрозбірниками, слугує джерелом повітря, яке нагнітається для живлення пневматичних систем. Загальний обсяг цих повітрозбірників складає 47 літрів. В установці присутній повітряний фільтр, масловіддільник з зворотним клапаном та спускним краном. Ходовий механізм забезпечує переміщення екскаватора та складається з електродвигуна, гальма, редуктора та бортових передач гусеничного ходу. Електродвигун розміщений на корпусі редуктора, закріпленого на рамі гусеничного ходу й з'єднаного еластичною муфтою. Системи нового покоління вітчизняного та зарубіжного екскаваторобудування включають роздільний привід на кожен гусеницю [5].

Усі зубчасті передачі укладені в пилонепроникні масляні ванни, а вали перебувають на коченнях. Механізми на поворотній платформі (за винятком напірного) закриті металевими кузовами, забезпеченими вентиляцією та внутрішнім освітленням. Кабіна машиніста, піднята над кузовом, забезпечує гарний огляд, є просторою, герметичною, а також оснащена системою опалення та обігріву скла.

Екскаватор має додаткові механізми, які сприяють виконанню ремонтних і монтажних робіт. У разі потреби екскаватор ЕКГ-8И може бути модернізований до модифікацій ЕКГ-4У або ЕКГ-6.3УС шляхом заміни робочого обладнання. Основні вузли мають уніфікацію з відповідними елементами екскаваторів попередніх моделей. Кожен екскаватор комплектується набором інструментів і запасних частин. Рекомендуються певні види мастила, представлені в таблицях. Вага інструментів і пристроїв складає 1040 кг, запасних частин [6].

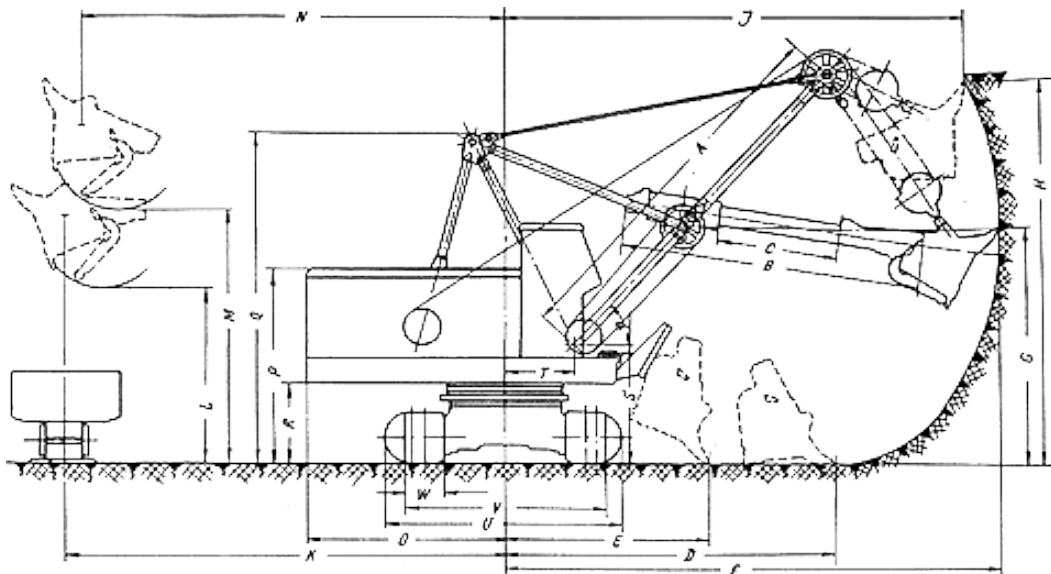


Рисунок 1.2. Схема робочих розмірів екскаватора ЭКГ-8И

Ескаватори слугують виїмковими вантажними машинами циклічної дії, призначеними для видобутку породи або ґрунту, а також для навантаження цих матеріалів на транспортні засоби. За сферами застосування ескаватори поділяються на гірські та будівельні. Гірські моделі мають значно більшу масу, розміри та потужність через складні умови експлуатації у порівнянні з будівельними.

В гірських кар'єрах, де важливими є вимоги до безпеки на фоні загазованості, використання дизельних приводів є обмеженим. Більшість кар'єрних ескаваторів працює на змінній трифазній напрузі, зазвичай в межах 6 кВ або вище, включаючи 10 до 35 кВ. У деяких випадках застосування дизельних моделей спростило експлуатацію, оскільки дозволило уникнути потреби в складних електричних мережах, зменшуючи таким чином час простою у зв'язку з частими відключеннями електроенергії.

Гусеничні ескаватори на кар'єрах мають багатодвигунний привід, що охоплює основні механізми для напору, підйому, повороту та ходу. До цього також входять допоміжні механізми для компресорів, насосів та вентиляторів. Електроприводи можуть використовувати як постійний, так і змінний струм, причому для малих потужностей застосовують змінний струм, тоді як для середніх та великих — постійний.

Постійні електроприводи забезпечуються за допомогою перетворювальних установок, які складені з мережевих двигунів та генераторів постійного струму або тиристорних перетворювачів. Асинхронні двигуни з короткозамкненими роторами, зазвичай, використовуються для управління допоміжними механізмами. Напруга 6 кВ постачається на ескаватор через гнучкі кабелі типу КГЕ або КШВГ (Е) (ХЛ), які підключені до розподільних пунктів, що живляться від повітряних або кабельних ліній кар'єрних мереж.

Схема електропостачання ескаватора зображена на рис. 1.3.

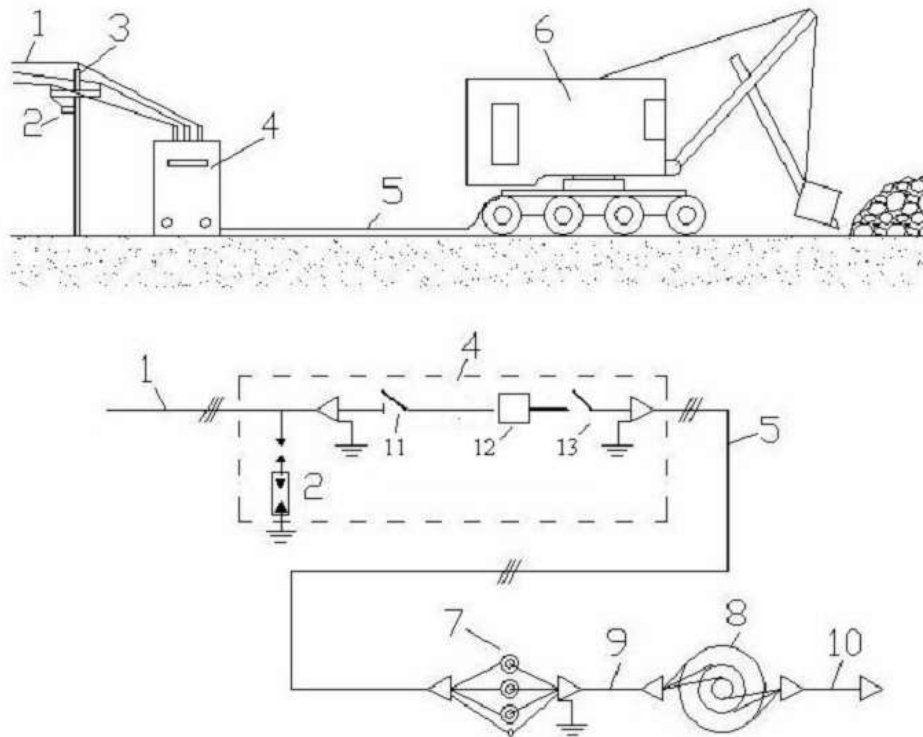


Рисунок 1.3 - Схема живлення кар'єрного екскаватора.

1 Повітряна лінія 6-10 кВ, 2 Розрядники, 3 Опора, 4 Високовольтний приключення пункт, 5 Високовольтний гнучкий кабель, 6 Екскаватор, 7 Опорні ізолятори ввідної коробки, 8 Високовольтний кільцевий струмоприймач, 9 і 10 Перша і друга високовольтні кабельні перемички

Екскаватори обладнані основними робочими механізмами, привод яких складається з двигунів постійного струму. Ці двигуни живляться від генераторів постійного струму, які можуть обертатися разом з головним приводом високої напруги, будь це асинхронний або синхронний двигун, або отримувати енергію від тиристорно регульованого перетворювача.

Зазвичай для роботи основних механізмів використовуються один або кілька електродвигунів. Для досягнення рівномірного розподілу навантаження в електроприводах необхідно забезпечити живлення кожного електродвигуна від індивідуального генератора. Це дозволяє здійснювати ефективні з'єднання

якірних ланцюгів генераторів і двигунів у схемі, що сприяє однорідному розподілу електрорушійної сили (ЕРС) та зменшенню динамічних навантажень. Індивідуальне живлення, пов'язане з демпфуючою здатністю електроприводу, зменшує динамічні навантаження під час переходів та на стабільних швидкостях. Спочатку струм в якорі залишається низьким, що активує гнучку негативну зв'язку з генераторами. У міру збільшення струму підвищується замикаюча напруга, що призводить до намалювання сигналу цього зв'язку. Поетапне зменшення зв'язку забезпечує плавність у процесах.

Однак при індивідуальному живленні кожного двигуна у багатодвигунному приводі можуть виникати труднощі з рівномірним розподілом навантажень. Це часто веде до того, що двигуни об'єднуються в групи, до складу яких входять два електродвигуни та два генератори, з послідовно з'єднаними якірними ланцюгами. Це забезпечує однаковість струму і моментів, розвиваються ними, хоча можливі коливання в потоку між двигунами призводять до незначних розбіжностей. Для збалансування навантаження в групах обмотки збудження генераторів зазвичай об'єднуються у схеми послідовного і паралельного з'єднання, що забезпечує регулювання навантаження в механізмах. Вибір двигунів для певної групи, наприклад, для приводу повороту, є складним завданням і залежить від багатьох факторів, включаючи розташування редукторів та жорсткість механізму.

Оптимізація кількості генераторів може полегшити конструктивне розміщення обладнання в перетворювальних системах та на поворотній платформі.

Схема живлення головних кіл екскаватора ЕКГ-8И зображена на рис. 1.4.

Робочий цикл екскаватора в процесі видобутку і навантаження корисних копалин представлений на рис. 1.4.

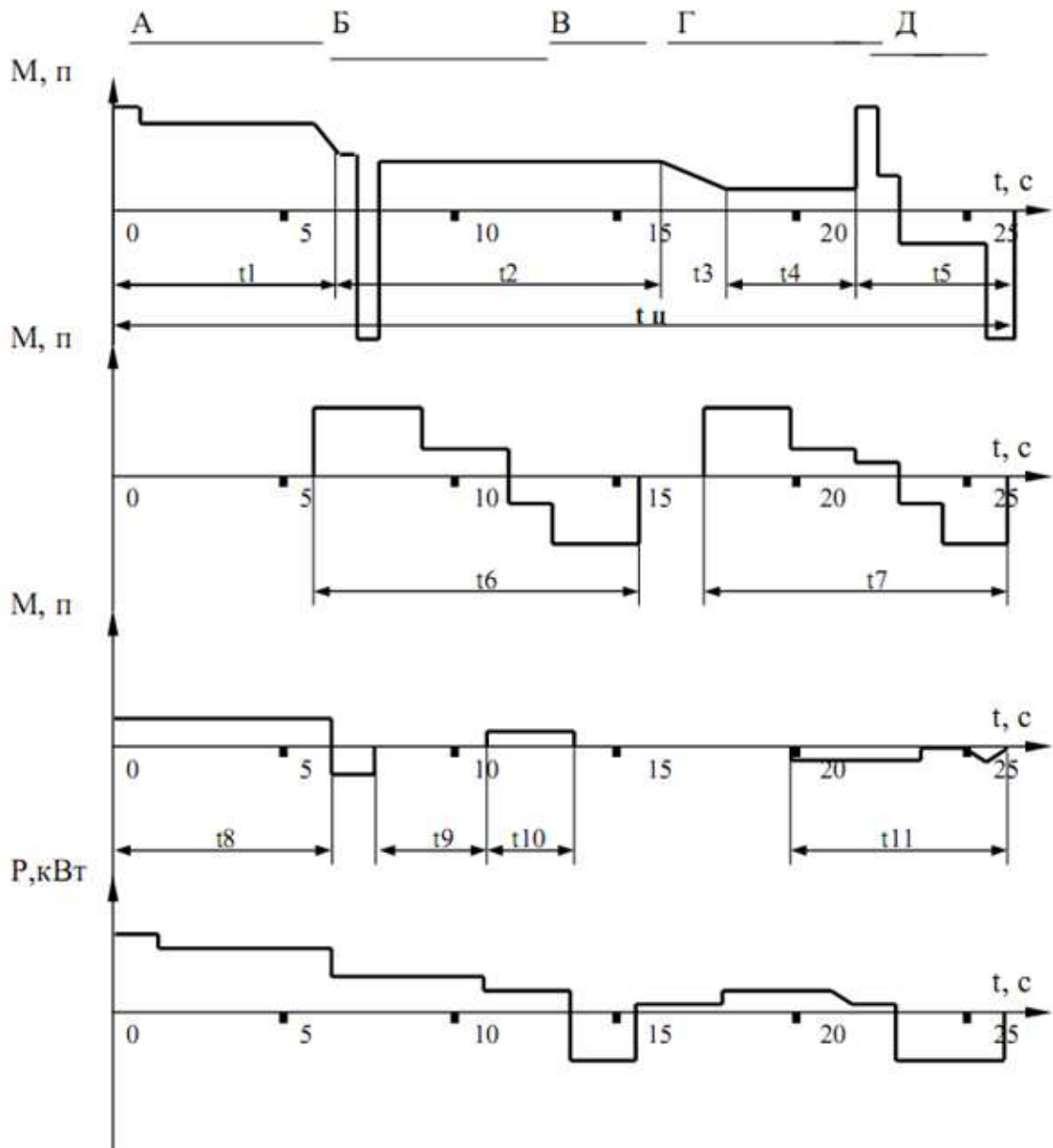


Рисунок 1.4 Навантажувальні діаграми основних механізмів екскаватора.

Екскаватор складається з кількох основних етапів: впровадження ковша в ґрунт, поворот для розвантаження, сам процес розвантаження, повернення ковша у забій, а також його опускання. Ці етапи можна охарактеризувати часовими параметрами, такими як t_1 , що відповідає за копання, t_2 — за підйом

навантаженого ковша і його утримання, t_3 — за розвантаження, t_4 — за утримання порожнього ковша під час повороту до місця копання після завершення розвантаження, та t_5 — за опускання порожнього ковша з гальмуванням.

У приводу повороту t_6 показує розгін і гальмування платформи з навантаженим ковшем, тоді як t_7 відноситься до тих же дій із порожнім ковшем. Привід напору постає в момент, коли t_8 демонструє напір під час копання, t_9 — повернення рукояті з навантаженим ковшем, t_{10} — переміщення рукояті в момент повороту на розвантаження, та t_{11} — витягування рукояті з порожнім ковшем при подачі його в забій.

Ці графіки свідчать про те, що робота головних приводів екскаватора супроводжується частими змінами навантаження. Саме тому механізми екскаватора повинні мати м'які робочі та регульовальні характеристики. Двигуни постійного струму, завдяки своїм властивостям, найкраще відповідають цим вимогам, що й обумовлює їхнє використання в основних механізмах екскаватора. На таких машинах зазвичай встановлюють спеціалізовані двигуни постійного струму марок ДП, ДПЕ та ДПВ.

У них кар'єрах широко використовуються екскаватори з різними електромеханічними системами, які забезпечують їх функціональність.

Комбінований кільцевий струмоприймач типу ТКЕ 12-4У2 має високовольтну частину з напругою 6000 В і силою струму 160 А, а низьковольтну частину з 500 В і 150 А. Клас ізоляції — В, вага становить 440 кг.

Високовольтна шафа типу 2КВЕ-6-630-10 УХЛ-2 призначена для роботи з напругою 6 кВ і струмом 630 А, вона витримує струм відключення до 10 кА і має масу 630 кг.

Силовий трансформатор типу ТМЕ 160 10-0.69 У1 має потужність 160 кВт, частоту 50 Гц і реалізований в схемі з'єднання У.Ун-О. На його виходах 6000 В передбачено 15,4 А, а 400 В – 231 А, з регулюванням напруги від -1 до +5%. Загальна маса трансформатора становить 970 кг, з яких маса нафти — 264 кг.

Збудник постійного струму типу 2П2 - 250МУХЛ4 має потужність 1,1 кВт, робоча напруга — від 40 до 100 В, а струм — від 350 до 110 А при 1500 об/хв. ККД складає 73%, а режим роботи — S1. Захист — IP 23, а маса апарату досягає 550 кг.

Генератор підйому типу ПЕМ 151 - 8К - У2 має потужність 500 кВт з напругою 560 В і струмом 896 А при 1000 об/хв. Збудження у нього незалежне з напругою 31 В і струмом 26 А. ККД складає 93,2%, і клас ізоляції — F із загальною масою 6043 кг.

Генератор напору, тип 2 ПЕМ-2000М У2, має потужність 118 кВт з напругою 330 В і струмом 357 А при 1000 об/хв. Збудження незалежне, напруга становить 35,4 В, а струм — 20,8 А. ККД дорівнює 92,8%, клас ізоляції — F, маса генератора — 2030 кг та відповідає ГОСТ 183-74.

Генератор повороту-ходу тип ПЕМ 141-4К-2У2 потужністю 250 кВт з напругою 630 В має струм 357 А при 1000 об/хв. Збудження аналогічне — незалежне з напругою 30,5 В та струмом 12,5 А, ККД складає 92,5%, клас ізоляції F, маса — 4234 кг та режим — S7.

Ще один генератор постійного струму, тип 2ПН 225 М УХЛ4, має потужність 30 кВт з напругою 115 В і струмом 261 А, працюючи на 1500 об/хв. Збудження незалежне з напругою 250 В та класом ізоляції F. ККД досягає 85,3% при режимі S1 та ступені захисту IP 22, вага — 400 кг.

Два двигуни підйому типу ДЕ816-У2 працюють у режимі S3 з ПВ-100%, маючи потужність 190 кВт, напругу

Висновки

Проаналізовано типові навантажувальні діаграми для її основних механізмів. Окрім цього, наведені специфікації електрообладнання екскаватора, характеристики генераторів постійного струму та приводних двигунів усіх механізмів моделі ЕКГ-8И.

2. АНАЛІЗ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗІМКНЕНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

У приводі підйому використовується генератор ПЭМ-151-8К з наступними параметрами:

Номинальна потужність

$$P_{Г.Н.} = 500 \text{ кВт}$$

Номинальна напруга

$$U_{Г.Н.} = 560 \text{ В}$$

Номинальний струм якоря

$$I_{Г.Н.} = 895 \text{ А}$$

Номинальна швидкість обертання

$$N_{НОМ.Г.} = 1000 \text{ об/хв}$$

Кількість пар полюсів $2p = 4$

Кількість паралельних гілок обмотки якоря

$$2a = 4 + 4$$

Опір обмотки якоря при температурі 20° С

$$R_{Я} = 0,075 \text{ Ом}$$

Опір додаткових полюсів при температурі 20° С

$$R_{ДП} = 0,00153 \text{ Ом}$$

Опір компенсаційної обмотки при температурі 20° С

$$R_{КОГ} = 0,00516 \text{ Ом}$$

Кількість витків обмотки збудження на полюс

$$N_{В} = 280$$

Номинальна напруга збудження

$$U_{В.Н.} = 31 \text{ В}$$

Номинальний струм обмотки збудження

$$I_{В.Н.} = 19,3 \text{ А}$$

Опір якорного кола генератора, приведений до температури 75° С

$$R_{я} = 1,22 \cdot (0,075 + 0,00153 + 0,00516) = 0,098 \text{ Ом}$$

Індуктивність якiрного кола

$$L_{яг} = 0,6 \frac{U_{н}}{p \cdot I_{н} \cdot \omega_{н}} = 0,0027 \text{ Гн}$$

У приводі підйому використовується два двигуни ДЭ-816 з наступними параметрами:

Номинальна потужність

$$P_{дн} = 190 \text{ кВт}$$

Номинальна напруга

$$U_{дн} = 300 \text{ В}$$

Номинальний струм якоря

$$I_{нд} = 705 \text{ А}$$

Номинальна швидкість обертання

$$N_{дн} = 720 \text{ об/хв}$$

Номинальний струм обмотки збудження

$$I_{вн} = 17,2 \text{ А}$$

Число пар полюсів

$$2p = 4$$

Опір обмотки якоря при температурі 20° С

$$R_{я} = 0,0055 \text{ Ом}$$

Опір додаткових полюсів при температурі 20° С

$$R_{дп} = 0,0032 \text{ Ом}$$

Опір обмотки збудження при температурі 20° С

$$R_{в} = 4,76 \text{ Ом}$$

Момент інерції двигуна

$$J_{д} = 12 \text{ кгм}^2$$

Опір якiрного кола двигуна, приведений до температури 75° С

$$R_{яд} = 1,22 \cdot (0,055 + 0,0032) + 2/360 = 0,0754 \text{ Ом}$$

Індуктивність якiрного кола

$$L_{\text{яг}} = 0,6 \frac{U_{\text{н}}}{p \cdot I_{\text{н}} \cdot \omega_{\text{н}}} = 0,00323 \text{ Гн}$$

Коефіцієнт потоку двигуна

$$k\Phi = \frac{U_{\text{н}} - I_{\text{н}} \cdot R_{\text{яд}}}{\omega_{\text{н}}} = 3.265 \text{ В} \cdot \text{с}$$

Швидкісні та механічні характеристики електроприводу постійного струму можуть бути розраховані за наступними формулами:

$$\omega(I_a) = \frac{U_a - I_a \cdot R_{a\Sigma}}{k\Phi}$$
$$\omega(M_{\text{эм}}) = \frac{U_a - I_a \cdot k\Phi \cdot R_{a\Sigma}}{k\Phi}$$

На зазначених формул можна провести розрахунок швидкісних та механічних характеристик електроприводу підйому екскаватора ЕКГ-8И, враховуючи наведені параметри схеми заміщення для приводного двигуна та генератора.

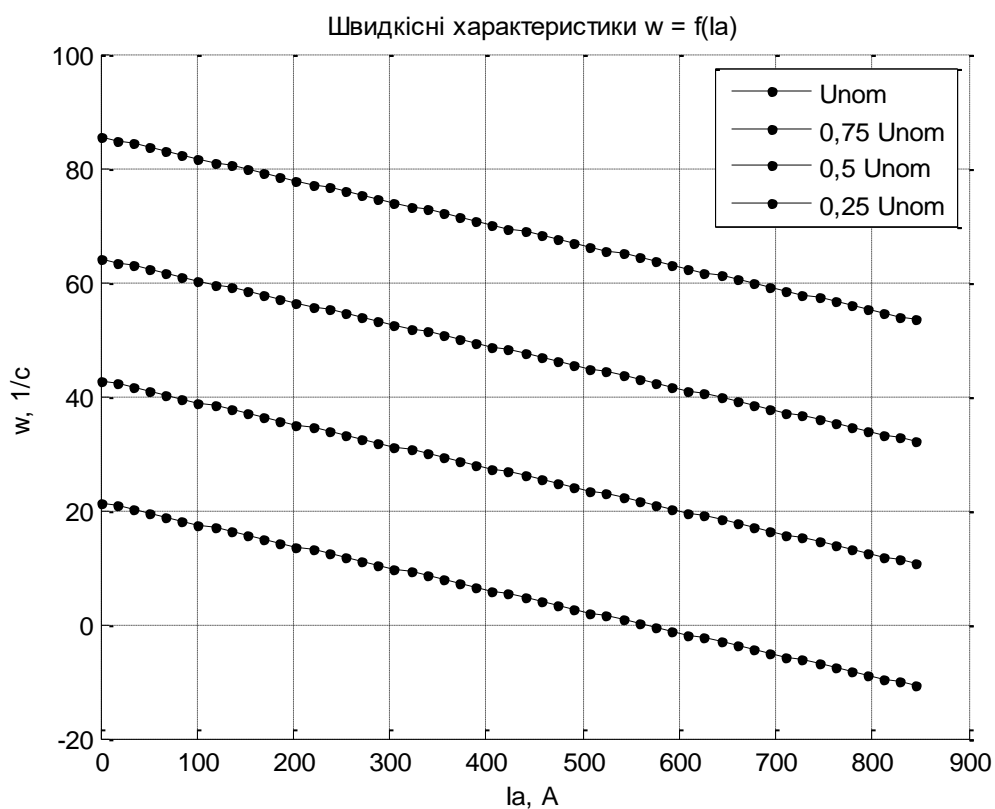
При аналізі електроприводу за системою Г-Д, в умовах послідовного з'єднання якiрних кіл, можна отримати відповідні математичні співвідношення та результуючі характеристики. Цей підхід дозволить визначити ключові показники, що впливають на ефективність роботи електроприводу підйому:

$$R_{a\Sigma} = R_{\Gamma} + 2 \cdot R_{\text{д}} = 0,2488 \text{ Ом}$$

Коефіцієнт потоку при послідовному з'єднанні якірних кіл

$$k\Phi_{\Sigma} = 2 \cdot k\Phi = 6,53$$

Розрахунки по приведених вище формулах були виконані за допомогою програми MATLAB. Результати розрахунків статичних і енергетичних характеристик електродвигуна приведені нижче на рис.2.4.



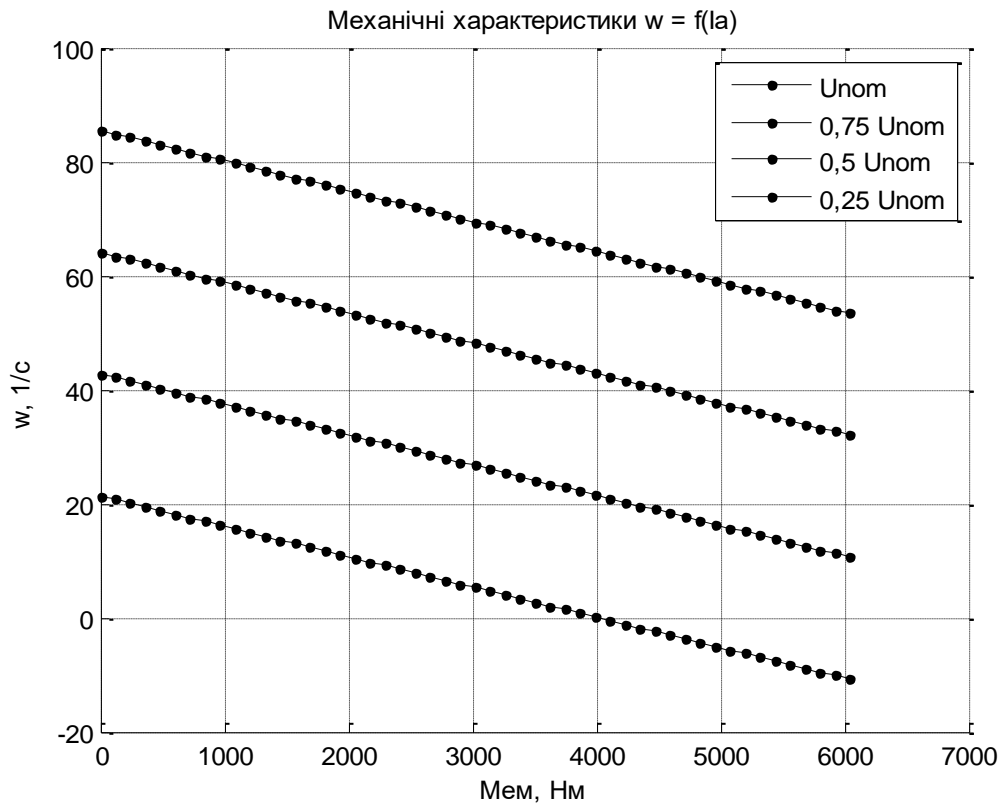


Рисунок 2.4 Статичні характеристики електроприводу підйому екскаватора ЕКГ-8И

Текст програми розрахунку статичних характеристик наведено у додатках.

Статизм механічної характеристики електроприводу підйому складає

$$\Delta = \frac{\omega_0 - \omega_{ном}}{\omega_0} \cdot 100\% = 29,8 \%$$

Статизм механічної характеристики електроприводу підйому при мінімальній напрузі на затискачах якоря складає

$$\Delta = \frac{\omega_{0min} - \omega_{номmin}}{\omega_{0min}} \cdot 100\% = 136,4 \%$$

Залежність ККД електроприводу постійного струму від навантаження можна обчислити за наступною формулою:

$$\eta(I_a) = \frac{I_a \cdot k\Phi \cdot \omega}{I_a \cdot U_a + \Delta P_{const}}$$

де ΔP_{const} – умовно постійні втрати електроенергії електропривода

$$\Delta P_{const} = 3 \cdot 0,5 \cdot P_{ном} \cdot (1 - \eta_{ном}) = 0,55 \text{ кВт}$$

Залежність ККД електроприводу підйому від струму якірного кола зображена на рис.2.5. Текст програми розрахунку енергетичних характеристик наведено у додатках.

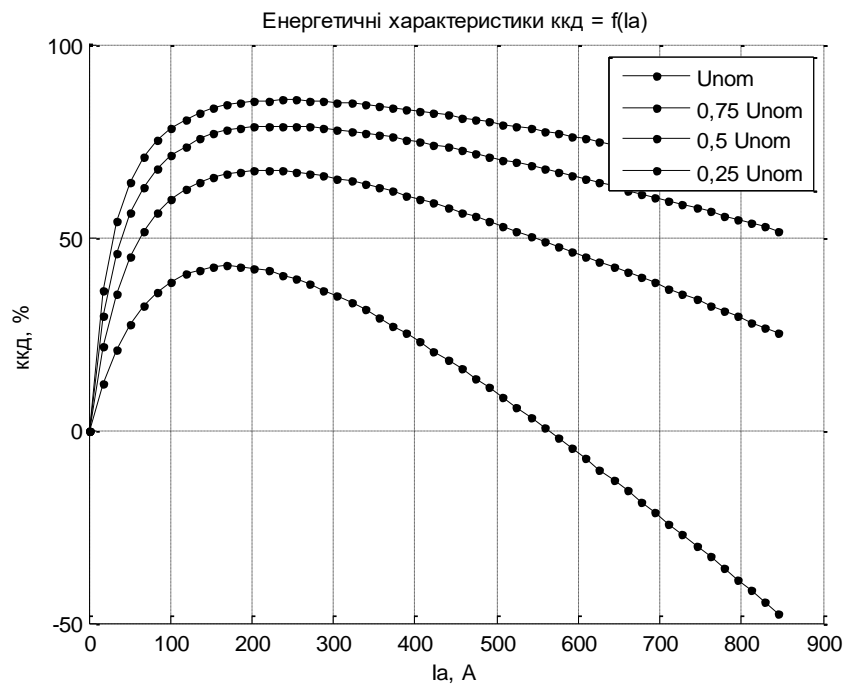


Рисунок 2.5 Енергетичні характеристики електроприводу підйому екскаватора ЕКГ-8И

Значення коефіцієнту корисної дії електроприводу при номінальному навантаженні складає 78%.

Висновки

У розділі були виконані розрахунки характеристик електроприводу підйому екскаватора ЕКГ-8И, зосереджуючись на регулюванні вихідної напруги генератора, що забезпечує живлення. Статизм характеристик електроприводу в обраному діапазоні швидкості коливається від 29,8% до 136,4%.

Також проведено аналіз залежності коефіцієнту корисної дії електроприводу підйому. Значення цього коефіцієнту при номінальному навантаженні досягає 78%, що свідчить про ефективність роботи даної системи в умовах її експлуатації.

3. МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Математична модель електричної машини (ЕМ) будь-якого типу складається з рівнянь електричної рівноваги всіх контурів ЕМ та рівняння руху ротора.

Розглянемо принципову схему (рис.3.1. а) і схему заміщення ДПС (рис.3.1. б).

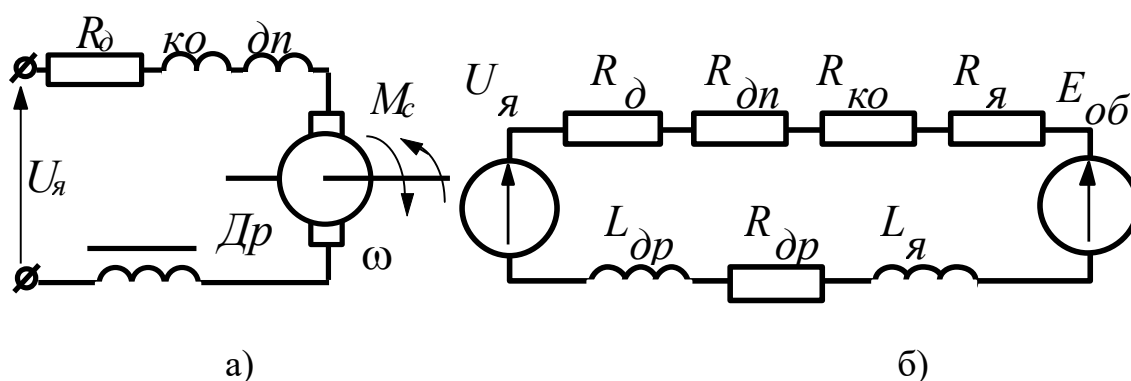


Рисунок 3.1 Схеми двигуна постійного струму: а) принципова; б) заміщення

Машини постійного струму використовуються кілька ключових припущень. По-перше, струм збудження вважається сталим. По-друге, не враховуються ефекти насичення як у контурі основного магнітного потоку, так і в контурі розсіювання. Також не береться до уваги вплив вихрових струмів. Важливо зазначити, що машина вважається повністю скомпенсованою, що означає, що реакція якоря не впливає на її роботу.

Враховуючи ці припущення, всі параметри схеми заміщення стосуються сталих значень. В результаті можна сформулювати рівняння електричної рівноваги, спираючись на другий закон Кірхгофа, що дозволяє визначити співвідношення між електричними величинами в контурі машини.:

$$U_{я} = k\phi \cdot \omega + I_{я}R_{\Sigma} + L_{\Sigma} \frac{dI_{я}}{dt}, \quad (3.1)$$

та рівняння руху електропривода:

$$J \frac{d\omega}{dt} = k\phi \cdot I_{\text{я}} - M_c \quad (3.2)$$

Або в канонічній формі:

$$L_{\Sigma} \frac{dI_{\text{я}}}{dt} = U_{\text{я}} - k\phi \cdot \omega - I_{\text{я}} R_{\Sigma} \quad (3.3)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = k\phi \cdot I_{\text{я}} - M_c \quad (3.4)$$

Основою на раніше згаданих особливостях, система рівнянь механічної системи (МПС) є лінійною та дозволяє отримати аналітичні рішення. Однак у процесі дослідження параметри МПС можуть змінюватися, і це призводить до того, що система рівнянь стає нелінійною. Таке перетворення може відбуватися, наприклад, коли регулювання швидкості здійснюється через зміну величини магнітного потоку, враховуючи криву намагнічування.

При проведенні чисельного розв'язання системи диференціальних рівнянь зміни параметрів моделі можна легко врахувати, додаючи необхідні диференціальні або алгебраїчні рівняння. Для належного моделювання на автоматизованих обчислювальних машинах (АОМ) або використання програм структурного моделювання необхідно створити структурну схему МПС, в якій будуть відображені всі особливості роботи системи.

Розділимо рівняння електричної рівноваги на R_{Σ} і введемо позначення електромагнітної сталої часу:

$$T_e = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \quad (3.5)$$

Тоді

$$\frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \frac{dI_{я}}{dt} = \frac{U_{я} - k\phi \cdot \omega}{R_{\Sigma}} - I_{я} \quad (3.6)$$

або в операторній формі:

$$(T_e p + 1) = \frac{1}{R_{\Sigma}} (U_{я} - k\phi \cdot \omega) \quad (3.7)$$

Поклавши коефіцієнт передачі - $k_{\omega} = \frac{1}{R_{\Sigma}}$, одержимо передаточну функцію за струмом у вигляді аперіодичної ланки:

$$W_I(p) = \frac{I(p)}{U(p) - k\phi \cdot \omega(p)} = \frac{k_{\omega}}{T_e p + 1} \quad (3.8)$$

Записавши в операторній формі основне рівняння динаміки отримаємо передаточну функцію за швидкістю - передаточну функцію інтегруючої ланки:

$$W_{\omega}(p) = \frac{\omega(p)}{M(p) - M_c(p)} = \frac{1}{Jp} \quad (3.9)$$

З урахуванням виразів $E = k\phi \cdot \omega$ і $M = k\phi \cdot I$ складемо структурну схему у вигляді, що наведено на рис.4.3.

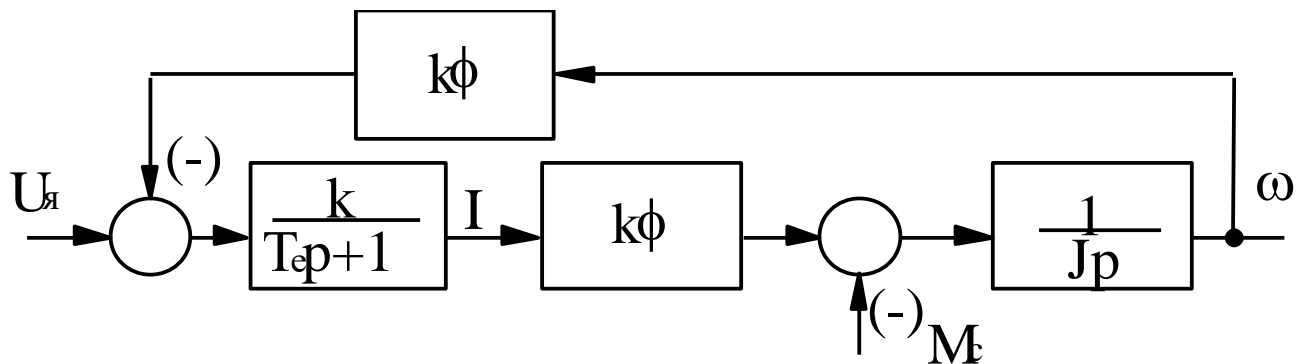


Рисунок 3.2 Структурна схема двигуна постійного струму незалежного збудження

Схеми регуляторами та іншими компонентами дає змогу проводити дослідження стійкості електромеханічних систем (ЕМС) та інших характеристик. Під час обертання генератора в обмотці якоря, як видно на рисунку 4.3, наводиться електрорушійна сила (ЕРС) обертання.

Магнітний потік в системі змінюється в залежності від струму збудження при стабільній швидкості. Модель об'єкта управління, що була розглянута раніше, залишається актуальною і для двигуна. В цих умовах генераторна подача сигналу (ГПС) відрізняється наступною системою рівнянь, які описують її динамічні характеристики.:

$$E_z = f(I_{зб});$$

$$L_{зб} \frac{dI_{зб}}{dt} = U_{зб} - I_{зб} R_{зб}. \quad (3.10)$$

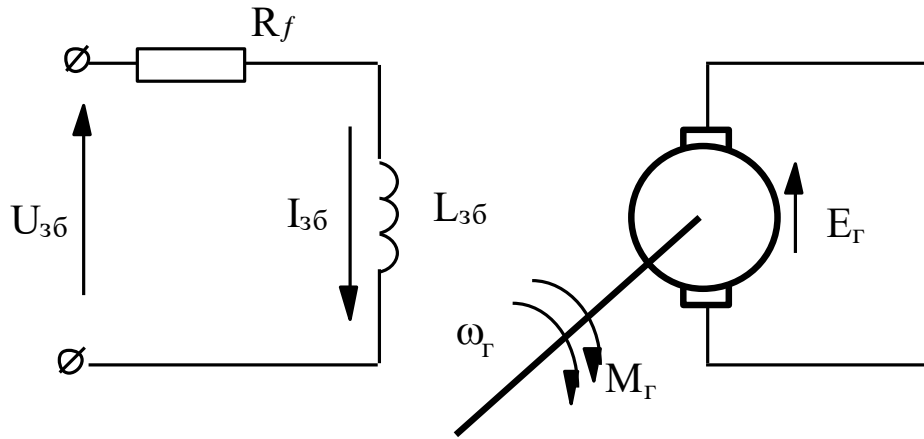


Рисунок 3.3 Принципова схема ГПС

Необхідно брати до уваги, що Е.Р.С. ГПС може змінювати знак (що для двигунів недопустимо), тому крива намагнічування генератора симетрична в I і III квадрантах.

Структурна схема ГПС в електроприводі за системою Г-Д, при умові, що $\omega_2 = const$, наведена на рис.3.4:

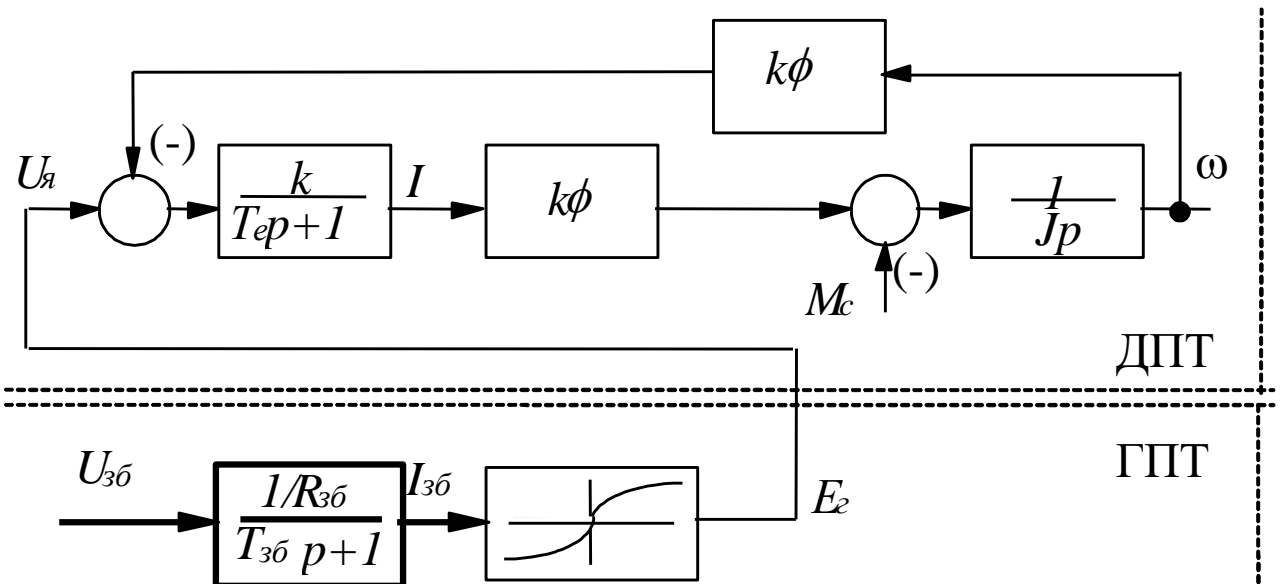


Рисунок 3.4 Структурна схема Г-Д

На структурних схем, представлених на рисунках 3.4 та 3.2, формується структурна схема електропривода Г-Д у програмі Matlab/Simulink. Керування обмоткою збудження генератора підйому реалізується через магнітний підсилювач або тиристорний збудник.

У математичній моделі керування обмоткою збудження використовується блок Transfer Fcn. Для цього блоку задана постійна часу (T_{mu}), яка становитиме $T_{mu} = 0,1$ с для магнітного підсилювача, і $T_{mu} = 0,01$ с для тиристорного збудника. Така налаштування дозволяє адекватно відобразити динамічні характеристики системи в моделі.

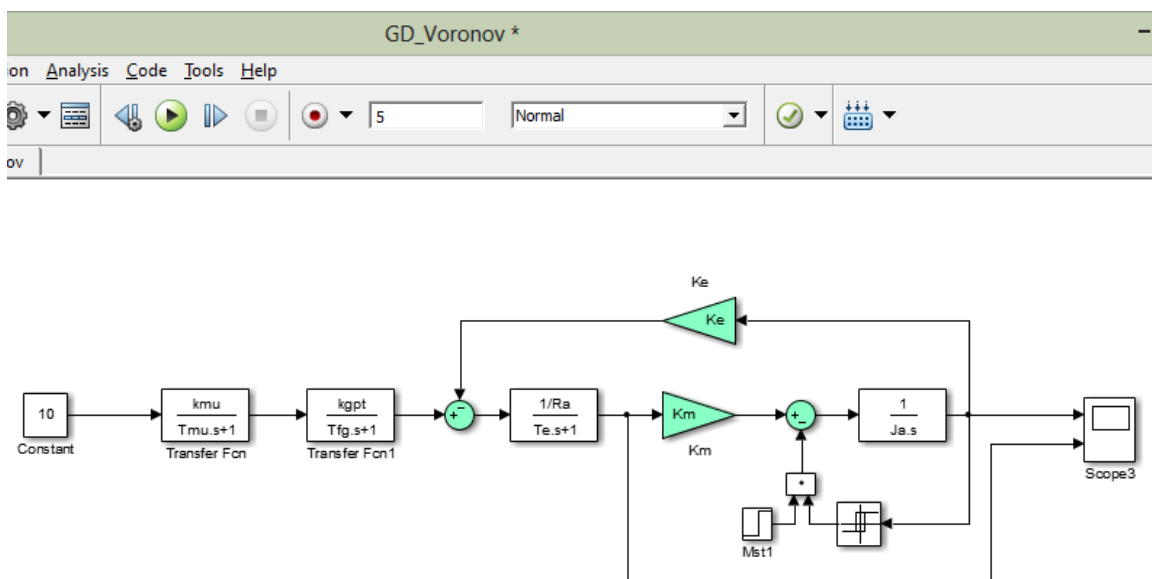


Рисунок 3.5 Структурна схема електроприводу Г-Д у програмі Matlab/Simulink.

За допомогою цієї моделі було розраховано діаграми запуску та збільшення навантаження при роботі електроприводу підйому з живленням обмотки збудження генератора від магнітного підсилювача (рис.3.6) та тиристорного збудника (рис.3.7).

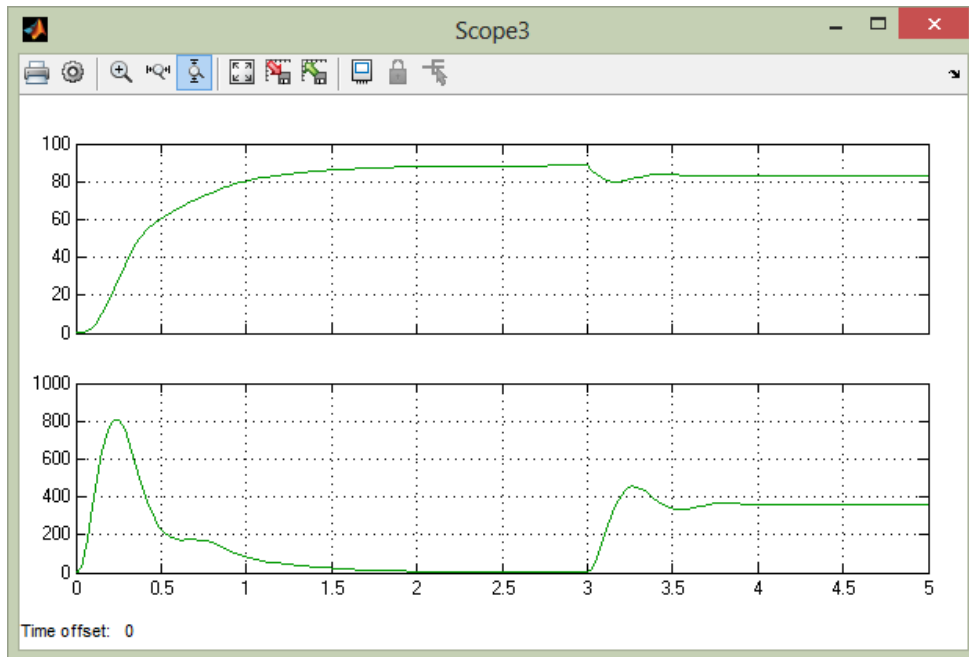


Рисунок 3.6 Часові діаграми запуску Г-Д привода підйома екскаватора при живленні обмотки збудження генератора від магнітного підсилювача

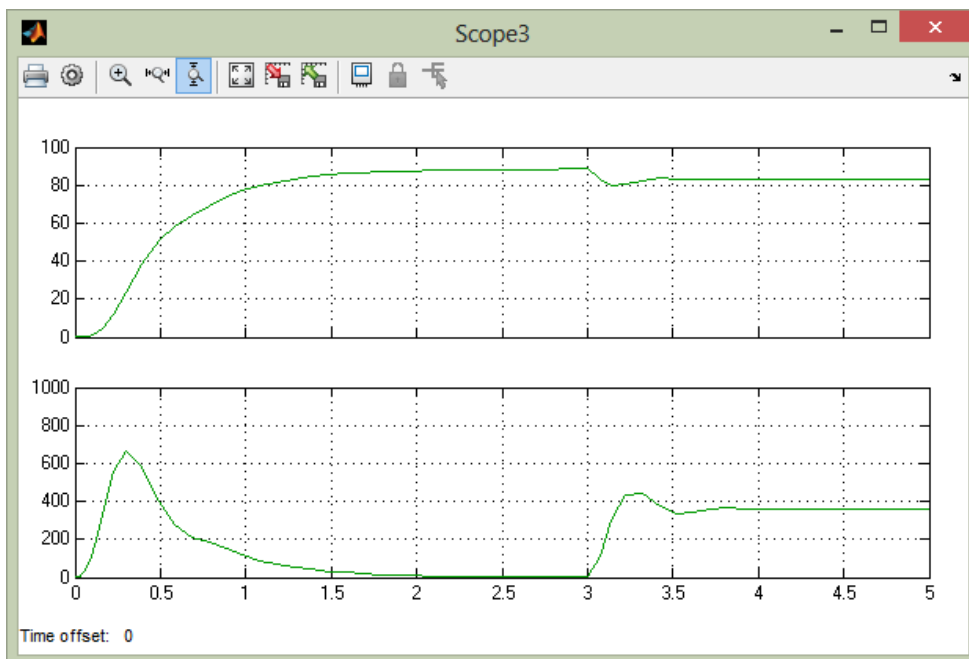


Рисунок 3.7 Часові діаграми запуску Г-Д привода підйома екскаватора при живленні обмотки збудження генератора від тиристорного збудника

Як з представлених діаграм, при живленні обмотки збудження генератора магнітним підсилювачем час розгону приводу до номінальної швидкості дорівнює 1,9 с. У випадку, коли обмотка збудження живиться від тиристорного збудника, цей час зменшується до 1,5 с. Використання замкнених систем управління з можливістю короточасного значного форсування напруги обмотки збудження генератора може ще більше зменшити час розгону.

Отримані результати вказують на те, що перехід від магнітного підсилювача до тиристорного збудника може спричинити покращення динамічних властивостей електроприводу підйому, що, у свою чергу, позитивно позначиться на загальному рівні продуктивності екскаватора.

Складовою технологічного процесу відкритого видобутку корисних копалин є екскавація породи. Однак упродовж останнього часу спостерігається зниження основних техніко-економічних показників використання кар'єрного обладнання, включаючи екскаватори, що частково можна пояснити недостатньою надійністю цих машин. Підвищення технічного рівня кар'єрних екскаваторів вимагає розробки математичної моделі, яка адекватно відображає їх основні робочі процеси.

Для опису динамічних процесів, які відбуваються під час роботи кар'єрних екскаваторів, кінематичні схеми їх приводів представляються як багатомасові механічні системи. Загальноприйнятою практикою є спрощення повних розрахункових схем до двомасових. У таких розрахунках параметри вважаються постійними. Проте в реальних умовах під час роботи ці параметри змінюються, що може викликати помилки в оцінці навантажень окремих елементів екскаваторів і ускладнює дослідження їх надійності.

Процес копання, що виконується кар'єрним екскаватором, є найбільш складною операцією з точки зору зовнішніх навантажень. Тому важливим є детальне описання роботи екскаватора в цьому режимі. У процесі копання за-

діяні два електроприводи: підйому і напору, що вимагає врахування як кінематичних характеристик, так і їхньої взаємодії. Важливу роль у цій моделі відіграє зміна параметрів електроприводів, що викликані змінами геометричного положення ковша та рукоятки. Спрощена розрахункова схема взаємопов'язаних електроприводів підйому продемонстрована на рисунку 3.8.

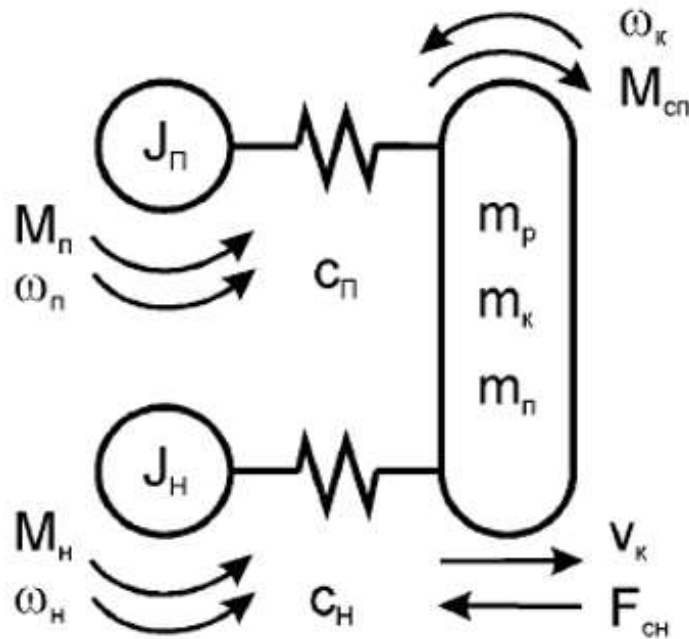


Рисунок 3.8 Розрахункова схема взаємодії електроприводів підйому та підйому екскаватора.

Найї схемі використовуються такі позначення: J_n - сумарний приведений момент інерції першої маси приводу підйому, що враховує момент інерції ротора двигуна, редуктора і напірного барабана; c_n - приведена жорсткість канатів напірного механізму; J_p - сумарний момент інерції першої маси приводу підйому, що також включає момент інерції ротора двигуна, редуктора і підйомного барабана; c_p - загальна жорсткість канатів підйомного механізму; m_p , m_k , m_n - відповідно маси рукояті, ковша і породи; M_n - електромагнітний момент двигуна підйому, приведений до швидкості напірного барабана; M_p - електромагнітний момент двигуна підйому, приведений до швидкості підйомного

барабана; ω_n , ω_p - кутові швидкості першої маси приводу підйому і підйому; $F_{сн}$, $M_{сн}$ - сили та моменти опору приводу підйому; v_K - лінійна швидкість підйому ковша; ω_K - кутова швидкість ковша і рукояті.

Щоб визначити параметри екскаватора, які залежать від їх просторового розташування, важливо проаналізувати конструкцію підвісу ковша та кріплення рукояті. Маємо вважати, що ківш є матеріальною точкою, а рукоять — стрижнем, маса якого рівномірно розподілена по осі. Конструктивна схема, застосована під час створення моделі взаємопов'язаних електроприводів підйому, ілюструється на рисунку 3.9.

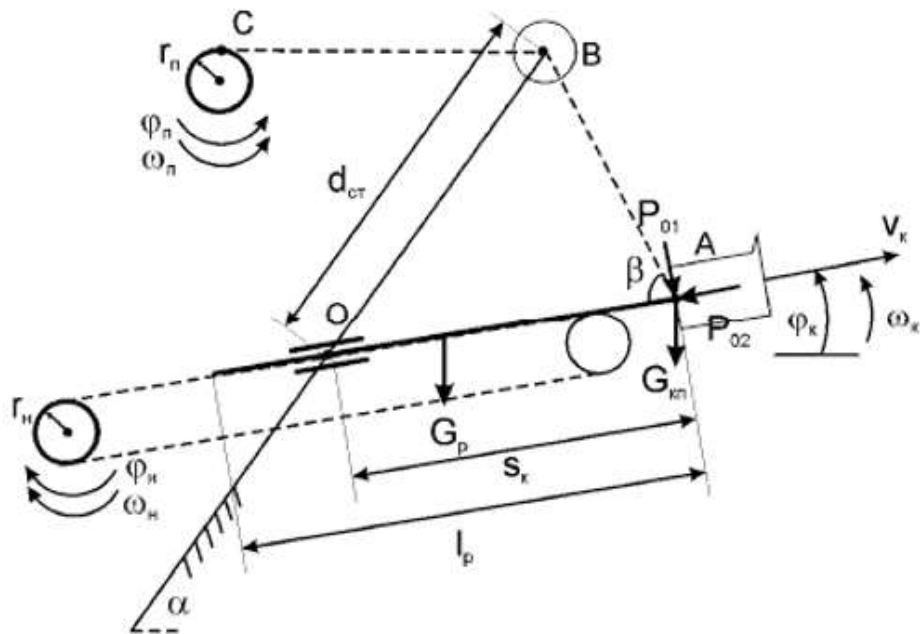


Рисунок 3.9 Схематичне зображення кінематичної схеми приводів екскаватора

Тут прийняті наступні позначення: α - кут нахилу стріли щодо горизонту; β - кут нахилу підйомного каната стосовно рукояті; r_n - радіус напірного барабану; r_n - радіус підйомного барабана; l_p - повна довжина рукояті; d_m - довжина ділянки стріли від сідлового підшипника до головного блоку; $G_{кп}$ - вага ковша з породою; G_p - вага рукояті; P_{01} - тангенціальна сила опору різання; P_{02}

- нормальна сила опору різання; φ_n, φ_n - кутове положення напірного барабана і підйомного барабана відповідно; S_K - величина вибігу рукояті; φ_K - кутове положення рукояті.

Для отримання рівняння руху взаємопов'язаних електроприводів скористаємося рівнянням Лагранжа другого роду:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i$$

де $L = W_K - W_{II}$ - функція Лагранжа; W_K - кінетична енергія; W_{II} - потенційна енергія; q_i - узагальнена координата; Q_i - узагальнена сила. Результатом розв'язання рівняння Лагранжа для механічної підсистеми взаємопов'язаних електроприводів підйому і підйому при виборі в якості узагальнених координат $\varphi_n, \varphi_n, S_K, \varphi_K$ буде система рівнянь:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\omega_n}{dt} = \frac{M_n - r_n \cdot F_{12n}}{J_n}; \quad \frac{d\omega_n}{dt} = \frac{M_n - r_n \cdot F_{12n}}{J_n} \\ \frac{dv_K}{dt} = \frac{F_{12n} + m_p \cdot \omega_K^2 \cdot \left(s_K - \frac{l_p}{2} \right) + (m_K + m_n) \cdot \omega_K^2 \cdot s_K - F_{cm} - F_{12n} \cdot \cos \beta - v_K \cdot \frac{m_n}{dt}}{m_K + m_n + m_p} \\ \frac{d\omega_K}{dt} = \frac{F_{12n} \cdot \sin \beta - M_{cn} - 2m_p \cdot \omega_K \cdot v_K \cdot \left(s_K - \frac{l_p}{2} \right) - 2(m_K + m_n) \cdot \omega_K \cdot v_K \cdot s_K - \omega_K \cdot s_K^2 \cdot \frac{m_n}{dt}}{m_p \cdot \left(s_K - \frac{l_p}{2} \right)^2 + m_p \cdot \frac{l_p}{12} + (m_p + m_n) \cdot s_K^2} \\ \frac{d\varphi_n}{dt} = \omega_n; \quad \frac{d\varphi_K}{dt} = \omega_K; \quad \frac{d\varphi_n}{dt} = \omega_n; \quad \frac{ds_K}{dt} = v_K; \end{array} \right.$$

де F_{12n} - пружна сила в напірному канаті; F_{12n} - пружна сила в підйомному канаті. Як можна бачити, аналізуючи (1), крім пружних сил при роботі електроприводів підйома і підйому кар'єрного екскаватора виникають сили реакції зв'язків, а також сили, викликані зміною параметрів приводів, які створюють додаткову, не враховуються при використанні традиційного підходу. Таким чином, запропонована математична модель більш точно відображає динамічні

процеси, що протікають в механічній частині приводів підйому і підйому.

Пружна сила в напірному канаті $F_{12н}$ визначається залежністю:

$$F_{12н} = c_n(r_n \cdot \varphi_n - (s_K - s_0))$$

де s_0 - початкове значення вибігу рукояті. Для визначення $F_{12н}$ необхідно більш детально розглянути можливі стану підйомного каната. При зміні координат ковша, що приводить до зменшення довжини відрізка АВ (рис. 4.9), в реальному екскаваторі відбувається провисання підйомного каната. Таким чином, підйомний канат може знаходитися тільки в розтягнутому або в нормальному стані. У зв'язку з цим залежність пружної сили в підйомному канаті від координат приводів підйому і підйому є нелінійною і може бути описана як:

$$\begin{cases} F_{12н} = c_n(r_n \cdot \varphi_n - (L_0 - L_{AB})); L_{AB} > L_0 - r_n \cdot \varphi_n \\ F_{12н} = 0; L_{AB} \leq L_0 - r_n \cdot \varphi_n \end{cases}$$

де L_0 - початкове значення довжини каната на відрізку АВ, поточне значення якої визначається як:

$$L_{AB} = \sqrt{s_K^2 + d_{cm}^2 - 2 \cdot s_K \cdot d_{cm} \cdot \cos(\alpha - \varphi_K)}$$

При використанні моделі (1) необхідно враховувати, що маса породи в процесі черпання збільшується. Зміна маси породи m_n можна описати залежністю, яка передбачає, що ківш остаточно заповнюється при його піднятті на максимальний кут підйому φ_{max} . У цьому випадку:

$$\begin{cases} m_n = (\varphi_K - \varphi_0) \frac{V_K \cdot \rho_n}{\varphi_{max} - \varphi_0}; \varphi_K < \varphi_{max} \\ m_n = V_K \cdot \rho_n; \varphi_K \geq \varphi_{max} \end{cases}$$

де V_K - обсяг ковша; ρ_n - об'ємна маса породи.

Крім маси породи, при копанні змінюється також жорсткість пружних зв'язків. Цей параметр залежить від великої кількості факторів, найбільш істотним з котрих є подовження каната. Оскільки загальна довжина напірного каната залишається незмінною, зміна його жорсткості буде незначним, тоді як жорсткість підйомного каната змінюється в більш широких межах. Сумарна жорсткість підйомного каната буде визначатися як [3]:

$$c_n = \frac{E \cdot F}{L_{AB} + L_{BC}}$$

де E - модуль пружності каната; F - сумарна площа всіх дротів у канаті; L_{BC} - довжина підйомного каната на ділянці від підйомного барабана до головного блоку (рис. 3.9).

Під час застосування наведеної математичної моделі важливо враховувати змінний характер навантаження електроприводів. На величину навантаження впливають кілька факторів, серед яких просторове розташування ковша і рукояті, неоднорідність ґрунту, коливання в координаті підйомних і напірних рухів, а також випадкові зміни висоти забою і кута повороту екскаватора під час його роботи.

Вважаємо, що сили опору різання P_{01} і P_{02} мають випадковий характер, тоді як вага ковша з породою $G_{КП}$ є детермінованою величиною, а вагу рукояті G_p можна вважати сталою.

Навантаження на привод підйому формується зі складових сил опору, які діють вздовж рукояті ковша. Враховуючи напрямок цих сил, рівняння для опису даного навантаження може бути представлене в наступному вигляді:

$$F_{сн} = P_{02} + (G_{kn} + G_p) \cdot \sin \varphi_K \quad (3.12)$$

Навантаження на привод підйому визначається як момент сили, що складається зі складових сил опору, спрямованих перпендикулярно рукояті ковша. Рівняння цього навантаження має вигляд:

$$M_{cn} = P_{01} \cdot s_K + G_p \cdot \cos \varphi_K \cdot \left(s_K - \frac{l_p}{2} \right) + G_{kn} \cdot \cos \varphi_K \cdot s_K \quad (3.13)$$

Для остаточного опису навантаження взаємопов'язаних електроприводів підйому і підйому покажемо імовірнісний характер сил опору різання P_{01} , P_{02} . Як правило, у розрахунках приймають, що $P_{02} = 0,1 \cdot P_{01}$ [5]. Для тангенціальної сили опору різання можна записати:

$$P_{01}(t) = \overline{P_{01}}(t) + P_{01}^H \cdot (t) + P_{01}^B \cdot (t) \quad (1.14)$$

де $P_{01}(t)$ - математичне сподівання сили опору різання; $P_{01}^H(t)$ - низькочастотна випадкова складова, яка характеризує варіацію товщини стружки; $P_{01}^B(t)$ - високочастотна випадкова складова, яка характеризує варіацію опору процесові екскавації. Кожна з цих випадкових величин описується відповідною кореляційною функцією. Таким чином, рівняннями (2) - (4) повністю визначається навантаження електроприводів підйому і підйому кар'єрного екскаватора.

Висновки

Обговорюються специфікації математичного моделювання електричних машин постійного струму. Було розроблено математичну модель електроприводу підйому екскаватора, яка працює в системі Г-Д. Проведено порівняльний аналіз часу розгону електроприводу до номінальної швидкості при живленні обмотки збудження генератора від магнітного підсилувача, що займає 1,9 с, та тиристорного збудника, де цей час становить 1,5 с.

Окрім того, була створена математична модель механічної частини взаємопов'язаних електроприводів підйому і напору кар'єрних екскаваторів.

4. МОНТАЖ, НАЛАГОДЖЕННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Принципова схема допоміжних електроприводів, освітлення та обігріву наведена на рисунку 4.1. Усі приводні механізми працюють на основі асинхронних електродвигунів з короткозамкнутим ротором, які розраховані на напругу 380 В. Захист двигунів здійснюється через максимальні реле в автоматичних вимикачах для уникнення коротких замикань, теплові реле захищають від перевантажень, а прилади Ф-4106А забезпечують захист від замикань на «землю».

Насоси для змащення редукторів повороту (М18 і М19) включаються автоматом QF4 і магнітним пускачем КМ1, управління яким відбувається за допомогою кнопок SB. Захист від перевантажень для цих насосів здійснюється тепловими реле КХ1 і КХ2. Двигун компресора (М3) активується автоматом QF5 і магнітним пускачем КМ2, а керування здійснюється пакетним вимикачем SA7 і реле тиску SP.

Вентилятори (М4–М9) для головних двигунів підключаються через автомат QF6 та магнітний пускач КМ3, а їх управління відбувається за допомогою пакетного вимикача SA2. Захист від перевантажень в цих ланцюгах забезпечується тепловими реле КК3–КК8. Вентилятори кузова (М10–М13) включають автомати QF7 та пускач КМ4; управління ними ведеться через пакетний вимикач SA1, а захист від перевантажень реалізовано з допомогою теплових реле КК9–КК12.

Двигуни вентиляторів генераторів (М15 і М16) та двигун вентилятора синхронного двигуна (М14) активуються автоматом QF8 і магнітними пускачами КМ5 і КМ6. Пускач КМ5 управляється нормально-відкритим блок-контактом, розташованим в КРУ, тоді як пускач КМ6 керується з SA2. Захист від перевантажень у цих системах також забезпечується тепловими реле КК13–КК15.

Двигун допоміжної лебідки отримує живлення від автомата QP9 через реверсивні магнітні пускачі KB і KH. Керування пускачами може здійснюватися як з поста, розташованого на лебідці, так і дистанційно з роботизованого кнопочного поста. Лебідка працює в поштовховому режимі, тобто функціонує лише при натисканні кнопок 2КУ або 3КУ. Щоб уникнути одночасного включення пускачів В і Н, передбачено механічні та електричні блокування. Для аварійної зупинки обладнано кнопку "стоп" та блок-контакт захисту БКЗ на дистанційному посту.

Двигун зварювального агрегату живиться від автомата QF11. Обігрів масла в редукторах повороту триває за допомогою електричних нагрівачів, що підключаються через пускачі KM8 і KM9 за допомогою автомата QF12. Автоматичне включення та вимкнення нагрівачів реалізується з допомогою термореле, інтегрованих в коло котушок реле KV1 і KV2. Обігрів масла в редукторі натиску також здійснюється електричними нагрівачами, які живляться від пускача KM10 через автомат QF13, із автоматичним управлінням через термореле, з'єднане з котушкою KV3.

Автомати QF2 і QF3 живлять трансформатор освітлення 380/230 В та трансформатор місцевого освітлення 380/12 В, підключаючись до фідерного автомата QF1.

Автомати QF1 і QF2 оснащені дистанційними розчеплювачами, на які впливають прилади контролю ізоляції. Вони з'єднані з вторинною обмоткою трансформатора 380/220 В, від якої живляться автомати SF1 і QF2 для освітлення екскаватора, а також автомат QF3, що живить котушки проміжних реле KV1-KV3 для термосигналізаторів масла в редукторах. Напруга в шинах 220 В і 380 В контролюється вольтметрами PV1 та PV2.

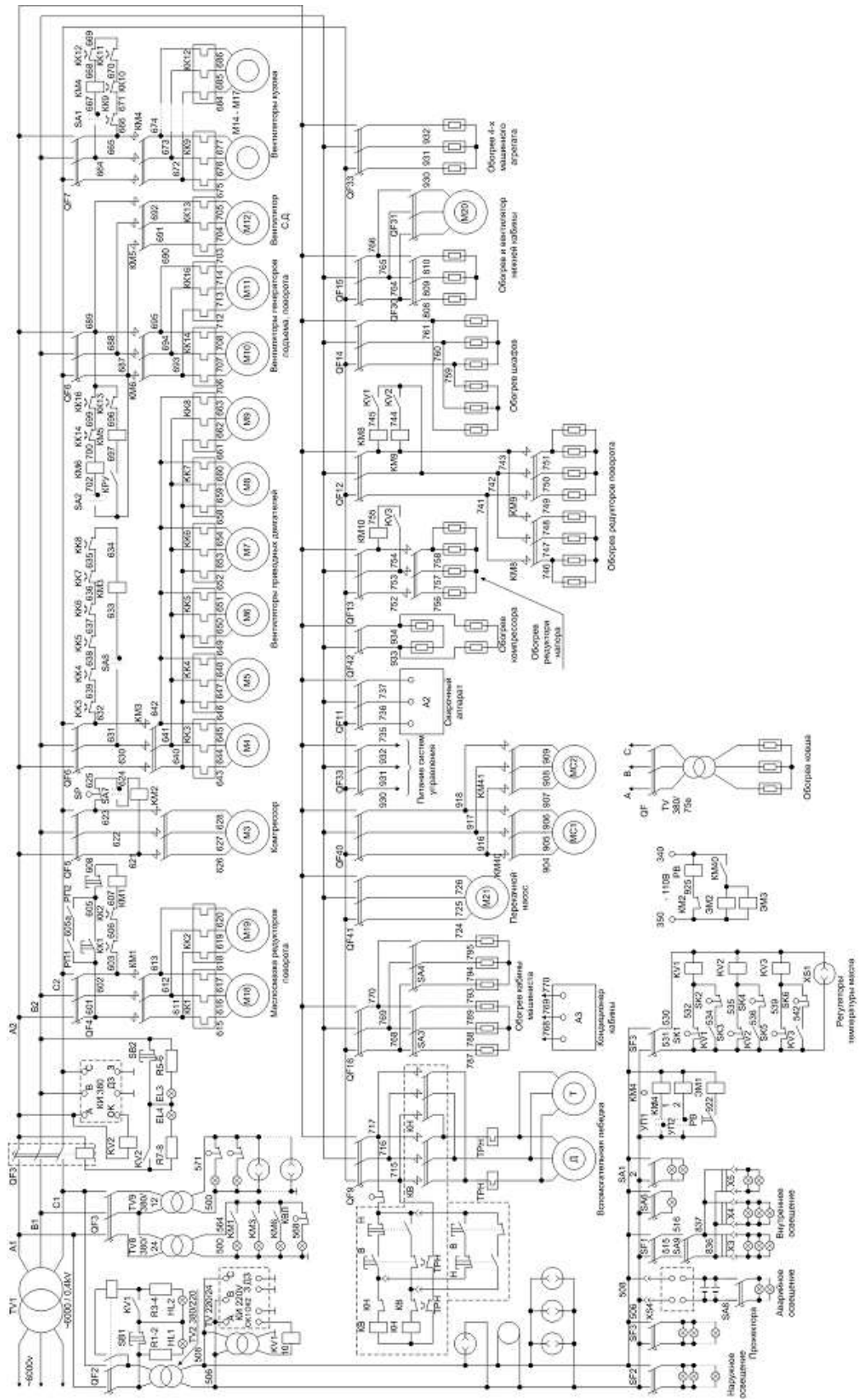


Рисунок 4.1 Принципова схема допоміжних електроприводів, освітлення та обігріву

Для підключення ремонтного обладнання та ламп переносного освітлення використовуються розетки XS1 (220 В) та XS2 (12 В). Схема головних електроприводів, представлена на рисунку 4.2, складається з генераторів GH, GCP і GSP, які відповідають приводу підйому, напору та повороту, а також двигунів M1H, M2H для підйому, M1C, M2C для напору, M1S, M2S для повороту й M1P, M2P для ходу.

Серед електронних блоків системи управління — блоки AH, AC, AS, що відповідають за управління тиристорним збудником, блок A1, який регулює головні електроприводи, і блок A2, що забезпечує живлення. Датчики струму АНА, АСА, АСА контролюють електроприводи, відповідно, підйому, напору і повороту, в той час як АНУ, АСН, АСУ відповідають за вимірювання напруги цих же приводів.

Допоміжні трансформатори TV1, TVH, TVC і TVS виконують функції живлення та синхронізації. Крім цього, TS1 є електромагнітним стабілізатором напруги для релейно-контакторної апаратури. Для контролю електричних параметрів використовуються засоби вимірювання, такі як амперметри PA2H, PA2C, PA2S та вольтметри PV1H, PV1C, PV1S. Вольтметр PV2 контролює напругу живлення релейно-контакторної апаратури.

Також в системі є шунти для вимірювання струму в якірних ланцюгах приводу напору і повороту — RS2C і RS2S. Автоматичні вимикачі забезпечують захист електричних схем: QF17 — головний автомат для змінного струму, QF18 — живлення для систем управління блоків БУТВ, QF19 — живлення випрямляча двигуна відкривання днища ковша, QF20 — живлення релейно-контакторної апаратури, а QFM — живлення блоків БРВД. Автомати QFH, QFC, QFS служать для живлення силових частин блоків БУТВ.

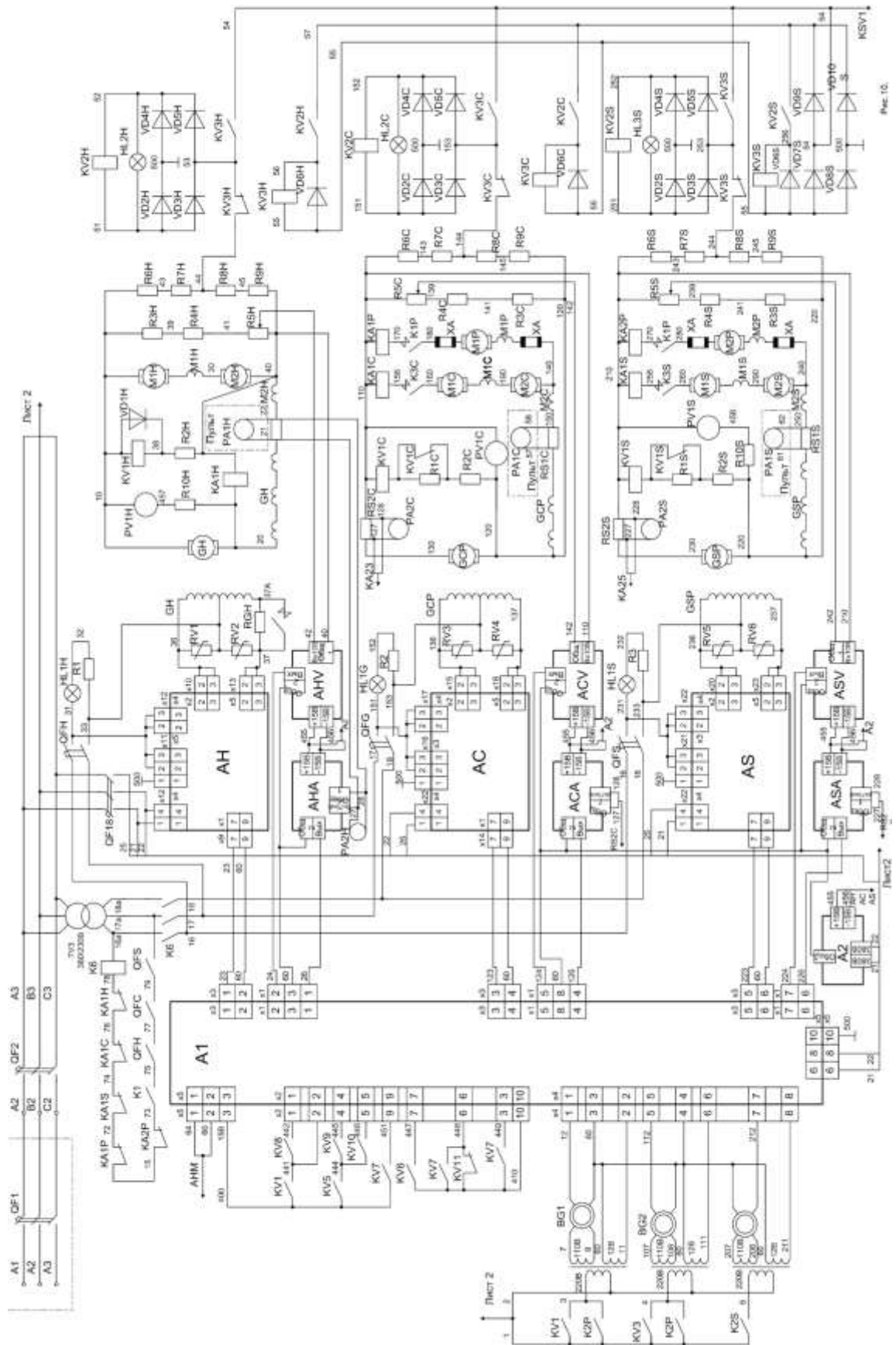


Рисунок 4.2 Принципова схема головних електроприводів

Екскаватори працюють у режимі циклічного видобутку породи та ґрунту, що дозволяє їм навантажувати ці матеріали на транспортні засоби. Згідно з їх призначенням, екскаватори поділяються на гірські та будівельні. Гірські екскаватори відрізняються від будівельних більшими розмірами, потужністю та масою, адже вони функціонують в складніших умовах.

У кар'єрах, де важливо контролювати рівень загазованості, використання дизельних приводів є обмеженим. Більшість кар'єрних екскаваторів функціонує на трифазній змінній напрузі в діапазоні від 6 кВ до 35 кВ. Використання дизельних моделей у деяких кар'єрах дозволило уникнути розвитку складних електричних мереж і, як наслідок, знизити простої обладнання через часті відключення електроенергії.

Екскаватори, що обладнані гусеничним ходом, характеризуються багатодвигунним приводом, до якого входять основні механізми для напору, підйому, повороту, а також допоміжні системи для компресорів, насосів та вентиляторів. Двигуни можуть бути як постійного, так і змінного струму, причому для малих потужностей вибирають змінний струм, а для середніх і великих — постійний.

Двигуни постійного струму забезпечуються перетворювальними системами, що складаються з генераторів і тиристорних перетворювачів для живлення допоміжних механізмів. Зазвичай використовуються асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором. Напруга 6 кВ подається до екскаватора через гнучкі кабелі, такі як КГЕ або КШВГ (Е) (ХЛ), від розподільних пунктів, керованих через повітряні або кабельні лінії.

В тиристорних збудників для живлення обмоток генераторів і двигунів дозволяє задовольнити сучасні вимоги до статичних і динамічних характеристик головних електроприводів. Ця можливість реалізується за допомогою трьохконтурної системи підпорядкованого регулювання, яка містить два контури для регулювання напруги та один для регулювання струму якоря. Завдяки

цій структурі управління забезпечується відповідність вимогам до характеристик головних приводів завдяки налаштуванню контурів та використанню додаткових елементів.

Щоб пояснити принцип формування статичних і динамічних характеристик такої системи управління, розглянемо узагальнену принципову схему, показану на рисунку 4.3. Нумерація елементів є умовною і не прив'язується до конкретного приводу.

В усіх випадках застосовуються регулятори пропорційного типу. На операційному підсилювачі DD3 реалізовано регулятор напруги внутрішнього контуру, який служить для лінеаризації статичної характеристики каскаду "тиристорний збудник - генератор". Лінеаризація дозволяє покращити якість роботи зовнішніх контурів. Налаштування контуру відбувається шляхом вибору опору резистора R11 у ланцюзі зворотного зв'язку, що дає можливість досягти потрібної лінійності характеристики $E_g(U_{рт})$ напруги генератора від вихідної напруги $U_{рт}$ регулятора струму. Важливо зазначити, що найбільші вимоги до лінійності цієї характеристики висуває електропривод повороту.

Наступним етапом є вибір опору резистора R10 в ланцюзі завдання, який слід обрати так, щоб максимальна напруга генератора досягалася при $U_{рт}$, що не перевищує 10 В. Залежність $E_g(U_{рт})$, представлена на рисунку 4.3, демонструє, як опори згаданих резисторів впливають на результат.

Регулятор струму базується на операційному підсилювачі DA2. Основною зворотною зв'язкою цього регулятора є безперервна зворотна зв'язка по струму, введена через резистор R5. Значення цього резистора визначає динамічні характеристики контуру та коефіцієнт відсічення статичної характеристики. Його опір підбирається експериментально, щоб забезпечити бажані переходи. Зменшення опору R5 призводить до підвищення швидкості реакції контуру та одночасного збільшення перерегулювання. Опір, обраний відповідно до зазначених умов, формує статичну характеристику з певним коефіцієнтом відсічення $K_{отс}$, який може бути нижчим, ніж необхідно. Остаточне уточнення

статичної характеристики відбувається завдяки підбору опору резистора R8 у ланцюзі позитивної зворотної зв'язки по напрузі. Введення цієї зворотної зв'язки підвищує коефіцієнт відсічення, а налаштування на критичне значення забезпечує крутопадну форму характеристики з $K_{отс} = 1$, що необхідно, наприклад, для приводу повороту.

Зазначена форма характеристики забезпечується використанням пропорційно-інтегрального регулятора струму. Однак застосування такого регулятора не завжди веде до покращення роботи приводу, оскільки створює потребу "обнулення" регулятора в неробочому стані, що ускладнює схему управління та знижує її надійність. Тому введення позитивної зворотної зв'язки по напрузі у системи управління електроприводами екскаваторів є більш раціональним рішенням. Можливо, потрібне значення $K_{отс}$ для механізмів копання може бути досягнуто без введення позитивної зворотної зв'язки по напрузі, в такому випадку резистор R8 не буде встановлений.

Частини блоку управління тиристорним збудником з підключеною обмоткою збудження ілюструється на рисунку 4.4. У цій силовій схемі збудника використано чотири тиристори, які позначені як VS1, VS2, VS3 і VS4. Залежно від напрямку струму в обмотці збудження, задіяні різні групи тиристорів: у першому варіанті, коли струм йде в одному напрямку, працюють тиристори VS1 і VS2, тоді як у другому — VS3 та VS4. Для зручності першу групу можна назвати "Вперед", а другу — "Назад".

Щоб зрозуміти, як функціонує ця схема, можна звернутися до часових діаграм на рисунку 4.5.

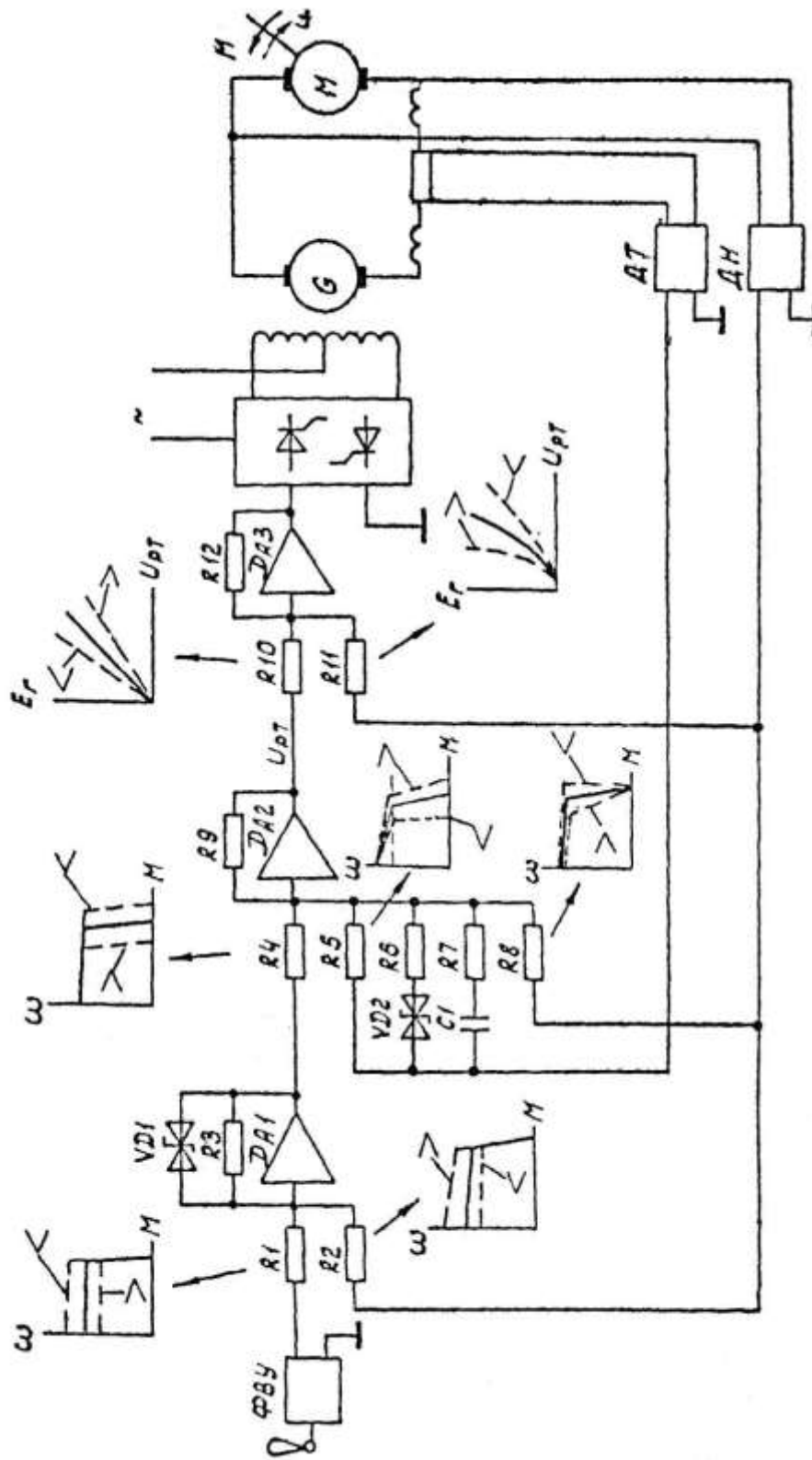


Рисунок 4.3 Вплив вхідних опорів регуляторів на форму статичних характеристик електроприводів ($>$ - опір збільшується; $<$ - опір зменшується)

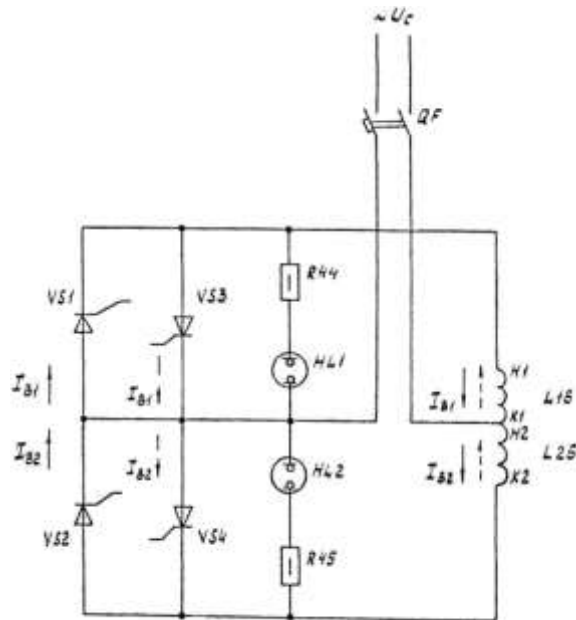


Рисунок 4.4 Принципова схема силової частини тиристорного збудника

Висновки до розділу

Наведено принципові схеми, що ілюструють процес живлення допоміжного обладнання екскаватора, а також системи забезпечення енергією головних електроприводів. Окрім цього, представлено детальний опис принципів роботи блоку тиристорного збудника та його системи імпульсно-фазового керування, разом з порядком їх наладки.

Крім того, в цьому розділі обговорюється процедура підготовки екскаватора до запуску в експлуатацію, що охоплює всі ключові етапи для забезпечення ефективної роботи системи..

5. ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Вришні роботи на Північному кар'єрі виконуються за допомогою двох роторних комплексів №4 і №6, з'єднаних кабельними лініями на 35 кВ. Електроприймачі, що працюють на 6 кВ, отримують живлення від двох підстанцій 35/6 кВ, що позначені як «№2» і «№10», через повітряно-кабельні лінії. Кожна з цих підстанцій живиться від двох ліній високої напруги 35 кВ, які ведуть до підстанції 150/35/6 кВ «Чкаловка».

Підстанція №2, оснащена трансформаторами ТДНС-10000/6, підключена через лінії «Північ-31» і «Північ-32». Підстанція №10 з трансформаторами ТМ-4000/6 отримує електроенергію по лініях «Чкаловка-31» і «Чкаловка-32». Екскаватори ЕКГ-5А №№ 12 і 23, що працюють на рудному складі, отримують живлення від підстанції №10. Також дане джерело енергії постачає 2 комплектні трансформаторні підстанції по 400 кВА, призначені для освітлення, вузла зв'язку з майстернею, а також екскаватори гірського 15/90 №175 і ЕКГ-5А №37.

Від підстанції №2 отримують живлення всі приводні станції стрічкового конвеєра, а також відвалоутворювач А2Rs, комплектну трансформаторну підстанцію №3, а ще екскаватори як-от ЕШ 20/90 №128, ЕШ 10/70 №132, а також екскаватори ЕКГ-5А №7 і №14.

Північний кар'єр входить до числа об'єктів, що регулюють розвантаження енергосистеми в години ранкового та вечірнього пікових навантажень. Дозволена потужність у цей час становить 10 МВт. Таким чином, робочі зміни розпочинаються о 8:00 та 20:00. У період максимальних навантажень енергосистеми роторні комплекси №4 і №6 призупиняють свою роботу, через що зупиняється і стрічковий конвеєр для транспортування розкривних порід. У цей час працюють лише екскаватори гірської ділянки, які безпосередньо займаються видобутком марганцевої руди.

Розрахунок навантажень виконується за методом коефіцієнта попиту (k_c). Розрахункове навантаження для кожного з електроприймачів енергії...:

$$P_p = k_c P_H, \text{ кВт}; \quad (5.1)$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi, \text{ кВАр}; \quad (5.2)$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \frac{P_p}{\cos \varphi}, \text{ кВа} \quad (5.3)$$

де k_c – коефіцієнт попиту, прийнятий по даним енергослужби кар'єру;
 $\operatorname{tg} \varphi$ – відповідає $\cos \varphi$.

Розрахункове навантаження для приводної станції:

$$P_p = k_c P_H = 0.67 \cdot 1890 = 1266 \text{ кВт},$$

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi = 1266 \cdot 1.02 = 1292 \text{ кВАр},$$

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{1266^2 + 1292^2} = 1809 \text{ кВА}.$$

Згідно з відомостями енергослужби кар'єру коефіцієнт $k_{\text{ом}}$ одночасності максимумів навантаження за найбільш завантажену зміну може досягати значення 1.

Кількості трансформаторів на підстанції визначається необхідністю забезпечення надійності живлення споживачів. Для споживачів категорій I і II, згідно з вимогами, потрібно встановити не менше двох трансформаторів. У покращуваному об'єкті присутні споживачі обох категорій, тому для їх живлення від однієї підстанції слід мати принаймні два працюючі трансформатори. Відповідно до стандарту 14209-69, в аварійних ситуаціях трансформатори можуть працювати з перевантаженням до 1,4 номінальної потужності протягом не більше п'яти днів, при цьому триваюче перевантаження повинно

бути не більше шести годин на добу. Тому для двотрансформаторної підстанції, за умов відсутності резервування вторинної напруги, потужність кожного трансформатора приймається рівною $0,7 P_{\max}$.

Для підстанції №2 загальна розрахункова потужність становить 15162,33 кВ А, що отримано шляхом підсумовування потужностей всіх електроприймачів, підключених до цієї підстанції. Потужність трансформаторів вибирається з урахуванням їх навантажувальної здатності в умовах післяаварійного режиму, де граничне перевантаження для трансформаторів без "складського" резерву складає 30%.

Розрахунок навантаження показує, що $S_{н.тр.}$ дорівнює 8138,77 кВ А. Оскільки трансформатори працюють у паралельному режимі з рівномірним навантаженням на кожній секції шин, розрахункове навантаження на одну секцію становить 4069,35 кВ А. У результаті вибираємо найближчий більший трансформатор, типу ТДНС – 6300/35, який має характеристики: номінальна напруга 35 кВ, низька напруга 6,3 кВ, температура підвищення потужності 8 кВт і 46,5 кВт, клас напруги 7,5% та короткочасний опір 0,8%.

Також слід вибрати трансформатор для зміни напруги на 0,4 кВ з розрахунковою потужністю 243 кВ А. Тут підходить трансформатор ТМ-250, з номінальною потужністю 250 кВ А, низькою напругою 0,4 кВ, температурою підвищення 0,82 кВт та 3,7 кВт, клас напруги — 4,5%, а короткочасний опір складає 2,3%.

При перевірці обраного трансформатора в разі відключення одного з них, другий повинен гарантувати 75-80% навантаження. Для даної двотрансформаторної підстанції, коефіцієнт завантаження визначається за формулою $S_{н.тр.} * 100 = 7,7\% S_{розр.}$. Коефіцієнт завантаження трансформатора в нормальному режимі становить 0,65, що відображає дві $S_{н.тр.}$. Обраний трансформатор відповідає всім зазначеним вимогам.

Розрахунок струмів короткого замикання в мережах напругою вище й до 1 кВ

Розрахунок струмів короткого замикання виконується для:

- вибору електричних апаратів і кабелів;
- вибору засобів обмеження струмів короткого замикання;
- проектування й налаштування релейного захисту;
- визначення умов роботи споживача в аварійних режимах.

Розрахунок при $U > 1\text{кВ}$ виконується у відносних одиницях.

Розрахункова схема й схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання зображена на рис.5.1.

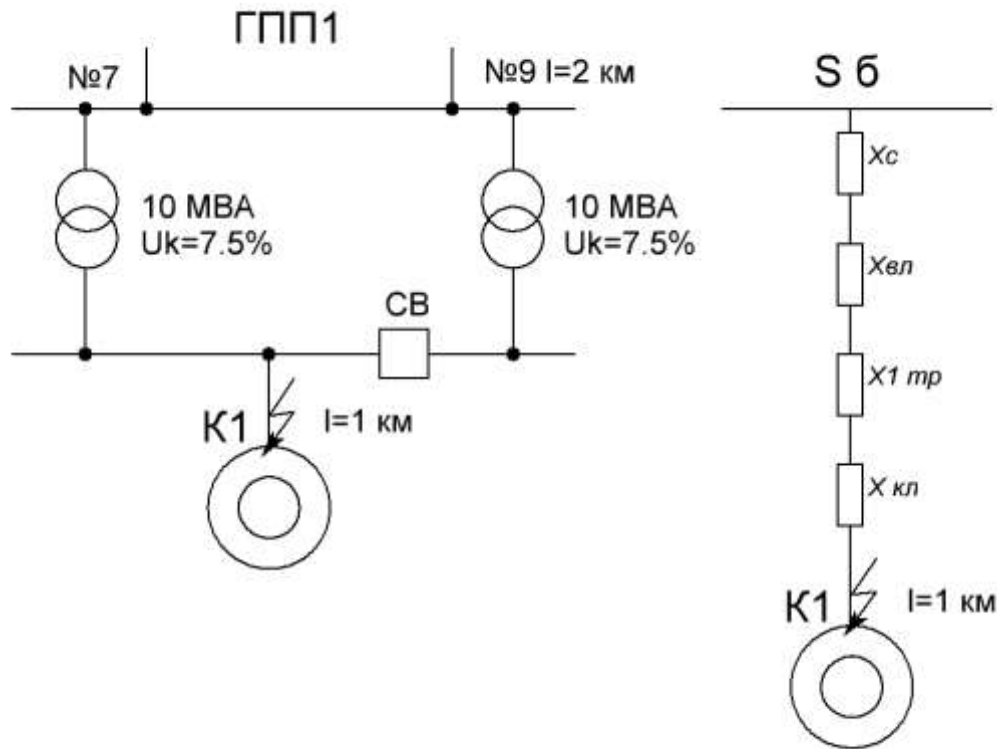


Рисунок 5.1 Принципова схема та схема заміщення для розрахунку струмів короткого замикання

При розрахунку струму короткого замикання в мережах напругою вище 1 кВ активним опором зневажаємо.

Визначаємо в базисних ОЕ індуктивні опори всіх елементів $X^*_{бі}$ ланцюга до крапки ДО, з урахуванням схеми з'єднання.

Перед початком розрахунку приймаємо базисну потужність $S_б = 63$ МВ*А и базисне значення напруги $U_б = 6,3$ кВ.

визначаємо індуктивний опір системи:

$$X^*_{бі} = X_i * \frac{S_б}{U_{н^2}} = 8,77 * \frac{63}{35^2} = 0,045 ;$$

визначаємо індуктивний опір ВЛ ЛЕП 35 кВ:

$$X^*_{вл} = X_о * l * \frac{S_б}{U_{н^2}} = 0,4 * 2 * \frac{63}{35^2} = 0,0041 ;$$

$X_о$ – питомий опір лінії (Ом/км);

визначаємо індуктивний опір трансформатора:

$$X^*_{тр} = X^*_{н.тр} * \frac{S_б}{S_{н.тр}} = \frac{U_k}{S_{н.тр}} * \frac{S_б}{100} = \frac{7,5}{100} * \frac{63}{7,3} = 0,75 ;$$

визначаємо індуктивний опір КЛ (ВЛ)

$$X^*_{б.кл} = X_о * l * \frac{S_б}{U_{н^2}} = 0,08 * 1 * \frac{63}{5,3^2} = 0,127 ;$$

визначаємо сумарний реактивний опір короткозамкненого ланцюга:

$$X^*_{б\Sigma 1} = X^*_{б.з} + X^*_{вл} + X^*_{б.тр} + X^*_{б.леп} = 0,9261,$$

$$X^*_{б\Sigma 2} = 1,454;$$

визначаємо струм короткого замикання в базисних одиницях:

$$I^*_{б\Sigma} = \frac{1}{X^*_{б\Sigma}} = 1,0797 (0,697) ;$$

визначаємо струм короткого замикання в абсолютних одиницях:

$$I_{кз} = I^*_{б} * I_б = 6,231 (4,023) \text{ кА}, I_б – базисний струм,$$

$$I_б = \frac{S_б}{\sqrt{3}U_б} = 5,77 \text{ кА},$$

$$\sqrt{3}U_б$$

$$I_{кз} = 0.87 * I_{нз} = 5,42 \text{ кА (3,5 кА)};$$

визначаємо ударний струм короткого замикання:

$$I_y = \sqrt{2} K_y * I_{нз} = 15,85 \text{ кА (7,88 кА)},$$

$K_y = 1,8$ – ударний коефіцієнт по таблиці;

визначимо потужність короткого замикання:

$$S_{кз} = \frac{S_{б}}{X_2} = 68 \text{ МВ*А (44 МВ*А)};$$

X2

розрахунок ударного струму з урахуванням підживлення точки короткого замикання потужним двигуном:

$$I_{к.дв.} = \frac{0.9}{X_{*н.дв.}} * I_{н.дв.} = 4.5 I_{н.дв.},$$

X*н.дв.

Звідси сумарне значення ударного струму з обліком підпитки:

$$I_{y\Sigma} = \sqrt{2} * (K_y * I_{кз} + 4,5 * I_{н.дв.}) = 1,4 K_{\phi} * I_{кз} + 6,5 * I_{н.дв.\Sigma} = 15,85 + 6,5(4 * 1,33 + 2 * 264 + 670 \cdot 133) * 10 = 25,85 \text{ кА.}$$

Обмеження струмів короткого замикання

Збільшення потужності трансформаторів пов'язане з підвищенням струмів короткого замикання й лімітується розривною потужністю промислових вимикачів 6кВ.

Обмеження струму короткого замикання досягається:

установкою додаткових індуктивних опорів (реакторів);

штучний додатковий активний опір;

відмовою від паралельної роботи трансформаторів;

застосуванням трансформаторів S ?2,5 МВ*А с розщепленими обмотками;

застосуванням трансформаторів з підвищеним значенням U_k %.

Розрахунок залишкової напруги на статорі СД при прямому асинхронному запуску.

Екксаватор ЕКГ-8И – електромеханічний комплекс із високою встановленою потужністю електроустаткування й отримує живлення по окремій лінії. Схему електропостачання екксаватора наведено на рис. 5.1.

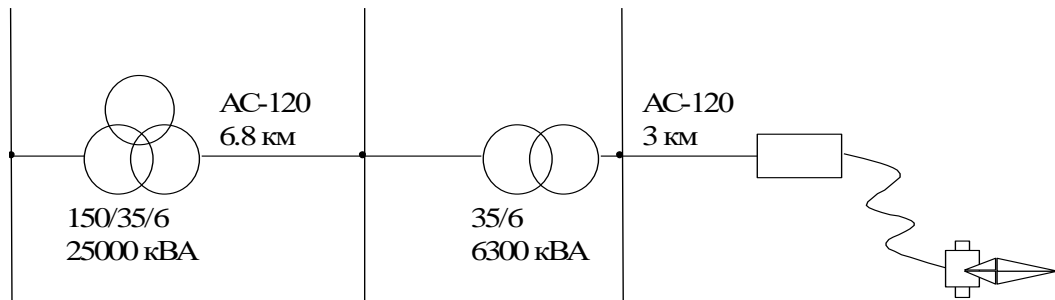


Рисунок 5.1 Схема електропостачання екксаватора ЕКГ 8И

Оскільки у дипломному проекті розглядається розробка системи полегшеного пуску, то для обґрунтування й підтвердження висунутих положень виконаємо розрахунки по навантаженню ліній пусковими струмами й зниженню напруги при пуску СД.

Напруга на затисках СД у момент пуску може бути визначена по формулі:

$$U_n = U_1 - \Delta U_n, \quad (5.4)$$

де U_n - напруга на затисках двигуна в момент пуску;

U_1 - напруга на шинах живильного центру, до якого підключений двигун;

ΔU_n - додаткова втрата напруги від джерела живлення до затисків двигуна від пускового струму.

Втрата напруги від джерела живлення до будь-якої точки, до якої підключений споживач може бути визначена по формулі:

$$\Delta U_n = \sqrt{3}(R_n \cos(\varphi_n) + x_n \sin(\varphi_n))I'_n, \quad (5.5)$$

де R_n й x_n активний і реактивний опір від джерела до, що запускається двигуна;

I'_n - пусковий струм, в.о.;

$\cos(\varphi_n)$ і $\sin(\varphi_n)$ - значення, відповідне до пускового режиму, для СД можна прийняти $\cos(\varphi_n) = 0.35$, $\sin(\varphi_n) = 0.94$.

Для реальної живлячої лінії АС-120 довжиною 3 км значення опорів:

$$R_n = l \cdot r_n; \quad (5.6)$$

$$X_n = l \cdot x_n, \quad (5.7)$$

де $r_n = 0.21$ й $x_n = 0.297$ Ом/км – питомий опір лінії.

Тоді $R_n = 3 \cdot 0.21 = 0.63$ Ом, $X_n = 3 \cdot 0.297 = 0.891$ Ом.

Зниження напруги при пуску:

$$\Delta U_n = \sqrt{3}(0.63 \cdot 0.35 + 0.891 \cdot 0.94)112 \cdot 7 = 1436 \text{ В.}$$

Відносне значення зниження напруги:

$$\Delta U_n^* = \frac{\Delta U_n}{U_{n.\phi.}}. \quad (5.8)$$

$$\Delta U_n^* = \frac{1436}{3464} = 0.41.$$

Отримані результати підтверджують результати моделювання. Такі значні зниження напруги, що приводять до різких коливань напруги на шинах пі-дстанції перевищують припустимі значення.

Свідчать, що мережеві двигуни потужністю більше 1000 кВт слід вмикати через пусковий реактор. Одним з ключових параметрів, що впливають на вибір пускового реактора, є його опір, величина якого може бути розрахована

за певною формулою.

Ця формула дозволяє визначити оптимальний опір пускового реактора, щоб забезпечити м'який пуск двигуна, зменшити пускові токи і запобігти можливим пошкодженням обладнання. Розрахунок опору важливий для підвищення надійності системи та забезпечення ефективної роботи двигуна:

$$X_p = \frac{I}{\sin(\varphi_n)} \left[\frac{U_{ном}}{\sqrt{3}I_n} \left(\frac{U_{ш}^* A_{ш}^* I_n}{\Delta U_{ш}^*} \right) - R_n \cos(\varphi_n) \right] - X_n, \quad (5.9)$$

де X_p - індуктивний опір пускового реактора, Ом;

R_n і X_n - активний і індуктивний опір від джерела до затискачів двигуна без обліку реактивного опору пускового реактора, Ом;

$\Delta U_{ш}^*$ - припустиме коливання напруги на шинах.

Індуктивний опір реактора визначається по формулі:

$$x_p \% = \frac{\sqrt{3} X_p I_{ном.p}}{U_{ном.p}} 100\%, \quad (5.10)$$

де $I_{ном.p}$ й $U_{ном.p}$ - номінальний струм і напруга реактора (номінальний струм реактора вибирається рівним 0.7-1.0 номінального струму двигуна).

З урахуванням виконаних вище розрахунків:

$$X_p = \frac{I}{0.94} \left[\frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 112 \cdot 7} \left(\frac{0.59 \cdot 0.41 \cdot 7}{0.99} - 1 \right) - 0.63 \cdot 0.35 \right] - 0.891 = 1.786$$

Ом.

Індуктивний опір реактора:

$$x_p \% = \frac{\sqrt{3} \cdot 1.786 \cdot 250}{6000} 100\% = 12.8.$$

Обираємо до установки реактор РБАМ 6-250.

Визначимо значення коефіцієнта $A_{ш}^*$ з урахуванням опору реактора:

$$A'_{u1} = \frac{\sqrt{3}(0.63 \cdot 0.35 + 0.94 \cdot (0.891 + 1.786))7}{6000} = 0.0055 \text{ Ом/В}$$

Тепер відносно значення напруги на затискачах СД:

$$U_{u1}^* = \frac{U_{u1}^*}{1 + I_n A'_{u1}} = \frac{1.001}{1 + 7 \cdot 0.0055} = 0.96 \quad (5.11)$$

Коливання напруги на шинах при пуску через реактор:

$$\Delta U'_{u1} = 0.0055 \cdot 0.143 \cdot 0.96 \cdot 112 \cdot 7 = 0.059 < \Delta U_{u1}^* = 0.1$$

Реактор обраний правильно, тому що напруга не виходить за межі припустимого.

Висновки

У розділі були проведені необхідні розрахунки компонентів системи електропостачання для ділянки кар'єра Інгулецького ГЗК. Зокрема, виконані розрахунки потужності з використанням методу коефіцієнта попиту та здійснено вибір силових трансформаторів. Додатково проведені розрахунки струмів короткого замикання, а також перевірена залишкова напруга під час прямого асинхронного запуску електропривода екскаватора ЕКГ-8И.

ВИСНОВКИ

Представлені технічні дані екскаватора разом із типічними навантажувальними діаграмами його основних механізмів. Окрім того, визначено характеристики електрообладнання, а також параметри генераторів постійного струму і приводних двигунів.

Розрахункам характеристик електроприводу, які пов'язані з регулюванням вихідної напруги живлячого генератора. У вибраному діапазоні швидкості статизм характеристик електроприводу варіюється від 29,8% до 136,4%. Також проаналізовано коефіцієнт корисної дії електроприводу підйому екскаватора ЕКГ-8И, який при номінальному навантаженні становить 78%.

Третій розділ зосереджений на особливостях математичного моделювання для електричних машин постійного струму. Тут була створена математична модель електроприводу підйому в системі Г-Д, а також проведено порівняльний аналіз часу розгону електроприводу до номінальної швидкості при живленні обмотки збудження генератора від магнітного підсилювача та тиристорного збудника. У секторі механіки розглянуто взаємопов'язані електроприводи.

У четвертому розділі подано принципові схеми живлення допоміжних систем екскаватора та головних електроприводів. Аналізуються схеми тиристорного збудника, імпульсно-фазового керування, а також їх функціональність і порядок наладок. Продовжено обговорення підготовки обладнання екскаватора перед початком експлуатації.

У п'ятому розділі наведені розрахунки компонентів системи електропостачання. Зокрема, проведено потужнісні розрахунки за методом коефіцієнта попиту, проведено вибір силових трансформаторів, а також виконано оцінки струмів короткого замикання. Заключним етапом є перевірка залишкової напруги під час асинхронного запуску електропривода.

