

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Кафедра електротехніки та енергозбереження
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота / проект

групий (магістерський)
(рівень вищої освіти)

на тему Тіровлення енергозбереження
областями ПАТ Меранський гірсько-
збагачувальний комбінат

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕТ-8.1419-3
спеціальності 141-Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка (код і назва спеціальності)
освітньої програми 141.00.14-Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка (код і назва освітньої програми)
спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

Б.Ю. Фролов

(ініціали та прізвище)

Керівник доцент, к.т.н. Башнін С.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент Директор ТОВ "ДЕНС" Колосок А.В.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

Факультет енергетики, електроніки та інформаційних технологій
Кафедра електротехніки та енергозбереження
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень
Спеціальність 141- Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Освітня програма 141.00.14 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва)
Спеціалізація _____
(код та назва)

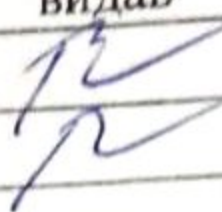
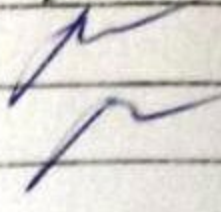
ЗАТВЕРДЖУЮ К.Т.Н., доцент
Завідувач кафедри В.П. Коваленко
« 09 » 12 20 20 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Фролову Богдану Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи (проекту) Тітвищення енергозбереження
об'єкту ПАТ "Марганецький
ірничого-збагачувальний комбінат"
- керівник роботи Башний Сергій Вікторович
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
- затверджені наказом ЗНУ від « 14 » вересня 2020 року № 1306-с
- Строк подання студентом роботи 1 грудня 2020
- Вихідні дані до роботи Орієнтовне споживання електроенергії
на місяць кар'єром - 1573 тис. кВт.год; час роботи об'єкту
технологічного об'єкту на рік приблизно - 8640 год.
- Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Велич. 1) Характеристика об'єкту енергетичного
кар'єру; 2) Засоби для тітвищення енергозбереження;
- Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Смайл: 1) Схема ПАТ "МГЗК" 2) Споживання електроенергії; 3) Характеристика
двигунів; 4) 5) 6) Технологічне об'єкту; 7) СА 8) АРЗ; 9) 10) 11) Часові зображення
затримки; 12) 13) 14) 15) 16) 17) 18) 19) 20) 21) 22) 23) 24) 25) 26) 27) 28) 29) 30)

6 Консультанти розділів роботи

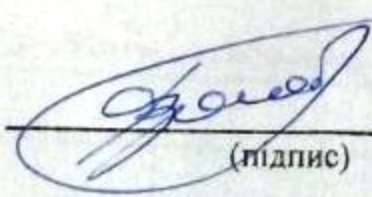
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Башний С.В., доцент		
Розділ 2	Башний С.В., доцент		

7 Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика підприємства на механічного процесу	8.11.2020	
2.	Аналіз електричного обладнання	14.11.2020	
3.	Аналіз на розробку заходів з підвищення енергоефективності обладнання електр.	29.11.2020	

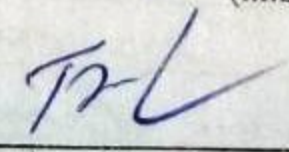
Студент


(підпис)

Б.Ю. Франко

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

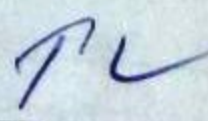

(підпис)

С.В. Башний

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер


(підпис)

С.В. Башний

(ініціали та прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить 84 с., 26 рисунків, 6 таблиць, 30 джерел.

У дипломній роботі запропоновано заходи щодо підвищення енергоефективності обладнання ПАТ “Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат”.

В першій частині роботи наведено загальні відомості про ПАТ “МГЗК”, дана характеристика структурних підрозділів.

Наведено характеристику електричного обладнання Грушевського кар'єру, а саме екскаваторів та допоміжного обладнання.

У другій частині дипломної роботи проаналізовано та запропоновано засоби та заходи щодо підвищення енергоефективності екскаваторного обладнання цеху. Запропоновано модернізація існуючого аналогового керування збудження синхронного двигуна ЕК №69 цифровим мікропроцесорним блоком та заміна обертових збудників синхронних двигунів на ЕК №67 та №395. На всіх перелічених машинах обов'язково вводитьься автоматичне керування збудженням, що дасть змогу економити значні обсяги електроенергії на холостому ходу та в робочому режимі.

Запропоновані заходи дозволять знизити втрати електроенергії на 161520 кВт·год на рік, що в свою чергу дозволить отримати річну економію у коштах підприємства. Термін окупності капіталовкладень на впровадження запропонованої модернізації на ЕК №69 становить приблизно 0,18 року. На заміну перетворювачів на ЕК №67 та №395 термін окупності становить приблизно 1,9 року.

СИНХРОННИЙ ДВИГУН, ЗБУДЖЕННЯ, ПЕРЕТВОРЮВАЧ, РЕАКТИВНА ПОТУЖНІСТЬ, ЦИФРОВЕ КЕРУВАННЯ, МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ БЛОК, АВТОМАТИЧНЕ РЕГУЛЮВАННЯ ЗБУДЖЕННЯ

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА.....	11
1.1 Характеристика підприємства ПАТ ”МГЗК”.....	11
1.1.1 Загальна характеристика комбінату.....	11
1.1.2 Характеристика структурних підрозділів ПАТ “МГЗК”.....	13
1.2 Характеристика обладнання Грушевського кар'єру.....	14
1.2.1 Загална характеристика.....	14
1.2.2 Технічна характеристика екскаваторів та допоміжного обладнання.....	15
1.3 Синхронні двигуни перетворюючих агрегатів.....	29
1.4 Висновки до першого розділу.....	38
2 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА.....	39
2.1 Засоби та заходи підвищення енергоефективності.....	39
2.1.1 Компенсація і керування будженням.....	39
2.1.2 Контролер МБЗ збудника синхронного двигуна.....	46
2.1.3 Підключення перетворювача для компенсації реактивної потужності навантаження.....	53
2.1.4 Оцінка компенсаційних властивостей СД. Компенсаційна здатність двигунів на холостому ходу.....	54
2.1.5 Компенсаційна здатність двигунів в робочому режимі.....	58
2.2 Споживання активної і реактивної енергії при роботі одноковшових екскаваторів.....	62
2.3 Техніко-економічне обґрунтування.....	74
2.4 Висновки до другого розділу.....	79
ВИСНОВКИ.....	80
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ.....	81
Додаток А.....	85

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

СД – синхронний двигун

АЗК – апарат завдання та контролю

Г-Д – генератор-двигун

ЕКГ – екскаватор кар'єрний гусеничний

ЕК – екскаватор крокуючий

ЗІП – запасні частини, інструмент та приладдя

КРП – комплектний розподільний пункт

ККД – коефіцієнт корисної дії

РНВ – реле мінімальної напруги

ТЗП – тиристорний збуджуючий пристрій

МРС – магніторушійна сила

МБЗ – Мікропроцесорний блок управління збудником

АСУ ТП – Автоматизована система управління технологічним процесом

ПІ-регулятор – Пропорційно-інтегральний регулятора

АВР – Автоматичний ввід резерву

КП – ключ параметрів

АРЗ – Автоматичний регулятор збудження

ПК – повторно-короткочасний режим

SMD – surface mount device, з англійської – компонент для поверхневого монтажу

ВСТУП

Гірнича промисловість - сукупність галузей виробництва, що займаються розвідкою і видобутком корисних копалин, а також їх первинною обробкою і отриманням напівфабрикатів [1].

Видобуток і переробка руд чорних і легуючих металів включає в себе поряд з іншими напрямками і марганцеворудну промисловість, яка, безумовно, займає важливе місце в промисловому секторі України.

Україна має також і один з найпотужніших в Європі комплексів з переробки руди і виробництва марганцевих феросплавів, що включає Нікопольський, Запорізький і Стахановський заводи.

Руди, що видобуваються ПАТ "МГЗК" (Приватне акціонерне товариство "Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат") містять менше 80% піролюзита, називаються металургійними і використовуються в чорній металургії. Марганець у вигляді сплавів з залізом (феромарганець) і кремнієм (силикомарганець) йде на виробництво рейкової і конструкційної сталі, їм легують сплави на основі алюмінію, магнію і міді [2].

Марганець у вигляді феромарганцю застосовується для розкислення сталі при її плавці, тобто для видалення з неї кисню. Крім того, він пов'язує сірку, що також покращує властивості сталей. Введення до 12-13% Mn в сталь (так звана сталь Гадфільда), іноді в поєднанні з іншими легуючими металами, сильно зміцнює сталь, робить її твердою і чинять опір зносу і ударів (т. зв. «наклеп»). Така сталь використовується для виготовлення кульових млинів, землерийних і каменедробильних машин, броньових елементів і т. Д. В «дзеркальний чавун» вводиться до 20% Mn.

Сплав 83% Cu, 13% Mn і 4% Ni (манганин) володіє високим електричним опором, що мало змінюється зі зміною температури. Тому його застосовують для виготовлення реостатів та ін. Марганець вводять в бронзи і латуні.

Значна кількість діоксиду марганцю споживається при виробництві

марганцево-цинкових гальванічних елементів, оксид марганця використовується в таких елементах як окислювач-деполяризатора.

З'єднання марганцю також широко використовуються як в тонкому органічному синтезі (оксид марганця та перманганат калія як окислювачі), так і промислового органічного синтезі (компоненти каталізаторів окислення вуглеводнів, наприклад, у виробництві терефталевої кислоти окисленням *p*-ксилолу, окислення парафінів у вищі жирні кислоти).

Арсенід марганцю володіє гігантським магнітокалоричний ефектом, що посилюється під тиском.

Теллурид марганцю - перспективний термоелектричний матеріал (термо-ЕРС 500 мкВ / К) [3].

Тому видобуток марганцевої руди є вигідним і перспективним напрямком в промисловості, енергоефективність якого дуже важлива, що підкреслює актуальність і важливість теми дипломної роботи.

ПАТ “МГЗК” є великим гірничим підприємством з багаторічною історією та з широким переліком технологічних процесів. Комплекс виробничих завдань охоплює витяг корисних копалин підземним і відкритими способами, збагаченням і відправку споживачам.

В сучасних умовах повсюдне підвищення енергоефективності є необхідністю. Постійний пошук рішень для зменшення енерговитрат, використання нового економічного обладнання, впровадження нових технологічних схем - це тенденції сучасного виробництва.

Вивчення існуючого стану в енергоспоживанні підприємства дає можливість знайти рішення для підвищення економії.

Актуальність теми роботи. Підвищення енергоефективності обладнання промисловості і її комплексів – важлива тема у всіх галузях виробництва. Використання синхронних машин, а саме двигунів, потребує ретельного вивчення питань їх енергоефективної роботи, так як потужності двигунів сягають 50 МВт.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є встановлення

можливості і шляхів впровадження економічної роботи синхронних двигунів шляхом регулювання струму збудження в автоматичному режимі.

Завдання дослідження:

- ознайомлення з дослідженнями у галузі керування збудженням синхронних двигунів (СД);
- аналіз існуючої ситуації з використання синхронних машин Грушевського кар'єра;
- розробка рішень для компенсації реактивної потужності приводами екскаваторів;
- розробка рішень економічних режимів роботи СД;
- техніко-економічне обґрунтування впровадження регулювання.

Об'єкт дослідження. Синхронні двигуни в комплексі з системою збудження та автоматичним керуванням.

Предмет дослідження. Дослідження впливу автоматичного керування збудження на роботу синхронного двигуна в плані енергоефективності в залежності від навантаження та можливості компенсації реактивної потужності.

Методи дослідження. Системний аналіз синхронних двигунів та супутного обладнання у системі електричних мереж, перетворюючих агрегатів екскаваторів та інших типів навантажень.

Наукова новизна одержаних результатів. Запропонована принципово нова схема двохранового двухступеневого керування збудженням для екскаватора ЕК-10/70, з режимами “екскавація-холостий хід” та “крокування-холостий хід”.

Особистий внесок дослідника. Проаналізував та дослідив низку матеріалів з теми можна бачити, що запропонована схема двохранового двухступеневого керування збудженням на базі промислового контролера не пропонувалася раніше.

Апробація результатів роботи. Рішення запропоновані у роботі можуть бути випробувані в умовах технологічного процесу Грушевського

кар'єра.

Публікації. Матеріали XXV науково-технічної конференції студентів, магістрантів, аспірантів, молодих вчених та викладачів ІННІ ЗНУ. Сторінки 122 - 123.

Структура та обсяг магістерської роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, двох розділів, висновків, переліку літератури та джерел з 30 найменувань, викладена на 84 сторінках машинописного тексту, включаючи 26 рисунків, 6 таблиць та один додаток.

1 ЗАГАЛЬНА ЧАСТИНА

1.1 Характеристика підприємства ПАТ «МГЗК»

1.1.1 Загальна характеристика комбінату

Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат (ПАТ «МГЗК») — один з найбільших у світі продуцентів марганцевого концентрату. Друге за потужністю після Орджонікідзевського ГЗК підприємство з видобутку і збагачення марганцевої руди в Україні. ГЗК розробляє Грушевсько-Басанську ділянку на східній частині Нікопольського родовища. Розробка ведеться підземним і відкритим способами: чотирма шахтами і кар'єром. У структуру Марганецького ГЗК також входять дві збагачувальні фабрики.

Підприємство випускає марганцеві концентрати різних сортів. Частка його продукції на українському ринку марганцю становила 30 %. Основними споживачами продукції виступають Нікопольський і Запорізький феросплавні заводи, в меншій мірі — інші металургійні підприємства України. Близько 5 % продукції, що виробляється йде на експорт (в Польщу, Словаччину, Чехію, Румунію).

Родовище марганцевих руд у цій місцевості було відкрито в 1883 році.

У 1885 році на базі цього родовища почав видобуток руди Покровський рудник. У міру розвитку рудника і нових кар'єрів і шахт сформувався Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат, який займає східну частину Нікопольмарганцевого басейну [4].

З 12 кар'єрів у Придніпровському марганцевому басейні (що був найбільшим об'єктом відкритої розробки СРСР), Грушевський кар'єр був віднесений до найбільш потужних.

На даному етапі основною продукцією Грушевського кар'єра є марганцева руда, з можливістю селектування окисної та карбонатної.

Марганцеві руди використовуються в чорній та кольоровій металургії при виплавці різних сортів вуглецевої сталі, деяких марок спеціальної сталі,

спеціальних кольорових сплавів, а також для ряду інших цілей [5].

Марганецький гірничо-збагачувальний комбінат являє собою складне комплексне підприємство до складу якого входять основні цехи — шахти, кар'єр, гірничо-збагачувальні фабрики, а також допоміжні та обслуговуючі цехи та організації.

МГЗК крім управління розробкою родовищ корисних копалин здійснює збагачення видобутих корисних копалин на двох гірничо-збагачувальних фабриках [6].

Нікопольське родовище марганцевих руд приурочене до великої депресії українського кристалічного масиву. Вона розділяється підняттям кристалічних порід по балці Мала Кам'янка на дві відокремлені площі - Західну і Східну.

Рудоносний горизонт Нікопольського родовища представляє пласт потужністю від декількох сантиметрів до 5м, приурочений до товщі піщаноглинистих відкладень і залягає на глибинах від 2 до 100-110м.

Марганцеві руди залягають майже горизонтально з невеликим ухилом на південь і південний захід.

Серед марганцевих руд східної частини Нікопольського родовища виділяють три типи:

- а) окисні руди, складені оксидами і гідрооксидами марганцю;
- б) карбонатні руди, що складаються з манганокальціта і кальцієвого родохрозиту;
- в) окисно-карбонатні або змішані руди, що містять гідроксиди та карбонати марганцю.

Зазначені типи руд розташовуються зонально: в напрямку занурення рудного пласта (з півночі на південь і південний захід) окисні руди змінюються змішаними, а останні — карбонатними.

Мінеральний склад руд східної частини Нікопольського родовища аналогічний мінеральному складу руд всього Нікопольського басейну. Головні мінерали: піролюзит, манганіт, мінерали групи псиломелан-

вернадіта, манганокальцит, кальцієвий родохрозит, кальцит, кварц.

Хімічний склад руд непостійний, коливається в значних межах і за площею покладів, і в вертикальному розрізі. Мінливість хімічного складу руд може бути пояснена складністю їх мінерального складу, а також різними співвідношенням рудної і нерудної складових пласта. Найголовніші компоненти марганцевих руд, крім кремнезему: Mn, P, Ca, Mg, Fe, S; елементи-домішки: Ti, Cr, Co, Ga, Ni, Cu, As, Ba, Sr, V [7].

1.1.2 Характеристика структурних підрозділів ПАТ “МГЗК”

На території МГЗК зараз експлуатується один кар'єр – Грушевський.

Грушевський кар'єр розташований в східній частині родовища. Поле розкрите східною фланговою траншеєю. Розрізна траншея пройдена по північному кордону кар'єрного поля.

Фронт гірських робіт спочатку (1 черга) просувався в південному напрямку, в даний час (2 черга) - паралельно в східному напрямку.

На кар'єрі застосовується комбінована система розробки з використанням гірничо-транспортного устаткування безперервної і циклічної дії: транспортно-відвальний комплекс, крокуючі і кар'єрні гусеничні екскаватори.

Потужність покривають порід в Грушівському кар'єрі досягає 80м. Породи представлені в основному рихлимі піщано-глинистими відкладеннями з прошарками вапняків-мушлей в середній частині і надрудних щільних глин - в нижній [8].

Також в структурі МГЗК є 4 шахти. Шахта — копальня, гірниче підприємство з видобування корисних копалин (вугілля, солей, руди тощо) підземним способом і відвантаження їх споживачам або на гірничозбагачувальну фабрику [9].

У структуру комбінату входять дві збагачувальні фабрики. Збагачувальна фабрика - гірниче підприємство для первинної переробки

твердих корисних копалин з метою отримання технічно цінних продуктів, придатних для промислового використання.

За допомогою різних технологій (флотація, магнітна сепарація та інших) на збагачувальних фабриках з видобутої руди отримують концентрат, в якому вміст корисного компонента набагато вище, ніж у вихідній сировині (видобутої руди) [10].

1.2 Характеристика обладнання грушевського кар'єру

1.2.1 Загална характеристика

Грушевський кар'єр, як гірниче підприємство з видобутку корисних копалин відкритим способом містить у собі багато різного гірничого обладнання, а саме: гірничі екскаватори, транспорт, промислові споруди, систему водоотведення, склад готової продукції, лінії електропередач 6000В від підстанцій, автоколонну, тракторний парк та інше. Більша частина обладнання є електричним.

Для успішної роботи кар'єра необхідне постійне електропостачання.

Електропостачання Грушевського кар'єра здійснюється від підстанції «Грушевської» 154/35/6, яка знаходиться на промисловому майданчику ПАТ «МГЗК». Лініями електропередач № 356-357 напруга 35 кВ надходить на підстанцію «Грушівка 1,2», що безпосередньо знаходиться на північному і південному бортах Грушевського кар'єра.

На підстанції «Грушівка 1» встановлено два трансформатори 10000 КВА. Перша секція задіяна для Грушевського кар'єра.

На підстанції «Грушівка 2» на першій секції встановлений трансформатор 10000 кВА, на другий 5600 кВА.

На підстанціях «Грушівка 1,2» напруга 35 кВ перетвориться у напругу 6 кВ, яка по відхідним лініях подається до споживачів електроенергії.

1.2.2 Технічна характеристика екскаваторів та допоміжного обладнання

У Грушівському кар'єрі для розробки корисних копалин застосовуються різні типи екскаваторів: ЕКГ-5А, ЕКГ-8И, ЕК-10/70, ЕК-15/90, ЕК-20/90, Е-2503, роторний комплекс з екскаватором ЕРКР-5000.

На рисунку 1.1 показано середнє споживання електроенергії машинами кар'єру протягом місяцю, тис.кВт·год.

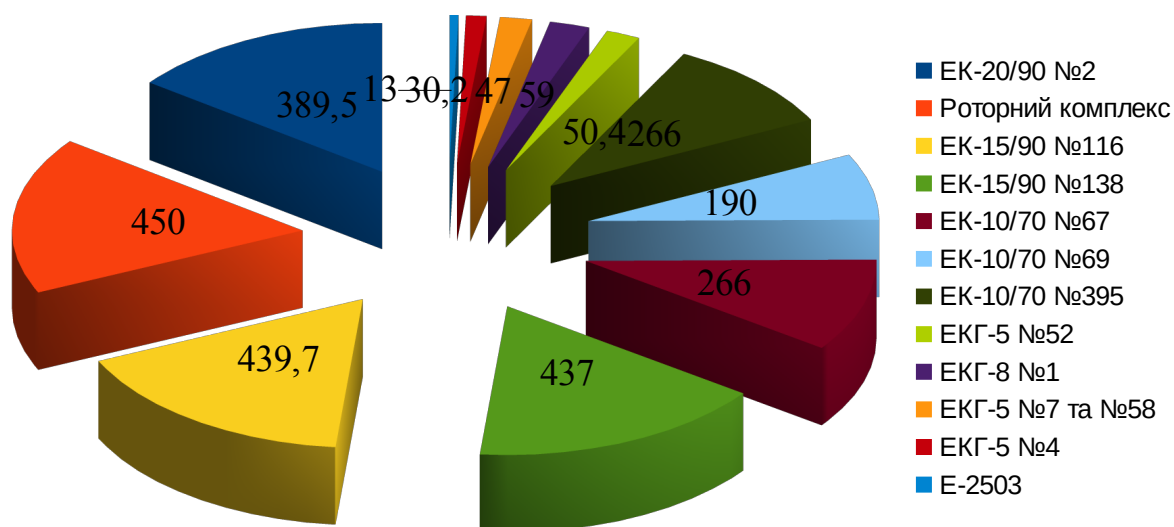


Рисунок 1.1 - Середнє місячне споживання електроенергії машинами

Одні з найпоширеніших на угольних та гірничо-рудних підприємствах одноковшові екскаватори ЕКГ-4,6(5А), виконані по конструктивній схемі «пряма лопата», оснащені електроприводами системи магнітний підсилювач – генератор – електродвигун [11].

ЕКГ-5А (екскаватор кар'єрний гусеничний) - електрична кар'єрна повноповоротна механічна лопата на гусеничному ході, призначена для виїмки і навантаження в транспортні засоби корисних копалин і розкривних порід, у тому числі важких скельних, попередньо розпушених вибухом. Застосовується на відкритих гірничих роботах в рудної та вугільної промисловості, а також в кар'єрах промисловості будівельних матеріалів, при

будівництві промислових, гідротехнічних та інших споруд.

Екскаватор ЕКГ-5А є модифікацією раніше випущених Уралмашзавод моделей ЕКГ-4.6Б, ЕКГ-4.6А, ЕКГ-4.6, які також застосовуються в Грушівському кар'єрі.

Електрообладнання екскаватора призначене для:

- приводу і управління головними і допоміжними механізмами.
- зовнішнього та внутрішнього освітлення екскаватора.
- контролю ізоляції в ланцюгах змінного струму, в якірних ланцюгах головних приводів і ланцюгах управління для безпечної експлуатації екскаватора.
- забезпечення паспортних параметрів екскаватора.

Технічні дані електрообладнання

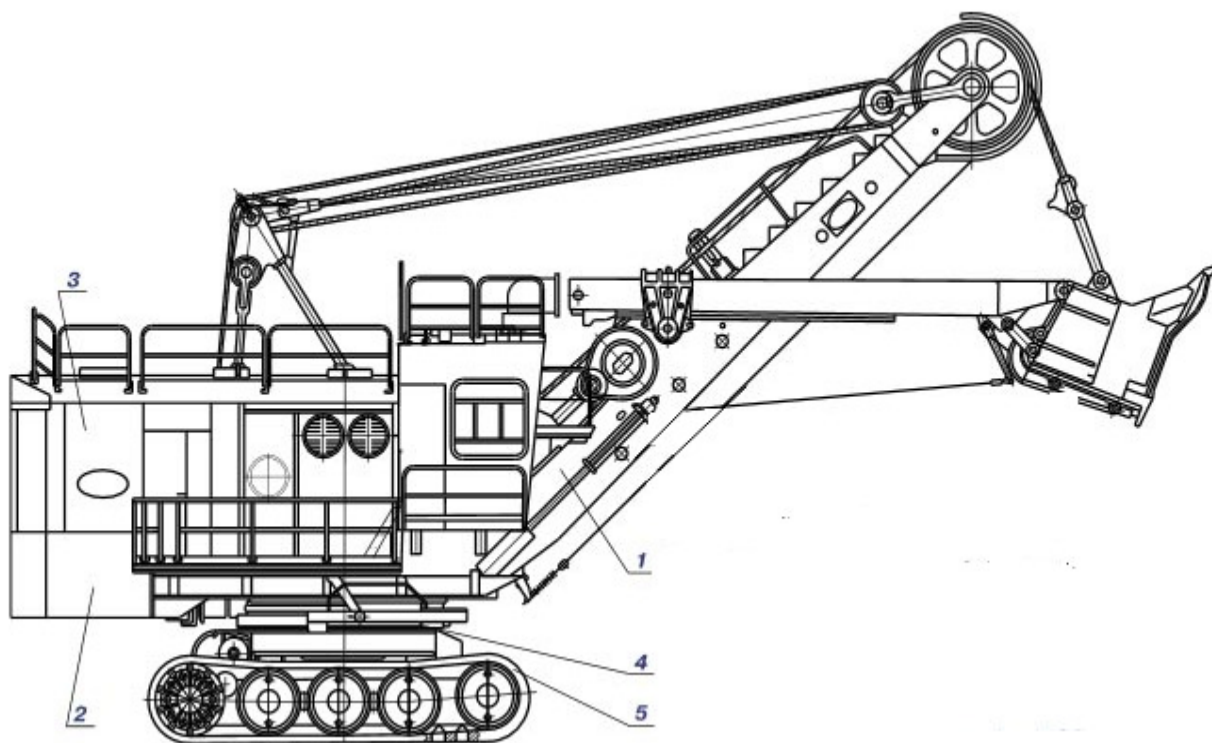
Екскаватор ЕКГ-5А отримує електроенергію від зовнішнього розподільчого пристрою РУ за гнучким високовольтного кабелю типу КГЕ. Перетин кабелю $3 \times 16 \text{ мм}^2 + 1 \times 6 \text{ мм}^2$.

Номинальна напруга підводиться до екскаватора трифазного змінного струму 6000 В або 3000 В, частота 50 Гц; 60 Гц. Напруга і частота обумовлюються при замовленні. Для забезпечення нормальної роботи електрообладнання екскаватора допустиме коливання напруги мережі живлення має бути в межах від мінус 5 % до плюс 10 %.

До складу електроустаткування входить:

- електропривод головних механізмів;
- електропривод допоміжних механізмів;
- освітлення.

На рисунку 1.2 зображено загальний вигляд екскаватору ЕКГ-5А [12].



1 - устаткування робітниче; 2 - платформа; 3 - кузов; 4 - візок ходовий; 5 - ланцюг гусеничний.

Рисунок 1.2 – Екскаватор ЕКГ-5А

Екскаватор ЕКГ-5А працює зазвичай на одному фідері з 1-3 крокуючими екскаваторами. Екскаватор ЕКГ-5А має асинхронний двигун перетворюючого агрегату, трансформатор і інші асинхронні двигуни в складі електрообладнання. Так як екскаватор ЕКГ-5А працює не весь час, а іноді змушений очікувати приїзду автотранспорту під завантаження, то може виникати потреба в компенсуванні реактивної потужності, що буде описано нижче. Крім того в умовах кар'єру експлуатується ряд допоміжного устаткування, такого як асинхронні двигуни откачних насосів, трансформатори і т. п., що може вимагати компенсації реактивної потужності.

Комірки комплектні зовнішньої установки КРП-2-РН-6-К-У1 призначені для установки в відгалужувальних і магістральних мережах кар'єрів, а також в місцях приєднання до внутрішньокар'єрних ліній електропередач мереж напругою 6 кВ частотою 50 Гц [13].

Корпус КРП (комплектний розподільний пункт), що забезпечує

ступінь механічного захисту IP54, дає можливість широкого використання в промисловій енергетиці, особливо в місцях з важкими умовами навколишнього середовища.

На рисунку 1.3 зображену комірку ККЗУ-ВВ-2-6(10) УЗ, що може бути використана для підключення ЕКГ-5А або іншого екскаватора до мережі 6кВ.

В складі допоміжного обладнання на території Грушевського кар'єра є насосні станції, одна з них це – Грушевська 5.

Насосна станція укомплектована насосом 300Д/90. Закачний насос типу К-60. Для приводу насоса 300Д/90 використан двигун АЕ-113-4У2, номінальна потужність якого становить 250кВт, номінальна напруга 6000В, номінальний струм 28,7А, частота обертів 1480 об/хвил.

Електроенергія по повітряній лінії електропередач надходить до комірки кар'єрної зовнішнього виконання (ККЗВ), яка аналогічна до описаної вище у плані застосування, але стара і може бути рекомендована заміна на нове обладнання.

З ККВЗ іде гнучким кабелем КГЕ ($3 \times 35 \text{ мм}^2 + 1 \times 6 \text{ мм}^2$) з гумовою ізоляцією в гумовій оболонці, з екранами з електропровідної гуми. Область застосування даного кабелю є для приєднання екскаваторів та інших пересувних і навідних механізмів, обладнаних апаратурою автоматичного відключення при однофазному замиканні на землю, що працюють при температурі від -40 до +50 °С і відносній вологості 98% [14].

Кабель КГЕ заходить у приміщення насосної станції, що являє собою сварну металеву конструкцію. Кабель йде у комплектний розподільний пристрій.

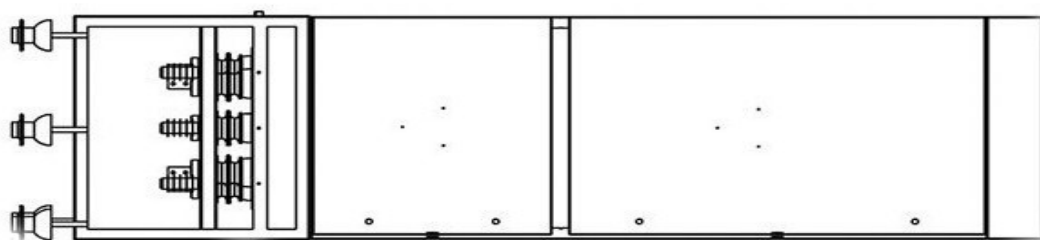
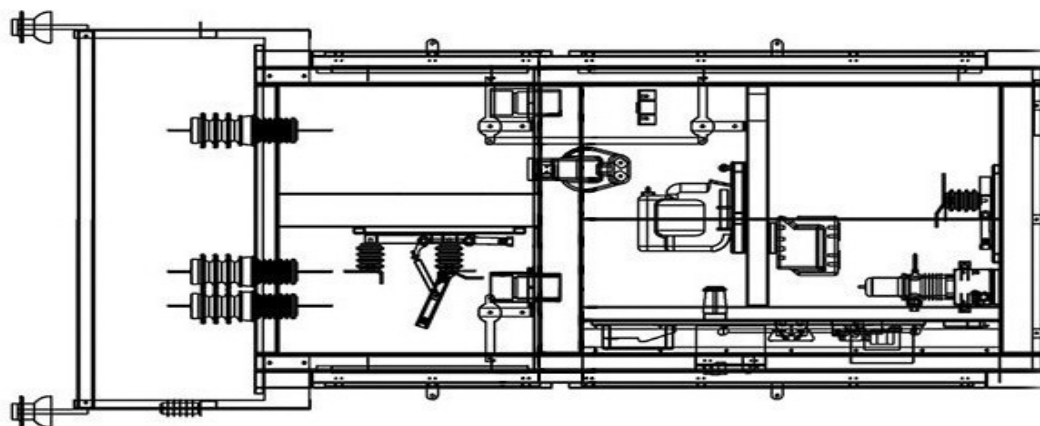
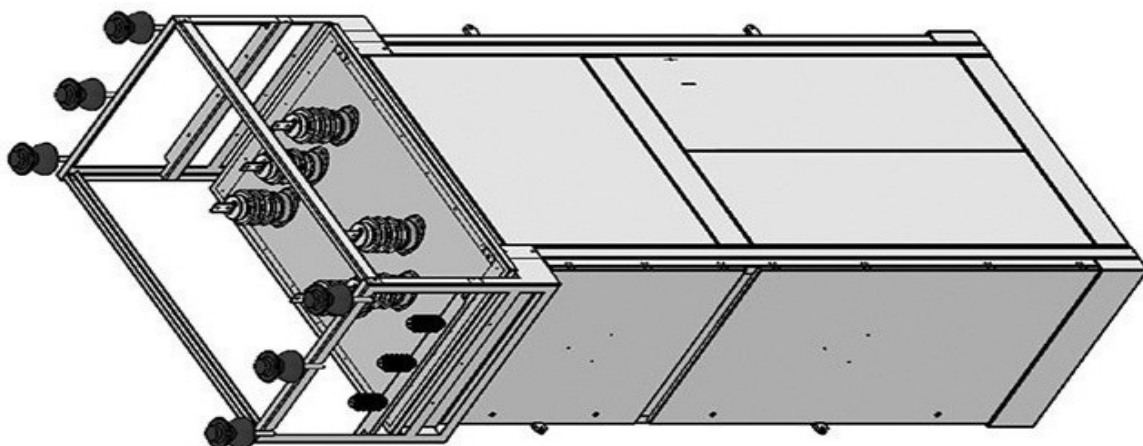


Рисунок 1.3 – Комірка ККЗУ-ВВ-2-6(10) УЗ

Для заливки головного насоса станції Грушівська-5 використовується закачний насос К-60. К-60 приводиться в обертання двигуном типа 4А132S4:

- номінальна потужність 7,5 кВт;
- частота обертів 1455 об/хвил;
- номінальна напруга 220/380 В;

- номінальний струм 26,2/15,1 А.

Запуск двигуна закачного насоса здійснюється контактором з кнопкою зібраними в шафі. Спеціальна магнітна станція відсутня через нереверсивність і простоти приводу.

Асинхронні двигуни та трансформатор розподільчого пристрою насосної станції — це обладнання яке теж може потребувати компенсування реактивної потужності дивлячись на перетоки потужностей кар'єру.

Також на території Грушевського кар'єра експлуатується цілий ряд крокуючих екскаваторов, на рисунку 1.4 зображено ЕК-10/70.

Екскаватор ЕК-10/70 (екскаватор крокуючий) – повноповоротна електрична машина на крокуючому ході з робочим обладнанням драглайн з ковшом місткістю 10 м³ і довжиною стріли 70 м. Випускався на НКМЗ з 1971 по 1988 рр. З 1988 р завод перейшов на випуск модернізованих екскаваторів ЕК-10/70А-У.

Екскаватори застосовуються для відкритих розробок корисних копалин по бестранспортной системі, при будівництві каналів, іригаційних систем і різних гідроспоруд. Низький тиск на ґрунт і висока маневреність дозволяють проводити роботи на слабких ґрунтах в умовах обмеженого простору.

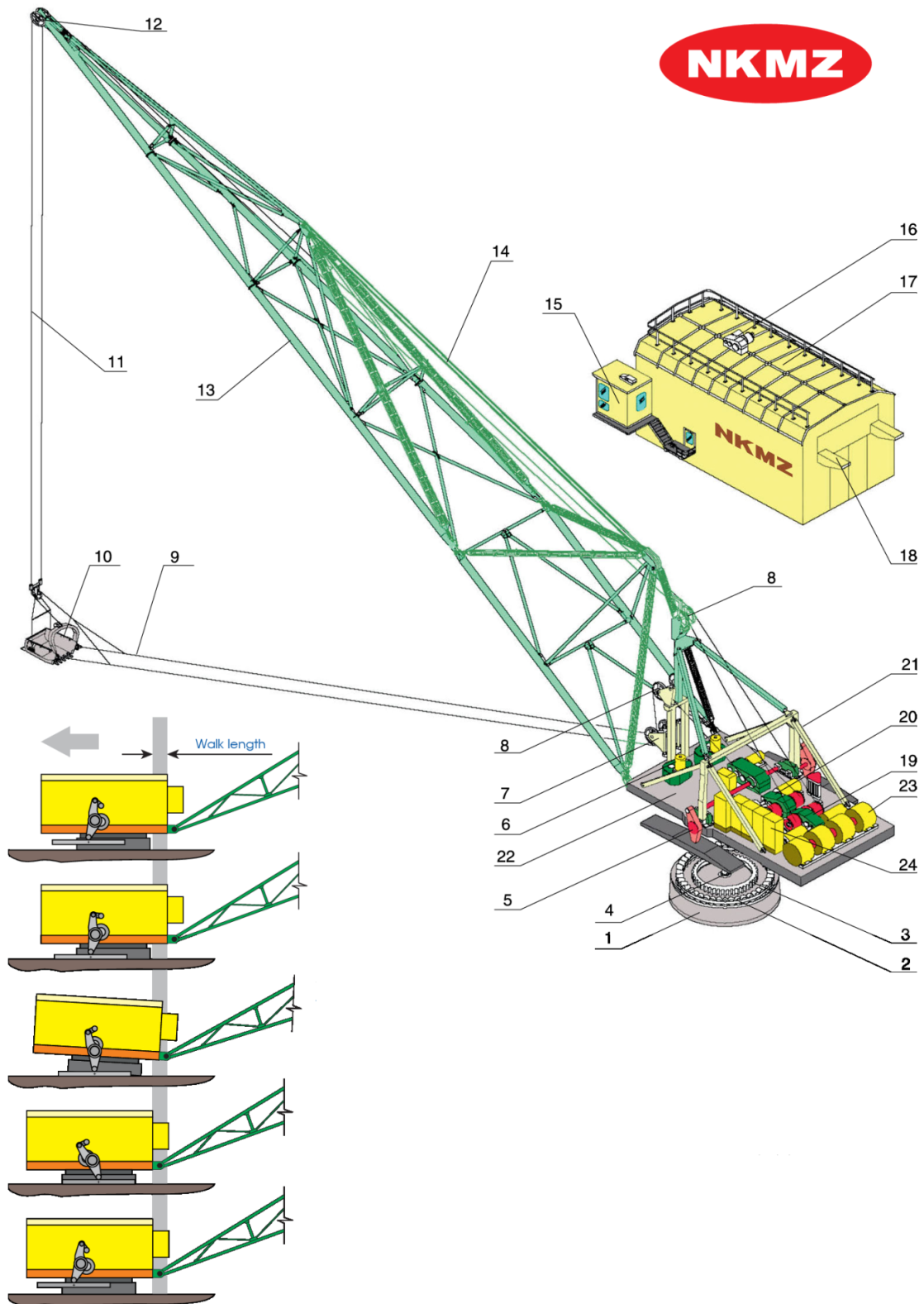
Марка високовольтного кабелю - КШВГ $3 \times 70 \text{ мм}^2 + 1 \times 16 \text{ мм}^2$.

Електрична мережа екскаватора для живлення споживачів напругою 380 В - трифазна, з ізольованою нейтраллю.

Електрична мережа освітлення - трифазна, з ізольованою нейтраллю, напругою 220 В.

Склад електрообладнання має апарати постійного і змінного струмів.

До складу електроустаткування екскаватора входить електрообладнання на напругу понад 1000 В і на напругу нижче 1000 В.



1 - база; 2 - роликоне коло; 3 - зубчастий вінець; 4 - центральна цапфа; 5 - механізм крокування; 6 - механізм обертання; 7 - блоки направлення; 8 - підтримуючі блоки; 9 - тягові канати; 10 - ківш із упряжжю; 11 - підйомні канати; 12- слідкуючі блоки; 13 - стріла; 14 - вантова підвіска стріли; 15 - кабіна; 16 - лебідка підйому стріли; 17 - кузов; 18 - підкрановий шлях; 19 - підйомна лебідка; 20 - тягова лебідка; 21 - надбудова; 22 - поворотна платформа; 23 - головний перетворювальний агрегат; 24 - шафи керування.

Рисунок 1.4 – Екскатор ЕК-10/70

Енергетична характеристика електрообладнання екскаватора наведена у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Характеристика обладнання ЕК-10/70

Параметр	Значення
Підводиться напруга, (В)	6000
Рід струму	змінний
Частота, (Гц)	50
Встановлена потужність високовольтних споживачів, (кВА)	1710
Встановлена потужність обертових електричних машин, (кВт)	1320
Середньо-споживана екскаватором потужність, (кВт)	1000
Загальна кількість машин, що обертаються, (шт)	40
Здатність, яка відключає масляного високовольтного розподільного пристрою, (кА)	10
Пусковий струм синхронного двигуна СДЕ2-16-46-6У2, (А)	868

До електроустаткування на напругу понад 1000 В відносяться:

- високовольтний кільцевий струмоприймач;
- високовольтний розподільний пристрій;
- силовий масляний трансформатор;
- синхронний електродвигун головного перетворювального агрегату.

До електроустаткування на напругу нижче 1000 В відноситься все інше електрообладнання:

- всі електричні машини постійного струму і асинхронні двигуни;
- станції і пульти управління;
- апаратура контролю ізоляції;
- апаратура освітлення;

- ящики резисторів, магнітні пускачі, командоапарати, резистори та інше електрообладнання.

Головний перетворювальний агрегат призначений для живлення електродвигунів головних електроприводів постійним струмом.

Агрегат складається з приводного синхронного двигуна типу СДЕ2-16-46-6У2 і трьох генераторів постійного струму типу ГПЕ 85 / 36-6К. Машини агрегату змонтовані на загальній сталевій фундаментній плиті і з'єднані між собою муфтами, закритими кожухами. Муфти - еластичні, з круглими пальцями з твердої гуми. Напівмуфти - сталеві, посадка на вали машин напружена. Для транспортування агрегату на плиті передбачені чотири підйомних цапфи.

Машини агрегату захищеного виконання на щитових підшипниках кочення. Генератори мають примусову вентиляцію від вентиляторів типу «наїзник». Синхронний двигун з самовентиляцією. Забір повітря у всіх машин агрегату проводиться з кузова екскаватора, а викид нагрітого повітря - вниз, в плиту, через відсіки платформи екскаватора. Станини всіх машин заземлені на плиту агрегату. Кожна машина має електронагрівачі типу ЕТ-80, (6 штук на 0,4 кВт, 220 В, з'єднаних в «зірку» для живлення від мережі 380 В).

Збуджувальний перетворювальний агрегат призначений для живлення обмоток збудження генератора власних потреб, двигунів постійного струму і синхронного двигуна, а також для живлення ланцюгів управління.

Збуджувальний агрегат складається з приводного асинхронного двигуна типу АО2-82-4. (55 кВт, 380 В, 1460 об/хв.), і двох генераторів постійного струму типу 2П2В250МУ4. (20/1,17 кВт, 55/13 В, 1500 об/хв.) і типу 2ПН225МУ4. (30 кВт, 115 В, 1500 об/хв.). Всі електричні машини захищеного виконання і монтуються на загальній фундаментній плиті.

На одній з трьох машин ЕК-10/70 Грушевського кар'єра замість малої групи встановлені тиристорні перетворювачі ТЕ4 і ТЕ8. Одна з машин з обертовими перетворювачами планується під реконструкцію електричної

частини, з великою верогідністю заміни малої групи на сучасні тиристорні перетворювачі.

Збудники серії ТЕ8-320-5 призначені для живлення обмотки збудження, управління і регулювання струму збудження при прямому і реакторному пуску, синхронній роботі і аварійних режимах синхронних двигунів.

Електродвигуни серії МПЕ призначені для приведення в дію механізмів підйому, тяги і крокування екскаватора, а електродвигуни серії МПВЕ механізму повороту.

Електричні машини екскаваторного виконання серій МПВЕ і МПЕ розроблені на базі машин загально серії П і відрізняються підвищеною механічною міцністю і обмотувальними даними.

Високовольтний кільцевої струмоприймач призначений для передачі електроенергії з нерухомою бази на обертову поворотну платформу.

Високовольтне розподільний пристрій призначений для пуску, відключення і захисту синхронного двигуна чотирьохмашинного головного перетворювального агрегату, а також живлення та захисту силового масляного трансформатора за допомогою високовольтних запобіжників.

Розподільний пристрій підключається до мережі трифазного змінного струму напругою 6000 В, частотою 50 Гц. Високовольтний розподільний пристрій екскаваторного виконання, встановлюється на поворотній платформі екскаватора і складається з однієї шафи типу . Кабельний ввід через отвори в підставі шафи. Шафа розділена на два відсіки сталевими перегородками.

Силовий масляний трансформатор призначений для живлення всіх споживачів напругою 380 В, частотою 50 Гц.

Потужність трансформатора 250 кВА, номінальна напруга первинної обмотки 6000 В, вторинної обмотки 400 В. Охолодження трансформатора масляне. Для спостереження за температурою масла, трансформатор забезпечений термометром.

Трансформатор має спеціальний перемикач, за допомогою якого можна встановлювати на вторинних обмотках напругу в межах норми при зміні підведеної до екскаватора напруги.

Для захисту від небезпеки переходу високої напруги в мережу низької напруги з ізольованою нейтраллю, в трансформаторі передбачений пробивний запобіжник. Один електрод запобіжника з'єднується з виводом нейтралі обмотки низької напруги, інший з корпусом трансформатора.

Екскаватор підключається до мережі трифазного змінного струму напругою 6000 В, частотою 50 Гц через зовнішнє високовольтний розподільний пристрій.

Зовнішній високовольтний розподільний пристрій має забезпечувати максимальний захист, нульовий захист і захист від грозових перенапруг.

Схеми управління головними електроприводами екскаватора виконані по системі генератор - двигун з використанням самозбудження генераторів, з підлеглим регулюванням параметрів електроприводів.

Високовольтний струмоприймач встановлений над центральною цапфою і виступає над нульовою позначкою поворотної платформи.

Для управління головними приводами екскаваторів застосовується система Г-Д (генератор-двигун) з живленням обмоток збудження генератора від силових магнітних підсилювачів (рисунок 1.5).

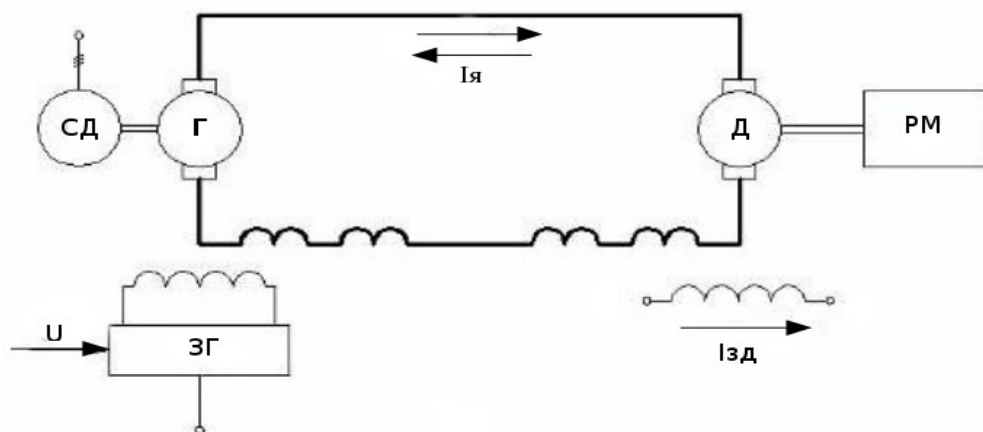


Рисунок 1.5 – Система Г-Д

Магнітний підсилувач являє собою статичний апарат відносно простої і надійної конструкції, що має високий коефіцієнт посилення. Дуже важливою його властивістю є можливість отримання безгістерезисної навантажувальної характеристики, можливість підсумовування декількох сигналів і витримувати значні короточасні перевантаження по струму.

В електроприводах постійного струму управління швидкістю і моментом по величині й напрямку проводиться регулюванням напруги на якорі двигуна за величиною і полярністю. Для механізму підйому та тяги додатково в деяких режимах застосовується ще й ослаблення поля двигуна для отримання швидкостей вище номінальної.

Регулювання напруги на якорі двигуна в системі Г-Д виробляється за рахунок зміни струму в обмотці збудження генератора. Для цієї мети служить збудник генератора (ЗГ), в якості якого використовуються тиристорні перетворювачі (ТЗ-Г-Д).

Система Г-Д за принципом роботи є реверсивною з двобічної передачею енергії і автоматично забезпечує необхідні чотириквadrантні механічні характеристики.

Перетворення енергії в силовому каналі електроприводу за системою Г-Д виробляється електромашинним перетворювачем. Мережевий приводний двигун агрегату - синхронний або асинхронний (СД), обертає генератор постійного струму (Г). Сумарний ККД (коефіцієнт корисної дії) електромашинного перетворювача визначається як добуток ККД мережевого двигуна і генератора. Величина його в системах Г-Д близько 0.85-0.9. Особливістю генератора електромашинного перетворювача є інерційність обмотки збудження, постійна часу 1-5 сек. Форсування напруги збудника дозволяє знизити час перехідних процесів напруги генератора в 3-5 разів.

Для управління генераторами застосована двоконтурна система підпорядкованого регулювання. Особливість даної системи є каскадне включення двох регуляторів: струму і напруги. На вході регуляторів кожного з контурів порівнюються сигнали, пропорційні заданому і дійсному

значенням вихідного параметра контуру.

Регулювання напруги генератора здійснюється зовнішнім контуром за допомогою проміжного блоку магнітних підсилювачів, виконаного на двотактному магнітному підсилювачі типу БД 511.13.УЗ. Проміжний блок магнітних підсилювачів включений на вхід внутрішнього контуру, який здійснює регулювання струму (моменту) двигуна. Регулятор струму виконаний на двох однокатних магнітних підсилювачах типу УМЗП 4-127 / 50УЗ (для приводів підйому і тяги) і УМЗП 1,6-127 / 50УЗ (для приводів повороту і крокування).

Обертання генераторів головних приводів здійснюється синхронним високовольтним електричним двигуном.

Статорна обмотка синхронного двигуна підключається до мережі 6000 Вольт за допомогою масляного вимикача на повну напругу мережі.

Обмотка ротора наглухо підключена до збудника синхронного двигуна.

До натискання кнопки «пуск синхронного двигуна» стан схеми управління наступне; реле часу знаходяться під напругою, контактор подачі збудження синхронного двигуна знеструмлений, максимальні струмові реле зашунтовані резистором за допомогою контактів реле часу. Після натискання кнопки отримує живлення електромагніт включення масляного вимикача високовольтної комірки, включається масляний вимикач і на статор синхронного двигуна подається напруга 6000 В.

Розганяється синхронний двигун при прямому пуску як асинхронний за рахунок наявності короткозамкненою обмотки в роторі. Подача збудження в ротор синхронного двигуна проводиться в функції часу. Відлік часу з моменту подачі напруги в обмотку статора проводиться за допомогою реле часу.

На машинах також реалізований плавний пуск синхронного двигуна розгоном.

У разі зниження напруги живлення більш ніж на 20 % спрацьовує реле - відбувається форсування збудження синхронного двигуна, щоб він не випав

із синхронізму. Режим форсування сигналізується червоною лампочкою «форсировка» на пульті управління. тривалість форсування не більше 30 сек. (Контролюється машиністом), після чого машиніст зобов'язаний відключити синхронний двигун за допомогою кнопки «стоп головного агрегату».

Якщо напругу живлення зникне або знизиться більш, ніж на 65 % від номінального значення, спрацює реле мінімальної напруги РНВ (нульовий захист), вимикаючи масляний вимикач і синхронний двигун. Після відновлення енергії можна знову проводити запуск синхронного двигуна. Допускається три пуски двигуна поспіль з інтервалом 5 хвилин. Середнє число пусків двигуна при експлуатації - не більше 10 разів на добу.

У схемі управління синхронним двигуном (надалі СД) передбачений вузол струмового захисту, який здійснює максимальний захист і виключає можливість роботи в асинхронному режимі.

Схема управління не дозволяє роботу СД при відключених магнітних підсилювачах головних приводів, а також при відсутності збудження СД.

Включення і відключення масляного вимикача проводиться дистанційно, кнопками управління, встановленими на пульті управління.

Як один з можливих методів модернізації рекомендується провести реконструкцію на двох машинах ЕК-10/70, з метою заміни малої групи на тиристорні перетворювачі, як більш сучасне схемне рішення, як це вже зроблено на ЕК-10/70 № 69.

Для всіх приводів допоміжних механізмів застосовані короткозамкнені асинхронні двигуни.

1.3 Синхронні двигуни перетворюючих агрегатів

Основними об'єктами досліджень в даній роботі є мережеві двигуни перетворюючих агрегатів екскаваторів, що використовуються в гірничих розрізах та кар'єрах. У таблиці 1.2 наведені їх основні технічні характеристики, наведені в паспортних даних, а також отримані розрахунковим шляхом в результаті теоретичних досліджень [15].

Важливою перевагою синхронних машин є їх здатність економічного генерування та споживання реактивної потужності, так як вони збуджуються постійним струмом. Тому вони використовуються як генератори на електростанціях, а також як компенсатори. У спеціальних приводах синхронні машини використовуються і в якості двигунів [16].

Синхронний електродвигун може працювати з перезбудженням, тобто з від'ємним углом φ , тим самим компенсує індуктивну потужність інших споживачів. СД виявляється економічно більш ефективним, ніж асинхронний двигун, особливо для приводів потужних механізмів [17].

В сучасних електроприводах великої потужності широко використовують синхронні двигуни. Такі двигуни за своїми техніко-економічними показниками переважають двигуни інших типів незмінністю частоти обертання, можливістю не лише виробляти механічну, але й реактивну електричну потужність. В крупних електроенергетичних установках синхронні машини іноді використовуються в якості компенсаторів, що дозволяє підвищити коефіцієнт потужності всієї установки. Широко використовуються деякі типи синхронних машин, що мають незначну потужність і об'єднуються в так званий клас спеціальних синхронних машин.

У відповідності до принципу оберноності електричних машин, синхронна машина може працювати як в режимі генератора, так і в режимі двигуна, тобто споживати з мережі активну електричну потужність і перетворювати її в механічну.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики мережевих двигунів одноковшових екскаваторів

Дані	Марка екскаватора					
	ЕКГ5А ЕКГ-4,6А	ЕКГ-8И ЕКГ-4У ЕК-6/45М	ЕКГ-12,5 ЕК- 10/70 ЕК- 11/70	ЕК-15/90	ЕК-15/90А	ЕКГ-35/65М ЕК-20/90
Тип двигуна	АЕ-1134М ПЗ14	СДЕУ- 14-29-6 СДСЕ- 14-29-6у2 СДЕ2-15- 34-6у2 СДЕ-520- 1000	СДСЕ- 15-39-6у СДЕ-16- 46-6у2 СДЕ2-16- 46-6у2 СДЕ2-16- 48-6у2	СДЕЗ- 15-64-6	СДСЕ- 15-64-6 СДЕ2-17- 46-6у2	СДЕ2-17- 57-6у2 СДЕ2-17- 69-8хл2 СДС-16- 71-8
Номинальна потужність, кВт	250	520, 525, 630	1460, 1250	1680	1900	2500, 2900
Частота обертання, об/хв	1480	1000	1000	1000	1000	75
Номинальна напруга, кВ	6,0/3,0	6,0/3,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Номинальний струм якоря, А	28,8/57,6	60/120, 72	139-143	202	225	266, 279
Струм збудження, А		280,316	270-296	271	282	264-282
Номинальна напруга збудження, В		36	44	47	55	70-78
Кратність пускового струму, $I_{п}/I_{я}$	5	5,8-6,2	5,5-6,2	5,5-6	6-6,5	6-7,5
Коефіцієнт потужності, $\cos\varphi$	0,95	-0,89	-0,9	-0,9	-0,95	-0,95
ККД, %		93,8	94,8-96	96,4	96,3	96,2
$M_{\max}/M_{\text{ном}}$		1,8-2	1,8-2,1	2	2,1	2,3
$M_{п}/M_{\text{ном}}$		0,9	0,65-0,8	0,8	0,7	1,3
Номинальні втрати, кВт		34,7	52,08	62,74	73	98,75
Нормований перетин жил кабелю, мм ²	25	35	35	50	70	95

Найпростіше принцип дії синхронного двигуна можна пояснити на макеті, який складається із зовнішнього підковоподібного магніту та магнітної стрілки, що мають можливість обертатись, що зображено на рисунку 1.6. При внесенні магнітної стрілки в поле зовнішнього магніту, її полюси зорієнтуються відповідно полярності цього поля. Якщо обернути зовнішній магніт з кутовою частотою обертання ω , то магнітна стрілка, зчеплена з його полем, буде обертатись з тією ж частотою обертання. Якщо до осі стрілки прикласти гальмівний момент, то вона, відхилившись на кут θ , буде продовжувати обертатися синхронно з зовнішнім полем доти, доки

гальмівний момент не перевищує моменту взаємодії між полями стрілки та підковоподібного магніту. У іншому разі зв'язок між ними розірветься і стрілка зупиниться.

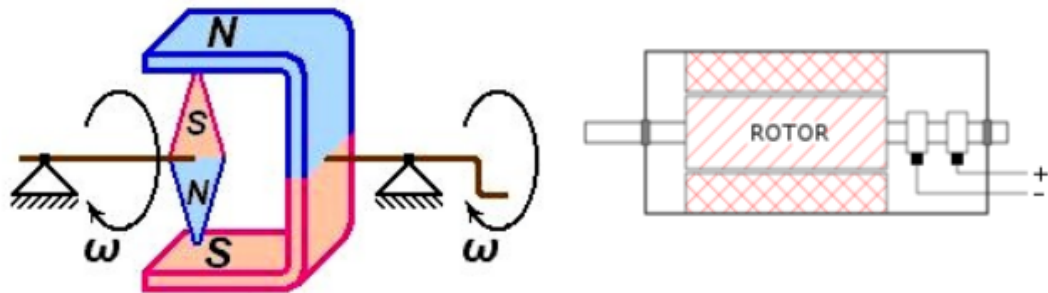


Рисунок 1.6 – Макет та схема синхронного двигуна

У реальному двигуні роль зовнішнього поля розглянутого макета відіграє кругове обертове магнітне поле, що створюється трифазною обмоткою статора, а роль стрілки – основне магнітне поле, яке створює обмотка збудження на роторі.

Необхідно зауважити, що з самого принципу роботи синхронного двигуна можна бачити можливість, необхідність та енергозберігаючий ефект регулювання струму ротора, а саме збудження синхронного двигуна в залежності від параметрів його роботи в конкретних умовах. Так замінивши стрілку постійного магніта на електромагніт можливо керувати моментом взаємодії між полями електромагніту та підковоподібного магніту, тобто потужністю двигуна[18].

Статор СД виконаний аналогічно статору АД - три статорних обмотки розташовані на статорі таким чином, що осі створюваних ними потоків зрушені в просторі на 120° . Підключення початків обмоток статора до трифазної мережі змінного струму із зсувом напруги між фазами на 120 електричних градусів призводить до появи магнітного поля, обертового з синхронною швидкістю $\omega_0 = 2\pi f_1/p$. Тут p - число пар полюсів статорних обмоток СД; f_1 - частота мережі живлення. При $p = 1$ обертаючеся поле являє собою два діаметрально протилежно розташованих різнойменних

полюса північного (N) і південного (S), які і обертаються зі швидкістю ω_0 . Ротор СД виконується з двома обмотками: обмоткою збудження і короткозамкненою пусковою обмоткою у вигляді «білячої клітини». Обмотка збудження отримує живлення напругою постійного струму і при протіканні струму вона перетворюється в електромагніт постійного струму, різнойменні полюси якого в залежності від швидкості обертання можуть виконуватися як явними, так і неявними, тобто обмотка збудження розподіляється по зовнішній поверхні ротора [19].

Обертання ротора синхронних двигунів з незмінною синхронною частотою складає особливість цих двигунів і часто визначає галузь їх застосування (наприклад в електроприводах, що потребують сталої частоти обертання).

Пуск синхронних двигунів безпосереднім вмиканням його обмотки статора до мережі (як це має місце при пуску асинхронного двигуна) неможливий, тому що ротор, який має значну інерційність, не може бути відразу захопленим обертовим полем статора, частота обертання n_1 якого (наприклад 1000 об/хв) встановлюється миттєво. В зв'язку з цим, для пуску синхронного двигуна застосовуються спеціальні способи, суть яких полягає в попередньому розгоні ротора до обертання з синхронною, або з близькою до неї частотою обертання, яка називається підсинхронною, і при якій між ротором і статором може відбутися стійкий магнітний зв'язок.

З цією метою може використовуватись спеціальний привідний двигун і тоді пуск синхронного двигуна нічим не відрізняється від ввімкнення синхронного генератора на паралельну роботу з мережею способом грубої синхронізації. Необхідність у привідному двигуні – це суттєвий недолік такого способу пуску, тому в сучасних електроприводах використовується асинхронний пуск синхронних двигунів. Для здійснення такого пуску, в полюсних наконечниках ротора виконується пускова обмотка типу “біляче колесо”, аналогічно демпферній обмотці синхронного генератора.

На період пуску обмотка збудження замикається на резистор, щоб запобігти перенапруги в ній. Обмотка статора вмикається до мережі, і пуск відбувається, як і пуск асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором. Після розгону ротора до підсинхронної частоти обертання ($n_2 \approx 0,95n_1$), обмотка збудження вмикається до джерела збудження. Електромагнітний момент, що при цьому виникає, втягує ротор в синхронізм, і машина працює синхронно, а пускова обмотка надалі виконує роль демпферної, що обмежує коливання ротора. Враховуючи значні потужності синхронних двигунів, асинхронний пуск проводиться найчастіше на зниженій напрузі, як і потужних асинхронних двигунів – автотрансформаторний або реакторний.

Робота синхронного двигуна при живленні від трифазної мережі відрізняється від роботи синхронного генератора на цю мережу лише напрямом активного струму: у режимі генератора активний струм направлений з машини в мережу, а в режимі двигуна – з мережі в машину. Що стосується реактивного струму, то він може бути в обох режимах роботи взагалі відсутнім ($\cos\varphi = 1$), відстаючим або випереджаючим, що залежить від величини струму збудження.

В обох режимах роботи (і в режимі двигуна, і в режимі генератора) результатне магнітне поле машини створюється МРС обох обмоток – збудження та статора. При недозбудженні синхронної машини зростає МРС обмотки статора, машина підмагнічується з мережі, і навпаки, при перезбудженні, машина розмагнічується в мережу. Таким чином, зміна струму збудження синхронного двигуна буде змінювати струм статора так, як це відбувається і в синхронному генераторі, і може бути виражена U-подібними характеристиками, що зображено на рисунку 1.7.

В недозбудженому стані реактивний струм споживається з мережі, а в перезбудженому віддається в неї, отже, синхронний двигун, за певних умов, можна розглядати як генератор реактивного струму. Ця властивість синхронних двигунів є їх цінною властивістю, що використовується для підвищення коефіцієнта потужності електричних установок.

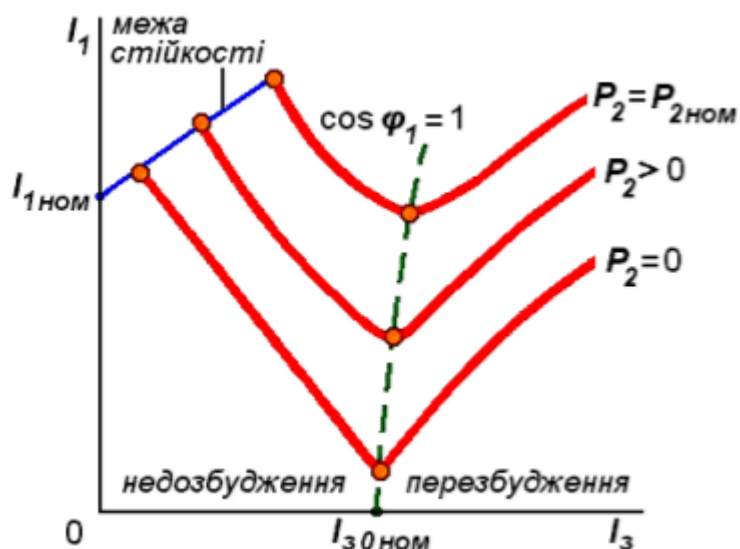


Рисунок 1.7 – U-подібні характеристики синхронного двигуна

Асинхронні двигуни, що є найпоширенішими споживачами електричної енергії, працюють з відстаючим кутом φ , що створює в мережах значні індуктивні струми. Якщо ж паралельно групі асинхронних двигунів увімкнути один чи кілька синхронних, що працюють у перезбудженому стані, то їх емнісний струм буде частково, чи повністю, компенсувати індуктивний струм асинхронних двигунів. При цьому електрична система розвантажується від реактивних струмів, буде працювати з $\cos\varphi \approx 1$, що сприяє зниженню втрат електроенергії в лініях. Слід також зазначити, що при перезбудженні, струм статора синхронного двигуна стає досить значним. Тому синхронні двигуни, що призначені для роботи з перезбудженням, мають дещо більші габарити, а їх ККД менший, ніж у двигунів, що призначені для роботи з $\cos\varphi=1$, коли струм статора і втрати мають мінімальні значення.

Аналогічно до синхронного генератора, увімкненого на паралельну роботу з мережею, синхронний двигун має межу стійкості при мінімальному струмі збудження (лінія від точки струму $I_{1ном}$, що зображена на рисунку 1.7); та лінію $\cos\varphi=1$, що зміщується в бік зростання струму збудження, через падіння напруги на синхронних опорах обмотки статора двигуна, та

необхідність додаткового струму збудження для компенсації цього падіння напруги.

Робочі характеристики синхронного двигуна – це є залежності P_1 , I_a , M , $\cos\varphi$, $\eta = f(P_2/P_{2ном})$ при $U_m = U_{ном}$, $f_c = f_{ном}$ і $I_e = \text{const}$. При роботі синхронного двигуна з навантаженням на валу і постійним струмом збудження I в його робочі характеристики мають вигляд, представлений на рисунку 1.8. Характеристики зображені для випадку нормального збудження двигуна при холостому ході ($P_2 = 0$). Тому при холостому ході $\cos\varphi = 1$ і при зміні навантаження його $\cos\varphi$ залишається вельми стійким, кілька знижуючись при зростанні навантаження. Можна відрегулювати синхронний двигун шляхом зміни струму збудження таким чином, щоб він мав $\cos\varphi = 1$ при бажаном навантаженні. Чим більше збуджений (тобто перезбуджений) синхронний двигун при холостому ході, тим більше виходить величина струму холостого ходу випереджаючого напругу мережі U_m і при тим більше високому навантаженні досягається $\cos\varphi = 1$. Коефіцієнт корисної дії η двигуна зростає до деякої максимальної величини і потім починає знижуватися. Умова максимуму ККД – рівність постійних втрат потужності (магнітних і механічних) змінним втратам (електричним). Струм I_x в обмотці якоря при холостому ході невеликий і відповідає втратам холостого ходу; при зростанні навантаження струм I_a зростає майже з прямолінійною залежністю. Момент M на валу двигуна збільшується лінійно зі збільшенням навантаження, так як ротор обертається з синхронною швидкістю.

Досвід експлуатації показав, що застосування синхронних двигунів загального призначення найбільш доцільне при потужності 200 кВт і більше в установках, що не потребують частих пусків і регулювання частоти обертання (потужні насоси, вентилятори, компресори тощо).

Перевага синхронних двигунів настільки велика, що при $P_{ном} > 200 \dots 300 \text{ кВт}$ їх доцільно застосовувати скрізь, де не потрібно частих пусків і зупинок і регулювання швидкості обертання (Г-Д, потужні насоси, вентилятори, компресори, млини, дробарки і ін.). Синхронні двигуни з

$\cos\varphi_{ном}=1$ по своїй вартості і втратам потужності завжди мають перевагу перед асинхронними двигунами, забезпеченими конденсаторними батареями для компенсації коефіцієнта потужності до $\cos\varphi = 1$. При $P_{ном} > 300\text{кВт}$ вигідно використовувати синхронні двигуни з $\cos(-\varphi_{ном}) = 0,9$ і при $P_{ном} > 1000\text{ кВт}$ - з $\cos(-\varphi_{ном}) = 0,8$ (перезбудження).

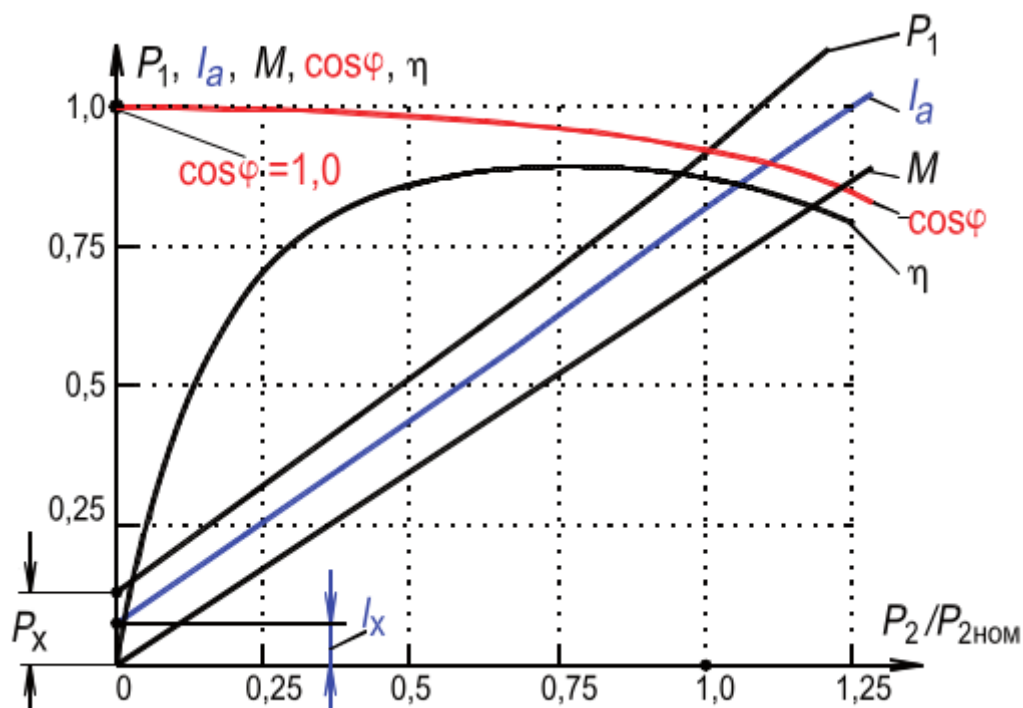


Рисунок 1.8 – Робочі характеристики синхронного двигуна

Застосування синхронних двигунів безперервно розширюється, і вони будуються на потужності до $P_{ном} = 50\text{ МВт}$.

При оцінці техніко-економічної доцільності застосування синхронних двигунів слід також враховувати, що при зниженнях напруги мережі при аварійних процесах підключенні до асинхронних двигунів статичні конденсатори стають мало ефективними, так як їх реактивна потужність знижується пропорційно квадрату напруги мережі. Це призводить до затягування аварійного процесу, а іноді і до подальшого зниження напруги. На противагу цьому синхронні двигуни при зниженнях напруги мережі перезбуджуються і починають генерувати в мережу додаткову реактивну потужність, що сприяє більш швидкому відновленню напруги.

Синхронні двигуни проектують зазвичай таким чином, щоб при зниженні напруги мережі струм збудження двигуна міг бути збільшений в 1,5 ... 2 рази протягом декількох десятків секунд для підтримки статичної стійкості. Такі кратність і тривалість форсування збудження бувають цілком достатніми в умовах експлуатації [20].

Переваги синхронних двигунів.

1. Здатність СД працювати з випереджаючим $\cos\varphi$ і віддавати в мережу реактивну потужність дозволяє поліпшувати режим роботи і економічність мережі електропостачання.

2. Високий ККД сучасних СД, що становить 96-98%, що на 1-1,5% вище ККД АД тих же габаритів і швидкості.

3. Можливість регулювання перевантажувальної здатності СД за рахунок регулювання струму збудження і менша залежність цього показника від напруги мережі в порівнянні з АД.

4. Синхронний двигун має абсолютно жорстку механічну характеристикою.

5. Важливою перевагою конструкції СД є великий повітряний зазор, внаслідок чого його характеристики і властивості мало залежать від зношування підшипників і неточності монтажу ротора.

6. Можливість їх виготовлення на дуже великі потужності (до декількох десятків мегават і більше).

До недоліків синхронних двигунів відносяться.

1. Більш складна конструкція і підвищена вартість у порівнянні з асинхронними двигунами з короткозамкненим ротором.

2. Синхронні двигуни мають більш складний і дорожчий пуск.

3. Для їх роботи необхідний пристрій живлення постійним струмом обмотки збудження.

4. Складність регулювання частоти обертання, яке можливе лише зміною частоти напруги живлення.

1.4 Висновки до першого розділу

Проведено аналіз обладнання Грушевського кар'єра. На ряді екскаваторів відсутня автоматична регуляція струму збудження, синхронні двигуни працюють у неекономічних режимах.

У технологічній схемі використовуються приймачі, що споживають реактивну потужність. Можливо використовувати синхронні двигуни для компенсації реактивної потужності в залежності від необхідності у реальному часі.

Також нерівномірний характер навантаження СД екскаватора призводить при нерегульованому збудженні до того, що на протязі усього циклу роботи двигуни генерують у мережу значну величину реактивної потужності, яка в свою чергу, збільшує втрати потужності як у самих СД, так і в живлючих мережах. У зв'язку з цим в цілях збільшення економічності електроспоживання кар'єрів пропонується регулювати збудження синхронних двигунів екскаваторів [21].

2 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

2.1 Засоби та заходи підвищення енергоефективності

2.1.1 Компенсація і керування збудженням

Робота СД екскаваторів з постійним значенням струму збудження при змінному характері активного навантаження супроводжується змінами реактивної потужності СД, що призводить до постійних її перетоках в системі електропостачання підприємства, впливає на рівні напруги у вузлах навантаження та величину втрат активної енергії і потужності.

Тому актуальною науковою задачею є розробка засобів управління режимом генерації реактивної потужності вузла навантаження гірничого підприємства шляхом автоматичного регулювання збудження синхронного двигуна екскаватора з використанням технічно і економічно обґрунтованих засобів [22].

Компенсація реактивної потужності - цілеспрямований вплив на баланс реактивної потужності в конкретному вузлі електроенергетичної системи з метою зменшення втрат електричної енергії та регулювання напруги.

Реактивна потужність і енергія погіршують показники роботи енергосистеми, тобто завантаження реактивними струмами генераторів електростанцій збільшує витрату палива; збільшуються втрати в мережах і приймачах; збільшується падіння напруги в мережах.

Основні споживачі реактивної потужності - асинхронні електродвигуни, які споживають 40% всієї потужності спільно з побутовими і власними потребами; електричні печі 8%; перетворювачі 10%; трансформатори всіх ступенів трансформації 35%; лінії електропередачі 7%.

Реактивний струм додатково навантажує лінії електропередачі, що призводить до збільшення перетинів проводів і кабелів і відповідно до збільшення капітальних витрат на зовнішні і внутрішні мережі. Реактивна потужність разом з активною потужністю враховується постачальником електроенергії, а отже, підлягає оплаті по тарифах, які діють, тому складає

значну частину рахунку за електроенергію.[23]

Споживач електричної енергії зобов'язаний підтримувати рівень реактивної потужності в розподільній мережі відповідно до значення економічно оптимальної реактивної потужності, яка може бути передана підприємству в режимах найбільшого і найменшого активного навантаження енергосистеми.

Залежно від виду використовуваного устаткування електричне навантаження підрозділяється на активне, індуктивне і ємнісне. Найчастіше споживач має справу із змішаними активно-індуктивними навантаженнями.

Відповідно, з електричної мережі споживається як активна, так і реактивна енергія.

Активна енергія перетвориться в корисну — механічну, теплову та інші енергії. Реактивна енергія не пов'язана з виконанням корисної роботи, а витрачається на створення електромагнітних полів в електродвигунах, трансформаторах, індукційних печах, зварювальних трансформаторах, дроселях і освітлювальних приладах.

Реактивна потужність, яка споживається промисловим підприємством у кожній даній точці мережі, визначається величиною намагнічувальної потужності, яка необхідна для окремих елементів електроустановки, які розташовані за даною точкою в напрямку передачі енергії. Реактивні навантаження підприємств не залишаються незмінними не тільки протягом більш-менш тривалих проміжків часу доби місяця року, але й протягом однієї виробничої зміни. Ці навантаження безупинно змінюються залежно від виробничої програми окремих струмоприймачів, від ступеня їхнього завантаження і відносної тривалості ввімкнення, від коливань напруги в мережі, від якості обслуговування устаткування експлуатаційним і ремонтним персоналом та від інших факторів [23].

Найбільш дієвим і ефективним способом зниження споживаної з мережі реактивної потужності є застосування установок компенсації реактивної потужності (конденсаторних батарей, синхронних двигунів

і синхронних компенсаторів). За рахунок приєднання до мережі компенсуючого пристрою зменшуються втрати потужності і напруги. На практиці коефіцієнт потужності після компенсації знаходиться в межах від 0,93 до 0,99.

Відносну ефективність зменшення реактивного навантаження в тому чи іншому пункті електричної мережі можна оцінити за допомогою так званого економічного еквівалента реактивної потужності. Економічний еквівалент чисельно дорівнює зменшенню втрат активної потужності в мережах при зменшенні реактивного навантаження на 1 кВАр.

Компенсація реактивної потужності є найдешевшим і ефективним засобом підвищення техніко-економічних показників електропостачання, який зменшує всі види втрат електроенергії.

Існує одинична, групова і централізована компенсація [23].

Одним з перспективних напрямків в сучасній електротехніці є компенсування реактивної потужності синхронними двигунами, що дозволяє досягти встановлення нових збудників або модернізація тиристорних пристроїв збудження синхронних двигунів кар'єрних екскаваторів.

Цілями цієї модернізації є:

- значне підвищення надійності роботи електроприводів з синхронними двигунами;
- енергозбереження, компенсація реактивної потужності споживаної навантаженнями, підключеними до одного фідера;
- підвищення експлуатаційних властивостей електроприводів з синхронними двигунами;
- зниження прямих фінансових втрат в результаті впровадження перших двох пунктів проекту;
- поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу.

Підвищення надійності роботи електроприводів з синхронними двигунами, режим роботи синхронного двигуна, його вплив на мережу, стійкість роботи в синхронному режимі багато в чому залежать від

тиристорного збуджуючого пристрою (надалі ТЗП) керуючого струмом збудження синхронного двигуна. Силові схеми ТЗП багато в чому схожі; як правило, це узгоджувальний силовий трансформатор, тиристорний випрямляч, зібраний за мостовою або нульовою схемою, тиристорний ключ і опір, що гасить. Силова частина ТЗП дуже надійна, її елементи, як правило, справно служать протягом усього життя ТЗП.

Найбільш схильні до відмов система (блоки) управління ТЗП. Саме від системи управління залежать і суто електромеханічні характеристики синхронного приводу, і економічні наслідки його роботи.

Застосовувані в ТЗП аналогові системи управління вичерпали свої можливості, за зовнішньою простотою ховаються ряд недоліків:

- щоб налаштувати аналогову систему управління, потрібні знання і досвід в галузі електроніки; так порівнянню з новим обладнанням - для настройки мікропроцесорної системи управління МБЗ.006 фахівцю досить бути середнім користувачем комп'ютера, таких з кожним роком все більше, робітники кар'єру також можуть освоїти це налаштування;

- для підтримки в робочому стані аналогових систем, потрібні електронні компоненти, велика частина яких давно не випускаються і купуються зі зберігання;

- у зв'язку з великим числом елементів, в аналоговій системі відбуваються зміни параметрів схеми під впливом зовнішнього середовища;

- аналогові системи через обмеження своєї структури не враховують всього спектра взаємозв'язків параметрів електроприводу (більше зв'язків - складніше схема), їх алгоритми управління занадто примітивні [24].

Для підвищення надійності роботи синхронного (взагалі будь-якого) приводу потрібна мікропроцесорна система управління на сучасній елементній базі, яка в найбільш повній мірі реалізує в собі принцип «прямого цифрового управління». Суть принципу: основну роботу в системі виконує процесор, мінімум активних елементів і електричних зв'язків, основне призначення елементів схеми — нормалізація сигналів яку йдуть в/з

процесора.

За умови схемотехнічно вірної реалізації нормалізуючих ланцюгів (більшість з них - стандартні, перевірені часом, рішення) в мікропроцесорній системі найбільш важливими є якість алгоритмів управління об'єктом і коду сервісних функцій, глибина опрацювання алгоритмів управління з урахуванням усіх доступних для аналізу сигналів, які надходять ззовні, так і обчислюваних опосередковано.

Взаємозв'язок алгоритмів керуючих збудженням синхронного двигуна складний, але вони повинні враховувати всі, навіть найнеймовірніші ситуації, це стосується в будь-якому технологічному програмному забезпеченні. Всім перерахованим вимогам відповідає Мікропроцесорний Блок управління Збудником (МБЗ).

Конструктивно МБЗ виконаний у вигляді сталевого корпусу — моноблока з можливістю кріплення, як на стіну, так і на двері збудника (6 точок кріплення). Зовнішні роз'ємні з'єднання розташовані знизу, з метою унеможливлення потрапляння на роз'єми води, яка може потрапити на верхню кришку блоку.

Моноблочна компоновка з зовнішніми роз'ємними з'єднаннями прискорює заміну блоку на резервний при виникненні несправності, в разі необхідності, операція заміни займе не більше 10 хвилин.

Усередині корпусу розміщені 4 плати:

- плата процесора (дискретні входи/виходи, роз'єми для підключення зовнішніх інтерфейсних плат, аналогові входи);
- плата індикації;
- плата підсилювачів імпульсів;
- плата джерела живлення і датчиків.

Плати об'єднані між собою гнучким шлейфом, застосування загальної ізолюваною інформаційної шини, дозволило продублювати всі сигнали, що передаються через шлейф і підвищити надійність системи.

Плати покриті шаром поліуретанового лаку, що захищає їх від впливу

вологи і конденсату. Електронні компоненти - в основному SMD (Surface Mount Device, поверхневий монтаж) що підвищує стійкість пристрою до вібрації. Температурний діапазон компонентів - індустріальний (-40°C ... +85°C).

Основний елемент структури МБЗ - процесор, оточений ланцюгами нормалізації і захисту дискретних і аналогових входів/виходів, які гарантують виживання процесора при попаданні на входи схеми статичного розряду і сигналів з рівнем, що перевищує номінальні значення [24].

На процесорній платі встановлені інтерфейсні роз'єми, для підключення додаткових плат, в даний час доступні для встановлення:

- плата ізольованих аналого-цифрового перетворювача (дозволяє вводити в систему додаткові не зв'язані між собою сигнали 75мВ, 10В, 24В, ШІМ (5-24В, 0-400Гц));
- ізольований інтерфейс RS232;
- ізольований інтерфейс RS485;
- ізольований інтерфейс Ethernet.

Введення уставок і налагодження МБЗ здійснюється від персонального комп'ютера (ноутбука) по USB, або RS232/RS485/Ethernet інтерфейсів. За RS232/RS485/Ethernet здійснюється обмін інформацією з системою верхнього рівня.

Основа МБЗ – його програмне забезпечення [24]. Для безперебійної і коректної роботи приводу, МБЗ має вбудовані засоби діагностики всіх датчиків з автоматичним відключенням несправного датчика, наприклад:

- при роботі в автоматичному режимі, при відсутності сигналів напруги статора, автоматично включається ручний режим (стабілізації струму ротора);
- при роботі в автоматичному режимі, при обриві датчика струму ротора (відсутності зворотного зв'язку), крім аварійного завершення роботи по захисту «Обриви поля», передбачений режим продовження роботи за непрямыми даними по току ротора (для цього спрацьовування захисту

«Обрив поля» має бути заборонено) параметри, що стабілізуються в автоматичному режимі залишаються незмінними;

- стан двигуна (включений/розганяється/вимкнений/на вибігу/генераторний режим) безпомилково визначається за прямими і непрямими даними, і в їх числі час.

Блок МБЗ дозволяє провадити компенсацію реактивної потужності споживаної навантаженнями, підключеними до одного фідера. Реактивна потужність - паразитний фактор несприятливий для мережі в цілому, тому вимагає компенсації.

Асинхронні електродвигуни та розподільні трансформатори, є джерелами реактивної електроенергії (потужності). При їх включенні в мережу, між електроустановкою і мережею виникає обмін потоком реактивної енергії, сумарна потужність якого дорівнює нулю, але при цьому:

- виникають додаткові втрати в провідниках в наслідок збільшення струму;
- знижується пропускна здатність розподільчої мережі;
- напруга мережі відхиляється від номіналу (в наслідок падіння напруги через збільшення реактивної складової струму мережі).

Уникнути цього процесу неможливо, за те можливо звести його до мінімуму. Для компенсації реактивної потужності потрібно встановити додаткове джерело реактивної потужності (Q), тоді обмін потоками енергії буде відбуватися між цим джерелом і електроустановками на невеликій ділянці ланцюга, не проходячи по основним мережам, і отже не викликаючи в них негативних наслідків.

У разі коли на ділянці ланцюга підключені електроустановки з синхронними електродвигунами можна використовувати їх здатність генерувати реактивну потужність.

В ідеальному випадку, на ділянці ланцюга, сумарна реактивна потужність, що генерується синхронними двигунами, повинна бути рівною реактивної потужності споживаної асинхронними двигунами і

трансформаторами. Так як синхронні двигуни, крім компенсації реактивної потужності, виробляють корисну роботу, то їх компенсаційні здібності будуть змінюватися від максимальної на холостому ходу, до нуля в режимі максимального навантаження. Якість роботи синхронного двигуна як компенсатора визначається системою управління пристроєм збудження [24].

2.1.2 Контролер МБЗ збудника синхронного двигуна

МБЗ.008 (МБЗ.006 МБЗ.007) - мікропроцесорний блок керування тиристорним пристроєм збудження, застосовується в якості основної системи управління для серійного виробництва тиристорних пристроїв збудження синхронних двигунів, а також для модернізації застарілих збудників для заміни аналогової системи управління [25].

МБЗ придатний для модернізації всіх видів тиристорних збудників, що коли-небудь випускалися нашою промисловістю: ЗТЕ, ЗТЦ, ТЕ, ТЗУ, ТЗ, ТЕП, СПЗУ.

МБЗ істотно розширює функціональні можливості збудника. Програмована основа дозволяє поліпшувати функціональність пристрою при появі нових версій програмного забезпечення, і оперативно вносити зміни, що враховують специфіку конкретного виробництва. Застосування МБЗ подовжує ресурс і підвищує безперебійність роботи приводу, знижує експлуатаційні витрати.

Можливості МБЗ нарощуються платами розширення, які в основному встановлюються всередині МБЗ в спеціалізовані роз'єми, деякі функції реалізуються спеціально розробленими зовнішніми пристроями. Існує можливість вибрати мережеву карту з необхідним інтерфейсом і протоколом для інтеграції в АСУ ТП (Автоматизована система управління технологічним процесом), організувати узгоджену роботу збудника з різними системами плавного пуску.

У разі не запланованого відключення двигуна можливо дізнатися

причину з журнал подій, який збереже не тільки час і причину події, а й покаже осцилограму всіх параметрів до і після події, там же зберігається статистична інформація.

МБЗ призначений для керування тиристорним збуджувальним пристроєм синхронного двигуна і забезпечує живлення обмотки збудження синхронного двигуна автоматично регульованим випрямленим струмом при прямому, реакторному пуску, синхронній роботі і інших режимах. Блок дозволяє управляти мостовими і нульовими схемами випрямлення, в тому числі і з паралельним включенням тиристорів (1,2,4 тиристора на фазу).

У разі модернізації, МБЗ встановлюється в існуючу шафу тиристорного збуджувального пристрою типу ТЕ8, ТЗП- ..., ЗТЕ- ..., ТЗ- ... і т.п. в заміні аналогової схеми управління, силова частина схеми збудження, щитові прилади, зовнішні клеммники залишаються без зміни, або, при необхідності, замінюються новим [25].

Функції виконувані МБЗ:

- автоматична подача збудження при прямому, реакторному або частотному

(спільна робота з високовольтним перетворювачем частоти) пуску синхронного двигуна в функції частоти і фази е.р.с ковзання в обмотці збудження з урахуванням навантаження на привід;

- функція енергозбереження (за $\cos\varphi$) для приводів зі спокійною навантаженням;

- можливість безконтактного визначення пуску / відключення двигуна;

- ПІ-регулятор (Пропорційно-інтегральний регулятор) для стабілізації обраного параметра (струму збудження, $\cos\varphi$);

- збереження працездатності двигуна при короткочасному зникненні живлення, як двигуна, так і живлення власних потреб ТЗП (наприклад, при спрацьовуванні АВР - автоматичного вводу резерву);

- безперервний автоматичний контроль ізоляції ротора;

- форсування збудження для впевненого втягування двигуна в

синхронізм при пуску;

- форсування збудження для утримання двигуна в синхронізмі при зниженні напруги статора. При відсутності або ненормально низькому рівні напруги статора форсировка не відбувається;

- автоматичне зниження струму збудження до заданого значення при перевантаженні по струму ротора (наприклад, форсировка при тривалому просіданні напруги статора). Момент спрацьовування захисту по перевантаженню визначається тепловою моделлю ротора по залежності i^2t ;

- обмеження максимального і мінімального струму збудження;

- швидке гасіння поля ротора шляхом інвертування при відключенні двигуна;

- блокування імпульсів управління тиристорами в аварійних ситуаціях, при цьому, для відключення двигуна, включається реле аварійної сигналізації;

- журнал подій і збір статистики:

- 1) запис осцилограми аварійних подій в незалежній пам'яті з прив'язкою до реального часу (причину і час відключення);

- 2) збір та запис в незалежній пам'яті статистичної інформації щодо кількості включень і відключень двигуна, кількість аварійних відключень з розбивкою по кожному типу аварії, облік часу роботи двигуна і контролера;

- режим випробування (випробування з панелі ТЗП - перевіряється датчик ковзання і уставка робочого струму, дистанційне випробування (у мережі - перевіряється датчик ковзання));

- режим налагодження;

- зв'язок зі схемою управління вимикачами за допомогою статусних реле: модуль індикації відображає режими роботи, докладних причин аварій/попереджень та стану реле, в якості опції може бути виконаний сенсорний кольоровий РК дисплей;

- додаткові дискретні входи можуть бути запрограмовані на виконання

необхідних функцій, є два вільних входи;

- для модернізації збудників з двома групами тиристорів (окремо для збудження, і окремо для динамічного гальмування, в МБЗ реалізована функція роздільного управління групами тиристорів, при цьому використовуються дві плати підсилювачів імпульсів; для збудників ЗТЕ-11ЦЕ, ця функція використовується для комутації робочої і форсіровочної груп вентилів для забезпечення економічного режиму роботи по ротору, і резервування по силовій частини;

- вбудований USB-B інтерфейс для налагодження за допомогою програми Ajuster;

- інтеграція в АСУ ТП (Автоматизована система керування технологічним процесом): телеметрія і телеуправління по мережі RS485 або Ethernet по протоколах MODBUS RTU/ASCII або MODBUS TCP/IP, при цьому для контролю доступні всі параметри системи. Ряд можливих мережевих плат [25].

Види захистів:

- від внутрішніх і зовнішніх коротких замикань в ланцюгах тиристорного перетворювача;
- від тривалого асинхронного ходу двигуна;
- від зникнення струму збудження;
- від пробоя ізоляції ротора на землю;
- від неприпустимих перевантажень щодо порушення (дія теплової моделі ротора I^2t);
- від помилкової подачі збудження на вимкнений двигун при несправності блок контактів вимикачів;
- від несправності блок-контактів вимикачів;
- від частих пусків двигуна;
- низької напруги статора;
- зміна напрямку потужності;
- попередження про необхідність провести профілактику двигуна.

Збудники з системою управління МБЗ дозволяють здійснювати прямий і реакторний пуск синхронних двигунів в функції частоти ковзання та струму статора, а так само повністю готові до роботи в складі сучасних високовольтних систем плавного пуску і регулювання швидкості обертання різних типів, для чого розроблені плати сполучення, які встановлюються в МБЗ в відповідний роз'єм.

Блоком МБЗ досягається енергозбереження при його використанні.

Термін служби збудника більше 20 років, тому особливу увагу приділено енергозбереженню. МБЗ економить електроенергію споживану статором і ротором двигуна. По статору економія досягається дією автоматичного регулятора збудження. По ротору, економія досягається конструкцією трансформатора і силової частини (наприклад, ЗТЕ-11ЦЕ).

Основним є режим стабілізації $\cos\varphi=1$, регулятор працює так, що в залежності від навантаження, автоматично встановлюється такий струм збудження, що точка В переміщується вздовж лінії $\cos\varphi=1$ (рисунок 2.1), при цьому двигуном споживається мінімальна активна потужність ($P=\min$), реактивна потужність дорівнює нулю ($Q = 0$) [25].

Засобами МБЗ можливо організувати систему компенсації реактивної потужності навантаження, що буде показано нижче, при цьому двигуни, включені в систему, будуть компенсувати реактивну потужність у відповідності зі своїми можливостями. МБЗ забезпечить роботу двигунів в безпечній зоні обмеженою, за мінімальним струмом збудження, межею стійкості $\cos\varphi=1$, і по перевантаженню, допустимими струмами ротора і статора (рисунок 2.2).

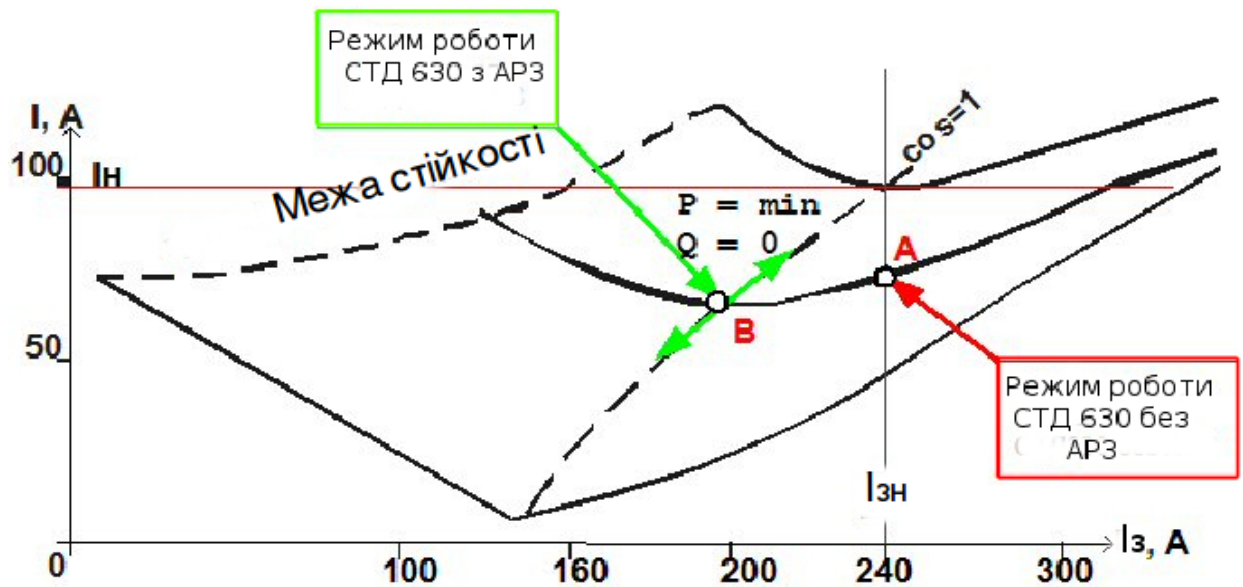


Рисунок 2.1 – Режими роботи двигуна STD 630

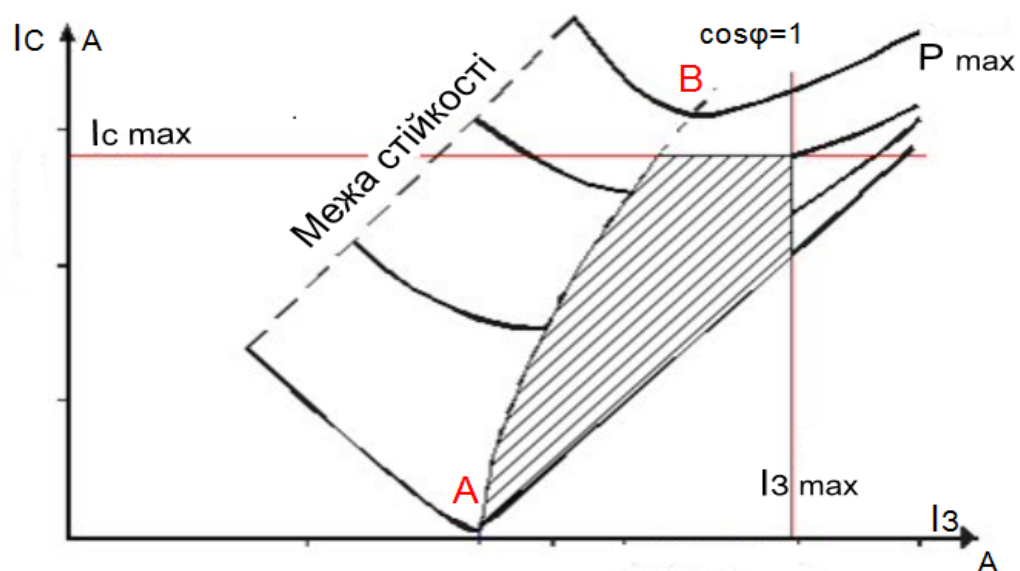


Рисунок 2.2 – Діапазон роботи автоматичного регулятора збудження при груповій компенсації реактивної потужності

МБЗ має у своїй структурі журнал подій [25].

В незалежну пам'ять проводиться запис процесів пуску/відключення двигуна, включень/відключень контролера, і статистичної інформації. Кожна подія супроводжується 16 секундною осцилограмою до/після події з прив'язкою до реального часу. Ємність буфера подій - 31 інформаційних блоків.

Завжди відомі:

- причина та час відключення двигуна (записується осцилограма 8сек до відключення і 8 сек після відключення);
- час включення двигуна (записується осцилограма пуску);
- відключення живлення системи управління: відомий час відключення живлення і 16сек осцилограма процесу перед відключенням (спрощується розбір ситуацій пов'язаних з несанкціонованим відключенням живлення МБЗ);
- включення живлення системи управління: відомий час подачі живлення і 16сек осцилограма процесів, що відбувалися від моменту включення.

МБЗ має блок, що відповідає за збір статистики [25].

Окремо зберігається сегмент статистичної інформації. У «Статистика» запам'ятовуються:

- сумарний час роботи двигуна в годинах (лічильник можна обнулити під час введення обладнання в експлуатацію);
- час, що залишився до профілактики двигуна (коли цей час закінчується, включається попередження);
- сумарний час роботи МБЗ (не скидається);
- кількість включень двигуна, кількість аварійних вимкнень двигуна, з розподілом по причинах відключення. Загальна кількість аварійних відключень приймається за 100%, лінійні діаграми, навпроти кожної причини аварії дають можливість оцінити частоту відмов і вжити заходів вибірково.

Журнал подій і статистичну інформацію, можна завантажити на комп'ютер за допомогою програми Ajuster і зберегти його обліком в форматі Excel. Форми звітів зберігаються в вигляді Excel-шаблонів.

Додаткові сервісні функції МБЗ:

- режим прогріву обмоток заданим струмом під час простою двигуна;
- ключ параметрів (КП) - плата незалежної пам'яті, використовується для зберігання копії уставок параметрів; при оперативній заміні робочого

блоку управління на резервний, КП переставляється в резервний блок; при включенні живлення, параметри робочого блоку з КП копіюються в резервний блок; таким чином, відпадає необхідність додаткового налаштування резервного блоку; КП можна зберігати окремо від системи управління, підключаючи їх тільки на час наладки (для синхронізації даних в КП і блоці управління);

- режим налагодження (в основному використовується для визначення правильного чергування фаз при введенні збудника в експлуатацію, в даному режимі, за допомогою кнопок регулювання струму, можна змінювати кут керування тиристорним перетворювачем, максимальн струмовий захист при цьому функціонує) [25].

2.1.3 Підключення перетворювача для компенсації реактивної потужності навантаження

МБЗ дозволяє вимірювати струм і напругу статора двигуна, визначати зрушення фази між ними і стабілізувати його задане значення. Якщо підключити вимірювальні кола МБЗ замість двигуна, до ділянки кола, то двигун, збудженням якого управляє МБЗ, стане стабілізувати кут ϕ навантаження, але дані про струмі статора і куті ϕ двигуна будуть втрачені, що призведе до аварійних наслідків.

Для компенсації реактивної потужності ділянки кола (фідера) необхідно зберегти стандартну схему підключення вимірювальних ланцюгів статора, і за допомогою додаткового пристрою передати системі управління збудника інформацію про реактивну потужність навантаження, для прийняття рішення про компенсацію.

Автоматичний Регулятор Збудження (надалі АРЗ) реалізований в МБЗ при роботі в режимі компенсації реактивної потужності навантаження буде автоматично регулювати струм збудження в межах, які забезпечують сталу і тривалу (без перегріву) роботу двигуна. Чітко виділяються три граничних

зони:

- обмеження по максимальному струму статора – при струмі двигуна більше номінального значення (уставка), компенсаційні можливості обмежені, а ризик виходу із синхронізму великий, з цього блок встановить номінальний (тобто максимально допустимий по нагріванню) струм збудження;

- обмеження по максимальному струму збудження – виключення перегріву; при роботі АРЗ на токах статора нижче номінального, можлива ситуація, коли для компенсації Q буде потрібно встановити струм збудження більше номінального, але блок встановить номінальний (тобто максимально допустимий по нагріванню) струм збудження;

- обмеження по стійкості – для утримання двигуна в синхронізмі, струм збудження, виставлений АРЗ обмежений струмом, при якому забезпечується $\cos\varphi=1$ двигуна на даному навантаженні. Тобто, при відсутності необхідності компенсувати реактивну потужність навантаження, синхронні двигуни переходять в режим мінімуму споживання активної потужності.

2.1.4 Оцінка компенсаційних властивостей СД. Компенсаційна здатність двигунів на холостому ході

Реактивна потужність визначається з формули (1)

$$Q=U \cdot I_p, \quad (1)$$

де Q - реактивна потужність, кВАр;

U - напруга статора, кВ;

I_p - реактивний струм (статора), А.

Реактивний струм статора визначається з векторної діаграми наведеної на рисунку 2.3.

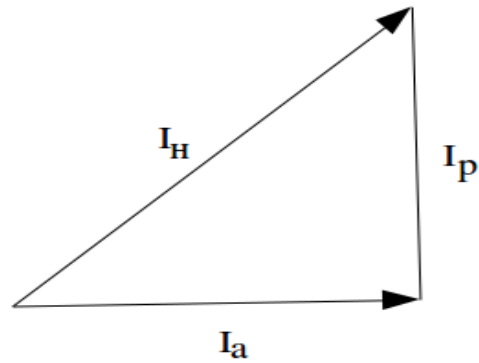


Рисунок 2.3 – Векторна діаграма струмів

Струм розраховується за формулою (2)

$$I_p = \sqrt{I_n^2 - I_a^2}, \quad (2)$$

де, I_p - реактивний струм, А;

I_n - номінальний (допустимий) струм, А;

I_a - активний струм відповідний $\cos\varphi=1$, А.

Оцінка компенсаційних здібностей двигуна екскаватора ЕК-10/70 на холостому ходу:

Струм статора номінальний $I_n = 139$ А.

Напруга статора $U_n = 6$ кВ.

Струм збудження номінальний $I_{zn} = 294$ А (рисунок 2.4).

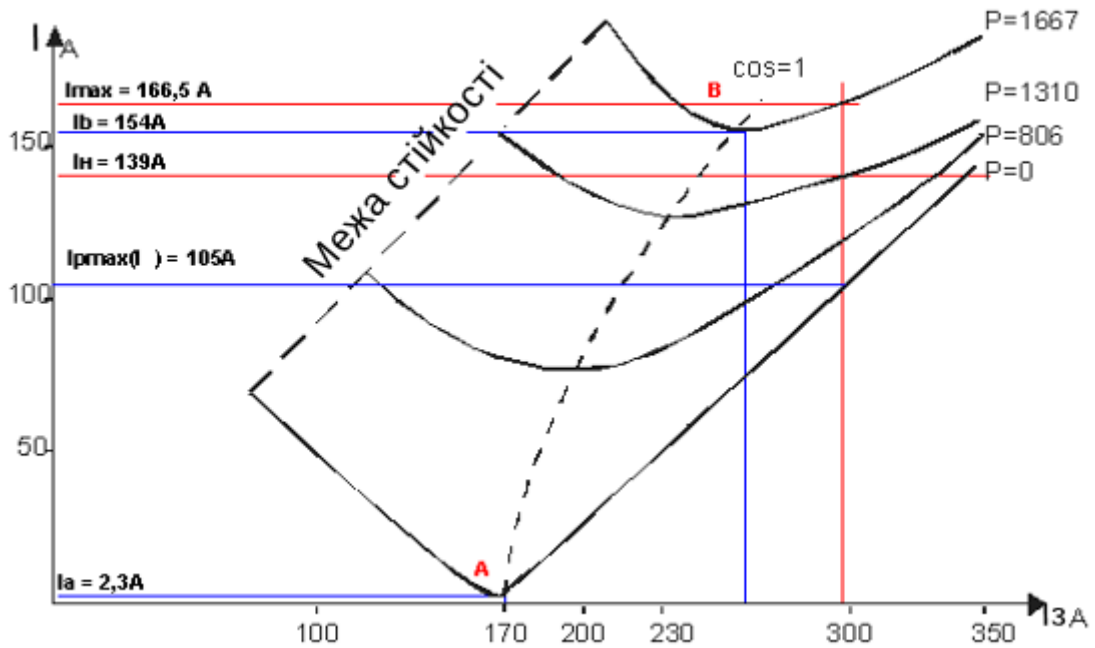


Рисунок 2.4 – U-характеристики ЕК-10/70

Мінімальний активний струм холостого ходу $I_a = 2,3 A$ (точка А).

Допустимий струм $I_n = 139 A$ (номінальний струм статора).

За формулою (3.2) максимальний реактивний струм $I_p = 138,9 A$.

За формулою (3.1) максимальна реактивна потужність $Q = 833,4 \text{ кВАр}$.

При діючому обмеженні на струм збудження ($I_{zn} = 294 A$) максимальний реактивний струм при $P = 0$ обмежений значенням I_p (I_{zn}) = 105 А.

Таким чином, двигун може довго віддавати реактивну потужність (за формулою (3.1)):

$$Q_{трив.ЕК-10/70} = 630 \text{ кВАр.}$$

Оцінка компенсаційних здібностей двигуна екскаватора ЕКГ-8И на холостому ходу:

Струм статора номінальний $I_n = 60 A$.

Напруга статора $U_n = 6 \text{ кВ}$.

Струм збудження номінальний $I_{zn} = 280 A$ (рисунок 2.5).

На рисунку 2.5 показана U-характеристика екскаватора ЕКГ-8И.

Мінімальний активний струм холостого ходу $I_a = 5,2 A$ (точка А).

Допустимий струм $I_n = 60 A$ (номінальний струм статора).

За формулою (3.2) максимальний реактивний струм $I_p = 59,8$ А.

За формулою (3.1) максимальна реактивна потужність

$$Q = 358,6 \text{ кВАр.}$$

При діючому обмеженні на струм збудження ($I_{вн} = 280$ А) максимальний реактивний струм при $P = 0$ обмежений значенням I_p ($I_{зн}$) = 42 А.

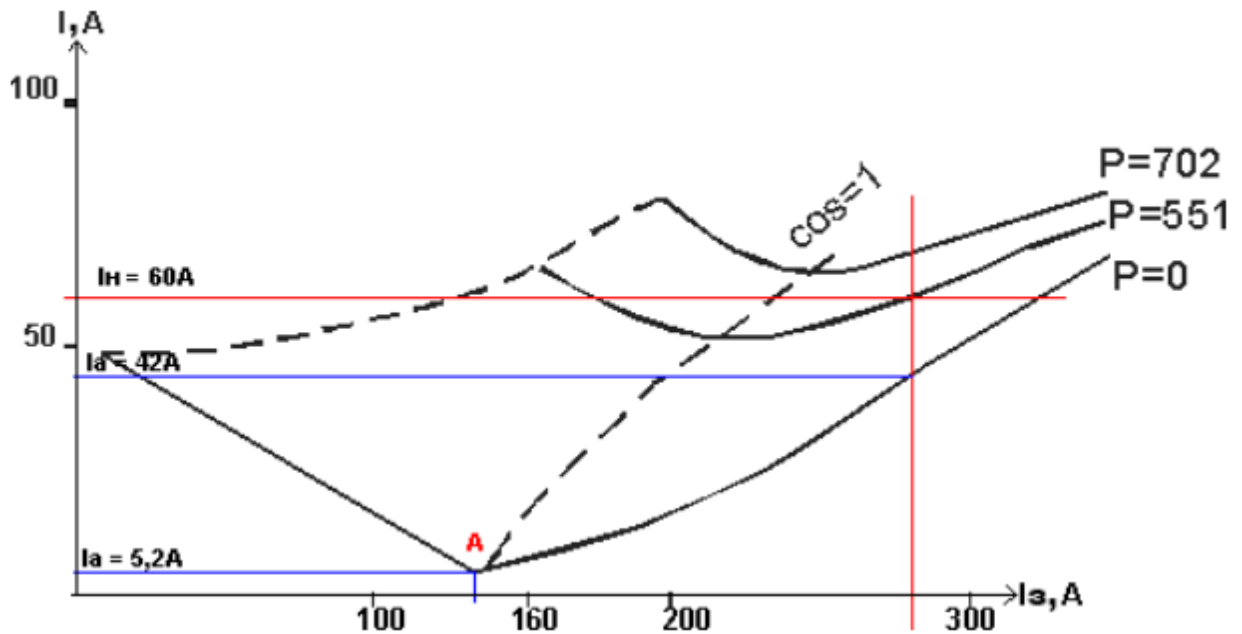


Рисунок 2.5 – U-характеристика ЕКГ-8И

Таким чином, двигун може довго віддавати реактивну потужність (за формулою (1)):

$$Q_{\text{тривЕКГ-8И}} = 252 \text{ кВАр.}$$

Найбільша сумарна реактивна потужність, що компенсується буде дорівнювати сумі потужностей.

На холостому ходу, сумарна реактивна потужність, що віддається синхронними двигунами екскаваторів з формули (3), може досягати:

$$Q_{\text{max}} = (2 \cdot Q_{\text{тривЕК-10/70}}) + (2 \cdot Q_{\text{тривЕКГ-8И}}) \quad (3)$$

$$Q_{\text{max}} = 1764 \text{ кВАр.}$$

2.1.5 Компенсаційна здатність двигунів в робочому режимі

На рисунку 2.6 показано діапазон роботи пристрою АРЗ на екскаваторі ЕКГ-8И.

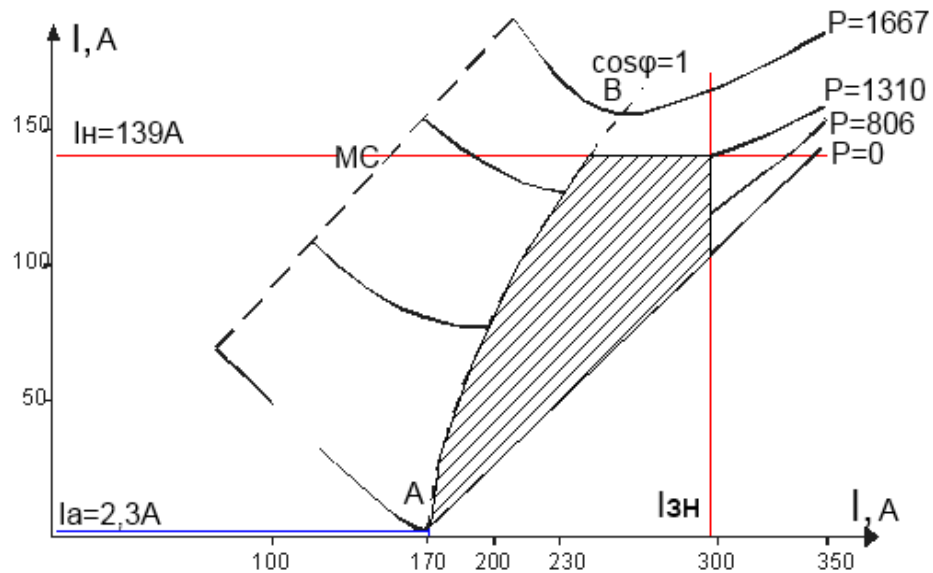


Рисунок 2.6 – Діапазон роботи АРЗ на ЕКГ-8И

Оцінка здібностей двигунів компенсувати реактивну потужність при навантаженні від і вище номінального струму статора не проводиться, таким чином діапазон роботи автоматичного регулятора збудження (АРЗ) обмежений:

- 1) по току статора: від мінімуму $I_{схх}$ (холостий хід) до номінального струму статора $I_{сн}$;
- 2) по току збудження: від $I_{з\phi} = 0$ (струм збудження при $\cos\varphi = 1$) до $I_{вн}$ (номінальний струм збудження).

Компенсація реактивної потужності в процесі роботи екскаваторів ЕКГ-8И, ЕК-10/70 відбувається наступним чином.

Процес роботи екскаваторів складається з чергування станів холостого ходу і роботи під навантаженням.

Приймаємо, що компенсуючої потужності недостатньо для компенсації

споживаної реактивної потужності, в даному режимі, струм збудження обмежений I_{zn} .

На холостому ходу двигун буде віддавати необхідну кількість реактивної потужності в мережу; під навантаженням з струмами статора понад номінального, двигун буде споживати відсутню реактивну потужність з мережі [24].

Час холостого ходу в робочому циклі $T(Q_{APB} = Q_{трив.ЕК-10/70}) =$
 $= 24$ сек (з 136).

Тривалість максимальної віддачі реактивної потужності $ПК_{ЕК-10/70\%} =$
 $= 17\%$ (повторно-короткочасний режим).

Час холостого ходу в робочому циклі $T(Q_{APB} = Q_{трив.ЕКГ-8И}) = 40$ сек
(з 136).

Тривалість максимальної віддачі реактивної потужності $ПК_{ЕКГ-8И\%} =$
 $= 29\%$.

Реактивна потужність, що компенсується в робочому режимі з фідера.

Тривалість максимальної віддачі реактивної потужності
 $ПК_{ЕК-10/70\%} = 17\%$.

Максимально реактивна потужність в тривалому режимі

$Q_{трив.ЕК-10/70} = 630$ кВАр.

Тривалість максимальної віддачі реактивної потужності $ПК_{ЕКГ-8И\%} = 29\%$.

Максимально реактивна потужність в тривалому режимі

$Q_{трив.ЕКГ-8И} = 252$ кВАр.

У режимі одночасної продуктивної роботи екскаваторів, відповідно формули (4) їх двигуни можуть компенсувати:

$$Q_{год} = (2 \cdot Q_{трив.ЕК-10/70}) \cdot \left(\frac{ПК_{ЕК-10/70\%}}{100\%} \right) + (2 \cdot Q_{трив.ЕКГ-8И}) \cdot \left(\frac{ПК_{ЕКГ-8И\%}}{100\%} \right), \quad (4)$$

$$Q_{год} = 360,4 \text{ кВАр} \cdot \text{год.}$$

Блок обчислення навантаження. Спосіб передачі даних про

навантаження фідера.

У силовому кабелі екскаватора немає додаткових жил для передачі додаткових сигналів про навантаження фідера. Передбачається організувати радіоканал між фідером і блоками МБЗ встановленими в тиристорних збудниках.

Радіоканал реалізується за допомогою радіомодемів з діапазоном частот 433МГц, дальність зв'язку до 10 км. Радіомодеми в герметичних корпусах в комплекті з антенами встановлені зовні. Радіомодеми підключені до блоків МБЗ блоку обчислення навантаження по інтерфейсу RS485.

В В комірці фідера встановлений блок обчислення навантаження завдання якого:

- вимір напруги мережі і струму навантаження;
- обчислення реактивної потужності навантаження (кут φ);
- ширококомвна передача значення кута φ блокам МБЗ даного фідера;
- організація зв'язку з центральним пультом.

Блок обчислення навантаження, передає значення кута φ навантаження одночасно всім блокам МБЗ, що відносяться до даного фідера. МБЗ використовує отримані дані як сигнал зворотного зв'язку для роботи свого АРЗ, що забезпечує компенсацію реактивної потужності навантаження в межах можливостей двигуна. Таким чином, реактивна потужність, що генерується рівномірно розподіляється між синхронними двигунами [24].

Дані про навантаження (особливо кут φ) оновлюються з частотою 50 Гц. Швидкість передачі даних по радіоканалу 4,8 kBPS, довжина ширококомвного пакета 8 байт; відповідь не потрібно, при даних умовах забезпечується передача сигналу зворотного зв'язку з частотою 60 Гц.

Блок обчислення навантаження, періодично опитує блоки МБЗ і за запитом передає ці дані до центрального пульта.

МБЗ підвищує експлуатаційні властивості електроприводів з синхронними двигунами. Структурна схема мікропроцерного блоку МБЗ показана на рисунку 2.7.

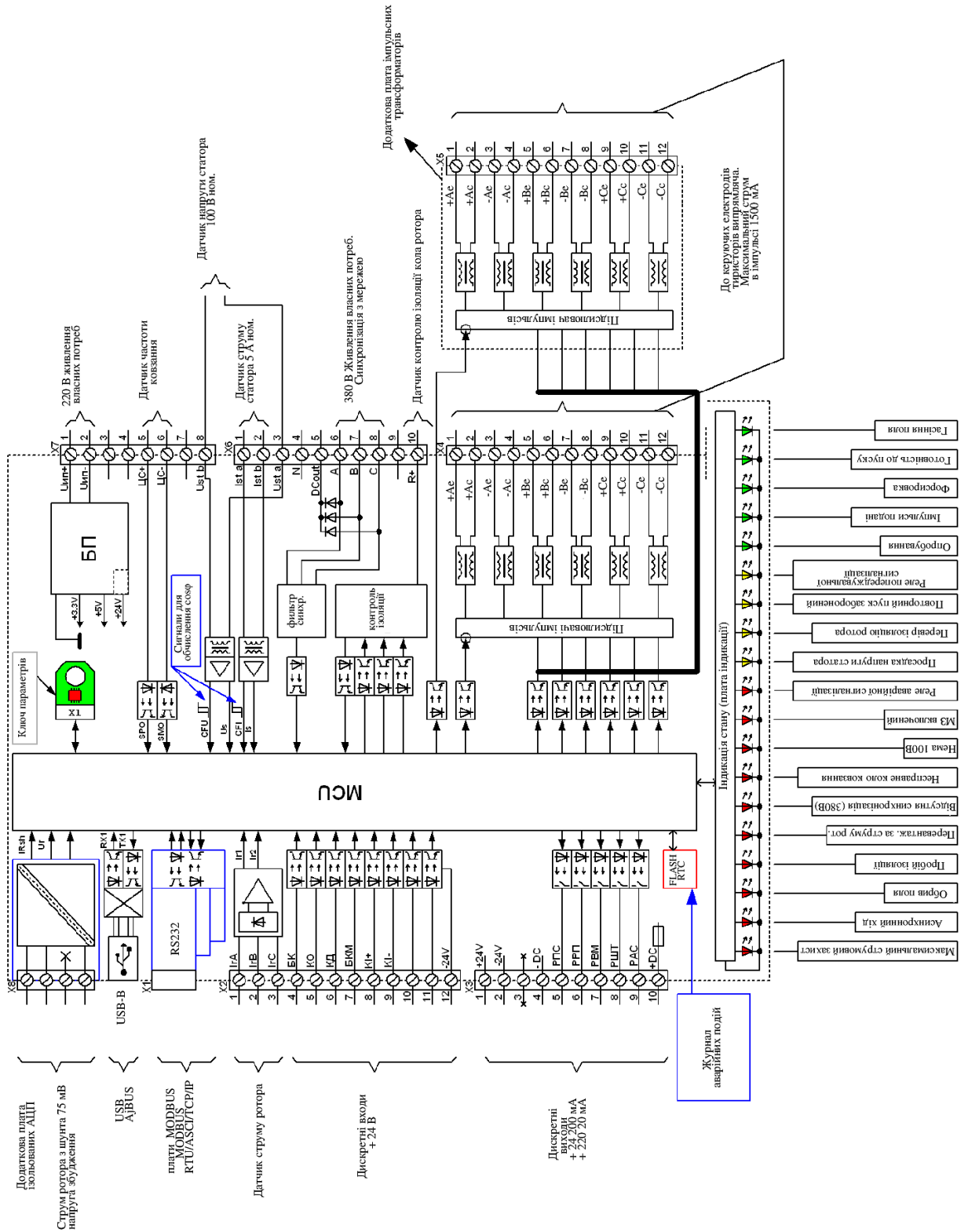


Рисунок 2.7 – Структурна схема МБЗ

МБЗ має засоби запису в енергонезалежній пам'яті процесів пуску і відключення двигуна. Кожна подія супроводжується 2/2 секундною осцилограмою до/після події з прив'язкою до реального часу, дані

записуються з роздільною здатністю 0,1 сек.

2.2 Споживання активної і реактивної енергії при роботі одноковшових екскаваторів

До числа найбільш енергоємних споживачів кар'єрів з циклічної і циклічнопоточною технологією слід віднести одноковшові екскаватори, частка споживання електроенергії яких становить до 80% загальних витрат по кар'єру. Тому основна увага може бути сконцетрована на електричних навантаженнях одноківшових екскаваторів [26].

При розгляді одноківшового екскаватора як електроприймача в системі електропостачання кар'єра важливо з'ясувати характеристики різкозмінної сумарної кривої споживаної мережевим двигуном потужності за робочий цикл. При цьому необхідно виходити з факту, що сумарне навантаження мережевого двигуна не є детермінованим, так як на її рівень і динаміку впливає цілий ряд випадкових факторів (показник труднощі екскавації ґрунту, ступінь його промерзання, кусковатість, зміна об'ємної ваги, ступінь наповнення ковша, ступінь підготовленості і робоча висота забою, кут повороту, вид та інтенсивність навантаження, якість суміщення підйомних і напірних або тягових зусиль, тип машини, різні психологічні чинники і т.п.). Причому всі перераховані вище фактори роблять свій вплив на формування графіка навантаження мережевого двигуна не безпосередньо, а впливаючи на навантаження кожного з приводів основних робочих механізмів екскаватора - підйому, повороту та напору або тяги.

У ряді робіт [27, 28] встановлено, що зміна сумарного навантаження 5-6 електроприймачів підпорядковується нормальному закону. Крім того, в [28] встановлено, що зміна сумарного навантаження на шинах кар'єрних підстанції також описується нормальним законом.

Відносно проведення цього обґрунтування доречно зробити наступне зауваження. Нормальний закон розподілу випадкової величини має місце в

тому випадку, коли кількість факторів, що обурюють, незначних за величиною, прямує до нескінченності. У багатьох роботах за кількість факторів, що обурюють приймалося обмежене число електроприймачів, що беруть участь у формуванні сумарного графіка, в той час як навантаження окремого електроприймача саме є об'єктом впливу великої кількості випадкових факторів. Тому природніше припустити, що саме зміна навантаження окремого споживача під впливом навколишнього середовища і умов роботи, обурюють фактори яких неможливо повністю врахувати і їх кількість прямує до нескінченності, підпорядковане нормальному закону. Тоді, виходячи з теореми Ляпунова, зміна сумарного навантаження по нормальному закону не тільки при обмеженій кількості, але і одного екскаватора видається цілком логічним.

Для перевірки нормальності закону розподілу середнеспоживаних потужностей екскаваторів ЕК-20/90, ЕК-15/90, ЕК-10/70, ЕКГ-8И Дальневосточним державним технічним університетом (гірський інститут) в 1989р. [29, 30] були проведені експериментальні записи і обробка параметрів навантажень екскаваторів зазначених типів. Після обробки 100 циклів роботи був отриманий висновок про нормальність розподілу середнеспоживаної потужності одноківшових екскаваторів, звідки випливає, що величину середньої за цикл роботи потужності можна вважати в межах допустимої точності розрахунків не залежною від умов роботи.

Однак в цих роботах не були отримані інші, не менш важливі характеристики графіків навантаження екскаваторів (максимальні потужності, коефіцієнти форми і заповнення графіка, а також закони їх розподілу і т.п.).

З метою виявлення основних параметрів по споживанню активної і споживання/генерації реактивної енергії найбільших електроприймачів розрізу (кар'єрних екскаваторів) були проведені експериментальні дослідження з використанням приладу МТ1010. Завданнями експериментального дослідження була одночасна реєстрація значень

активної і реактивної енергії протягом достатнього для обсягу вибірки часу в режимах "робота", "холостий хід" основних типів екскаваторів: ЕК-20/90, ЕК-15/90, ЕК-10/70, ЕКГ-8И. Вимірні дані зберігалися в пам'яті приладу МТ1010, після чого через інтерфейс RS232 переносилися на комп'ютер. Отримана база даних за значеннями активної і реактивної енергії електроприймачів піддавалася комп'ютерній обробці для набору в масив даних, що представляє собою матрицю, в якій рядки відповідають поточним значенням параметрів в конкретні моменти часу. При цьому допустиме відхилення середнього арифметичного значення режимного параметра знаходиться в межах 3%. За отриманими даними були побудовані графіки споживання потужності для режиму роботи екскаваторів: "робота", "холостий хід". Фрагменти графіків представлені на рисунках.

Як згадувалося вище, отримані в результаті проведення експериментальних вимірювань дані представляють собою великий статистичний ряд за різними параметрами електричної мережі, їх обробка вручну відняла б багато часу. Тому з метою визначення середніх значень отриманих характеристик електромережі була складена програма для обробки статистичних даних за допомогою комп'ютера. Результати обробки зведені в таблиці 2.1 і 2.2 (режимні параметри для всіх екскаваторів розглядалися для номінального струму збудження: ЕК-20/90 №4 - $I_3 = 230$ А, №6 - $I_3 = 282$ А; Ек-15/90 - $I_3 = 271$ А; ЕК-10/70 № 4 і № 8 - $I_3 = 294$ А; ЕКГ8И - $I_3 = 280$ А.

Таблиця 2.1 – Результати обробки експериментальних даних (режим “робота”)

Параметри	ЕК-20/90		ЕК-15/90	ЕК10/70		ЕКГ-8И
	№ 4	№ 6		№ 4	№ 8	
Споживана потужність S , кВА	2436	2188	1517	728	488	140
Середній струм $I_{\text{ср}}$, А	222	200	145	69	43,2	13
Напруга U , В	6313	6314	6070	6545	6506	5963
Частота f , Гц	50,41	50,06	50,006	50,18	49,84	50,26
Середнє квадратичне значення вибірки по струму σ_I , А	26,05	48,07	61,3	13	11,5	1,686
Середнє квадратичне значення вибірки по напрузі σ_U , В	18,939	18,972	18,226	19,662	19,542	17,888
Середнє квадратичне значення вибірки по частоті σ_f , Гц	0,41	0,06	0,0594	0,185	0,1627	0,267
Відхилення напруги від номінальних значень V , %	5,21	5,227	1,169	9,09	8,436	-0,62
Середнє квадратичне значення вибірки по відхиленню напруги σ_V , %	0,314	5,75	3,459	6,46	0,419	0,176

Таблиця 2.2 – Результати обробки експериментальних даних (режим “холостий хід”)

Параметри	ЕК-20/90		ЕК-15/90	ЕК-10/70		ЕКГ-8И
	№ 4	№ 6		№ 4	№ 8	
Споживана потужність S , кВА	1914	1085	267,8	555	222	122
Середній струм $I_{\text{ср}}$, А	174	95	25,13	48	21,2	11,7
Напруга U , В	6316	6569	6156	6630	6021	6031
Частота f , Гц	49,98	50,07	50,18	50,27	49,86	50,27
Середнє квадратичне значення вибірки по струму σ_I , А	2,44	4,458	0,961	2,43	0,63	2,3
Середнє квадратичне значення вибірки по напрузі σ_U , В	18,912	19,707	18,466	19,891	18,23 9	18,094
Середнє квадратичне значення вибірки по частоті σ_f , Гц	0,0247	0,07	0,044	0,1795	0,138 9	0,269
Відхилення напруги від номінальних значень V , %	5,27	9,485	2,593	10,5	0,353	0,522
Середнє квадратичне значення вибірки по відхиленню напруги σ_V , %	0,1848	0,0587	0,1056	0,305	0,211 2	0,1188

В ході проведення експерименту також проводилися додаткові виміри з метою з'ясування характеристик електричної мережі в залежності від різних струмів збудження синхронних двигунів головного електроприводу кар'єрних екскаваторів. Дані, отримані при зміні струму збудження,

представлені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Результати обробки експериментальних даних (при різних струмах збудження)

Машина	Умов. роботи	I_s , А	Режим											
			“Холостий хід”						“Робота”					
			I , А	U , кВ	P , кВт	Q , кВАр	S , кВ×А	$\cos\varphi$	I , А	U , кВ	P , кВт	Q , кВАр	S , кВ×А	$\cos\varphi$
ЭК 20/90	Розкрив	270	208	6,41	833	1050	1340,3	0,62	265	6,41	2510	930	2676	0,937
		230	90,1	6,377	398	706	810	0,49	123	6,114	1250	371	1304	0,9586
		220	34,5	6,62	250	307	396	0,631	73,3	6,37	803	81	808	0,99
	Видобуток	230	97,2	6,431	394	965	1083	0,378	119	6,367	1260	376	1315	0,958
		220	29	6,15	43,4	300,6	303,7	0,143	120	6,31	980	100	985	0,31
		214	23	6,1	38	280	282	0,13	114	6,27	890	48	891	0,99
ЭК 15/90	Розкрив	271	176	6,26	498	860	993,8	0,5	202	6,27	1680	813	1866	0,9
		220	21	6,25	180	310	401,1	0,44	78	6,21	448	679	813	0,55
		180	10,8	6,18	63	95	116	0,55	78,3	6,21	690	482	842	0,82
ЭК 10/70	Розкрив	300	78,6	6,45	325	609	690	0,47	145	6,33	1647	720	1797,5	0,91
		270	63	6,27	198	615	646	0,3	140	6,35	1250	605	1388	0,9
		250	50	6,36	91	580	587	0,155	92,5	6,3	845	530	997,5	0,847
		230	45	6,25	78	489	495	0,157	81,5	6,28	751	430	865,4	0,86
		200	24	6,3	71	459	464,5	0,152	54	6,24	690	174	711,6	0,96
		160	4,8	6,27	63,4	87	107,6	0,58	35	6,18	530	128	545,2	0,97
ЕКГ 8И	Видобуток	280	49	6,18	175	298	345,6	0,5	60	6,27	525	269	590	0,90
		220	28	6,25	148,1	256	295,7	0,5	44	6,29	446	100	457	0,975
		200	16	6,36	6,2	169	169,1	0,03	43	6,25	418	65	423	0,988

На підставі отриманих даних можна зробити наступні висновки:

1. Робота синхронних двигунів одноковшових екскаваторів характеризується значними змінами реактивної потужності від мінімального значення до максимального, що при відсутності достатньої потужності споживачів реактивної потужності на лінії і дефіциту реактивної потужності у вузлі навантаження призводить до її перетікань в системі електропостачання підприємства і збільшує втрати активної потужності і енергії.

2. Результати обробки експериментальних даних свідчать про те, що фактичні параметри роботи електроприводу екскаваторів відрізняються від номінальних. При виконанні технологічного циклу екскаватором спостерігаються скачки напруги, які можуть досягати до 10% (практично завжди в більшу сторону) від їх номінальних значень. Причому чим більше потужність двигуна, тим більше скачки напруги. Також спостерігається нестабільність частоти і струму, що надходить з електроживлення мережі як в режимі "робота", так і в режимі "холостий хід". Однак налаштування захисної апаратури електроприводу екскаваторів (реле струму і т.п.) проводиться як для номінального режиму, що призводить до частого неспрацьовування захисних пристроїв і пов'язаних з цим збільшенням числа позапланових простоїв екскаваторів, в зв'язку з виходом з ладу електрообладнання. У зв'язку з цим виникає необхідність установки нового типу захисних пристроїв або налаштування використовуваного захисного обладнання під необхідні параметри.

3. При однаковому струмі збудження для синхронних двигунів екскаваторів, зайнятих на різних типах робіт (розкриття, видобуток, погрузка), вироблення реактивної потужності практично не змінюється. Так, для екскаватора ЕК-20/90, що працює на розкриттєвих роботах при струмі збудження, що дорівнює 230 А, вироблення реактивної потужності становить 371 кВАр, для такої ж моделі екскаватора з таким же струмом збудження синхронного двигуна, але зайнятої на видобутку, - 376 кВАр.

4. Більшість кар'єрних екскаваторів не мають автоматичних регуляторів збудження синхронних двигунів, а значення струмів збудження при сезонних налагодках встановлюються для номінального режиму. На багатьох екскаваторах досягається обмеження струму збудження синхронних двигунів в режимі холостого ходу шляхом послідовного введення додаткового опору з обмоткою збудження синхронного двигуна. Установка рекомендованих значень струмів збудження в робочому режимі виконується наявними в існуючих схемах збудження засобами регулювання струму. Але і

в цьому випадку вибір значення струму збудження недостатньо обґрунтований.

5. Існуючі режими збудження синхронних двигунів екскаваторів слід вважати економічно недоцільними, оскільки вони не дозволяють забезпечувати раціональний режим компенсації реактивної потужності в вузлах системи електропостачання підприємства. Зниження струму збудження синхронного двигуна екскаватора ЕК-20/90 (при розкривних роботах) з 230 до 220А більш ніж в 3 рази скорочує значення реактивної потужності, що при відсутності її дефіциту в лінії живлення і вузлі навантаження (за умови забезпечення стійкої роботи синхронного двигуна) дозволяє підвищити техніко-економічні показники роботи синхронного двигуна за рахунок зниження витрат енергії на генерацію реактивної потужності.

6. Зміна струму збудження синхронного двигуна екскаваторів від максимального до мінімального допустимого з урахуванням дефіциту реактивної потужності в вузлах навантаження, принципів побудови системи електропостачання і можливою системою розрахунків за компенсацію реактивної потужності дозволить використовувати синхронний двигун в якості регулятора реактивної потужності для підтримки раціональних режимів компенсації реактивної потужності в вузлах навантаження та отримати на цій основі відповідний ефект за рахунок зниження вартості вироблення реактивної потужності синхронним двигуном, втрат енергії в електричних мережах, реактивної потужності і енергії підприємства, що в підсумку призведе до зменшення плати за електроенергію. Однак у зв'язку з тим, що на сьогоднішній день немає чітких рекомендацій щодо визначення необхідного режиму збудження, синхронні двигуни екскаваторів з точки зору компенсації реактивної потужності працюють в неоптимальних режимах.

7. З метою раціонального використання компенсуючої здібності синхронного двигуна екскаваторів необхідно використовувати системи

автоматичного регулювання струму збудження в залежності від потрібної кількості реактивної потужності на фідерній лінії.

8. Параметри системи електропостачання тісно взаємопов'язані між собою і в основному визначаються гірничогеологічними, технічними та геометричними параметрами кар'єра. Тому в електромережі гірничодобувних підприємств необхідно вести постійний контроль над споживанням енергії різними приймачами розрізу чи кар'єру. Системи автоматичного контролю і регулювання параметрів електроприводу екскаваторів повинні бути невід'ємною частиною електромережі кар'єра. Це допоможе знизити платежі енергопостачальним організаціям за перетоки активної і реактивної енергії по високовольтних електромережах.

За таблицею було побудовано для екскаватора ЕК-10/70 графік залежності активної потужності від струму збудження на холостому ході, що зображено на рисунку 2.8.

Залежність активної потужності P , кВт від струму збудження I_z

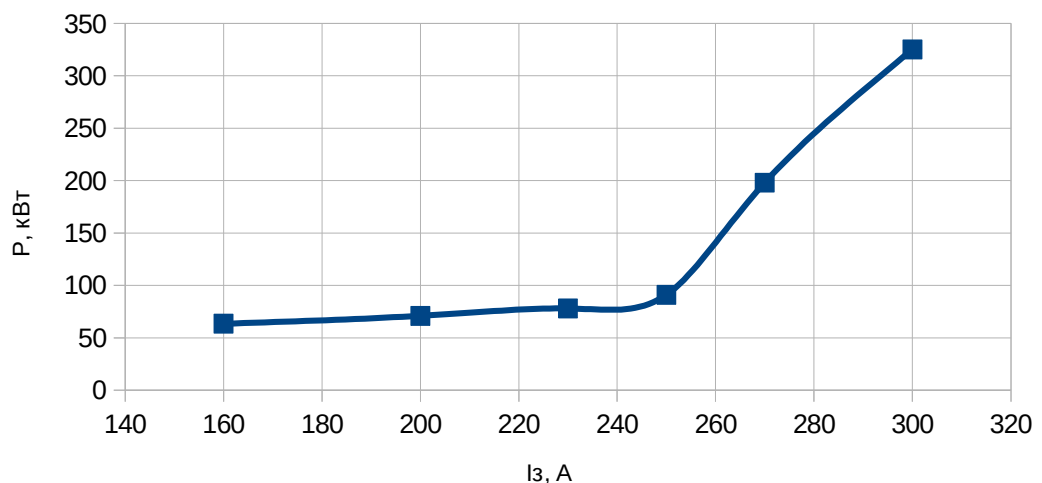
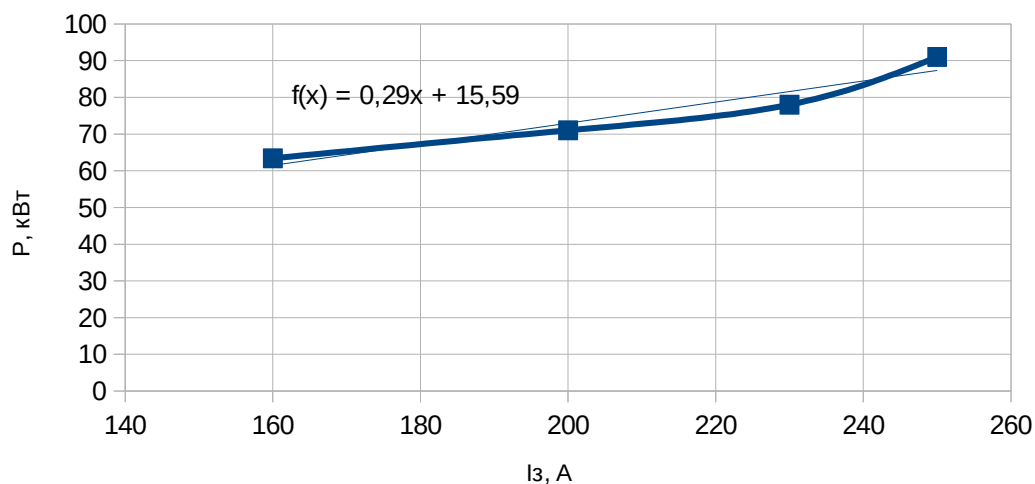


Рисунок 2.8 – Графік залежності у режимі холостого ходу

Графік має нелінійний характер, тому для одержання рівнянь графік розділений на діапазони з більш лінійним характером, що зображено на рисунку 2.9.

Залежність активної потужності P , кВт від струму збудження I_z



Залежність активної потужності P , кВт від струму збудження

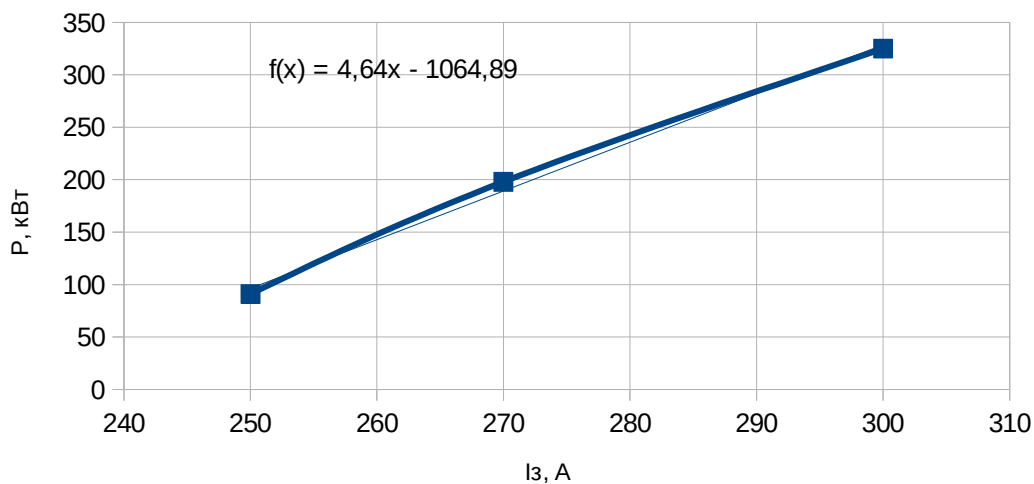


Рисунок 2.9 – Графіки з рівняннями залежності у холостому ході

На рисунку 2.10 зображено залежність реактивної потужності від струму збудження на холостому ході екскаватора ЕК-10/70.

Залежність реактивної потужності Q , кВАр від струму збудження I_z

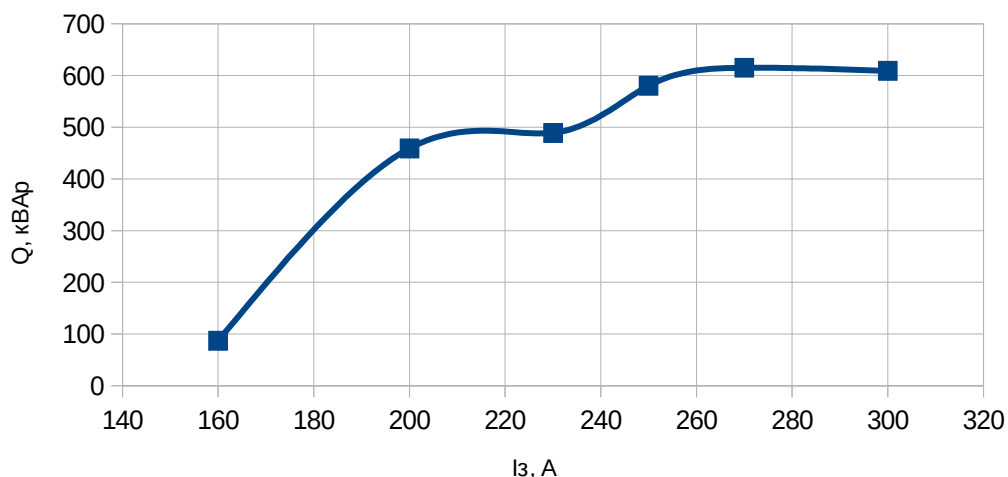


Рисунок 2.10 – Графік залежності зміни реактивної потужності

На рисунку 2.11 показано залежність для робочого режиму.

Залежність активної потужності P , кВт від струму збудження I_z

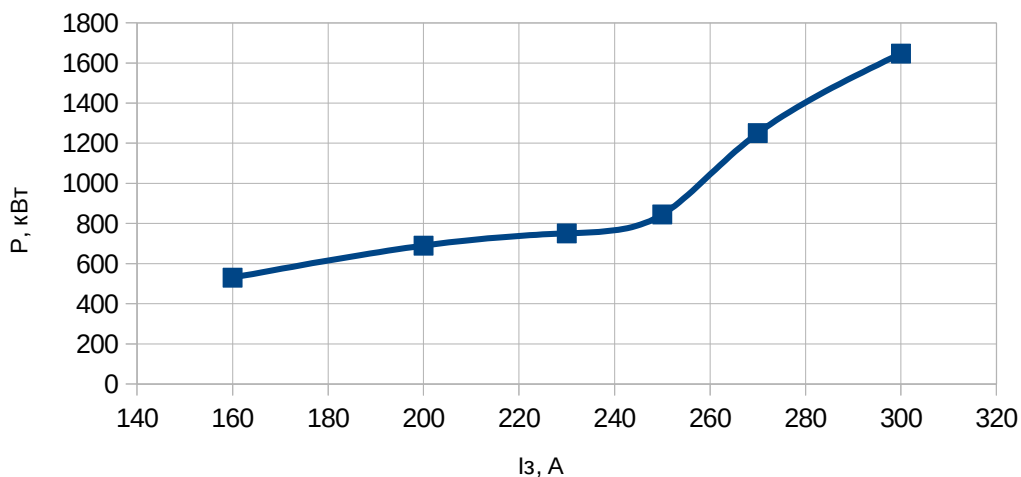
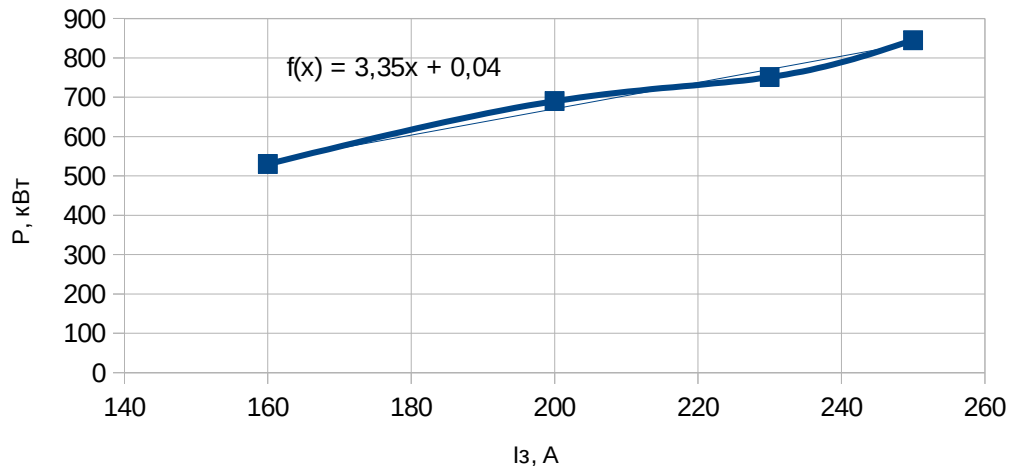


Рисунок 2.11 – Графік залежності активної потужності у робочому режимі

Графік має нелінійний характер, тому для одержання рівнянь графік розділений на діапазони з більш лінійним характером, рисунок 2.12.

На рисунку 2.13 зображено залежність для реактивної потужності к робочому режимі.

Залежність активної потужності P , кВт від струму збудження I_z



Залежність активної потужності P , кВт від струму збудження I_z

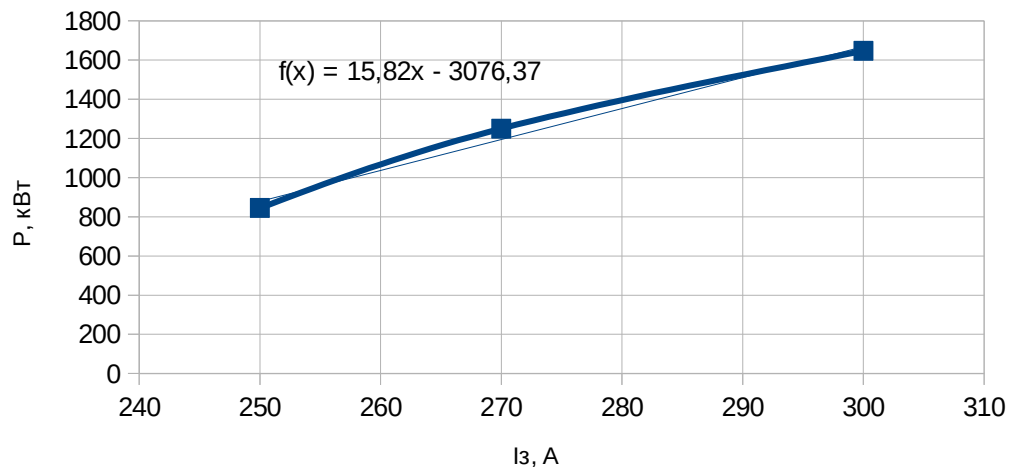


Рисунок 2.12 – Графіки з рівняннями залежності у робочому режимі

Залежність реактивної потужності Q , кВАр від струму збудження I_z

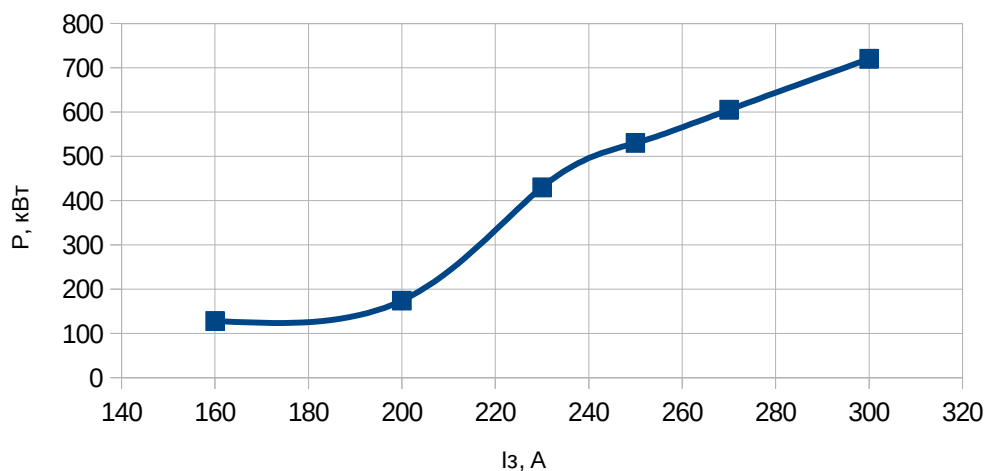


Рисунок 2.13 – Графік залежності зміни реактивної потужності

Знайдені рівняння залежності активної потужності від струму збудження для холостого ходу:

$$f(x) = 0,29x + 15,59;$$

$$f(x) = 4,64x - 1064,89.$$

Рівняння залежності у робочому режимі:

$$f(x) = 3,35x + 0,04;$$

$$f(x) = 15,82x - 3076,37.$$

2.3 Техніко-економічне обґрунтування

На даному етапі станом на червень 2019 року Грушевський кар'єр вже три місяці як Грушевський кар'єр перейшов на оплату за електричну енергію в енергетичному ринку, сплачуючи тільки за активну енергію, але треба брати до уваги, що ринок може змінитись та може виникнуть потреба компенсації реактивної енергії. Крім того, слід зауважити, що при встановленні регулювання струму збудження можна досягти $Q=0$ при $\cos\varphi=1$, що дозволяє завжди бачити економію реальному часі за рахунок зменшення втрат у лінії.

Абсолютною необхідністю є насамперед встановлення АРЗ, як мінімальної програми щодо підвищення енергоефективності.

Пропонується реконструкція перетворювача ТЕ-8 на ЕК №69 з встановленням блоку МБЗ та контролеру, наприклад, Mitsubishi-Alpha-XL типу AL2-14MR-D, що дасть можливість обирати режим роботи та мати мінімальний резерв. Застосування контролера дозволяє замінити окремі компоненти громіздких релейно-контакторних схем управління та захисту. Контролер об'єднує в собі пристрій обробки вхідних сигналів, центральний процесор, який реалізує запрограмований алгоритм управління, модуль формування вихідних сигналів, рідкокристалічний дисплей і модуль пам'яті для зберігання програми і даних. Контролер буде резервувати блок МБЗ і дозволити працювати в простому режимі зниження струму збудження на холостому ходу. На даному етапі аналогова система керування перетворювача ТЕ-8 не зменшує струм на холостому ходу, тобто АРЗ відсутнє. Модернізація дозволить впровадити цю функцію.

При мінімальній роботі АРЗ струм збудження перемикається з робочого на холостий режим, що відбувається у залежності від режиму роботи та навантаження екскаватора. Ця функція дозволяє знизити споживання активної енергії при роботі СД на холостому ходу, та при виконанні операцій підготування траси, перезмінка та інше), що показано у

таблиці 2.4 [26].

За стандартною схемою струм збудження становить 270 А, при цьому $P=198$ кВт, $Q=615$ кВАр.

Таблиця 2.4 – Показники при різних струмах збудження на холостому ході

Машина	Умови роботи	I_z , А	I , А	U , кВ	P , кВт	Q , кВАр	S , кВ×А	$\cos\varphi$
ЭК 20/90	Вскриша	270	208	6,41	833	1050	1340,3	0,62
		230	90,1	6,377	398	706	810	0,49
		220	34,5	6,62	250	307	396	0,631
	Видобуток	230	97,2	6,431	394	965	1083	0,378
		220	29	6,15	43,4	300,6	303,7	0,143
		214	23	6,1	38	280	282	0,13
ЭК 15/90	Вскриша	271	176	6,26	498	860	993,8	0,5
		220	21	6,25	180	310	401,1	0,44
		180	10,8	6,18	63	95	116	0,55
ЭК 10/70	Вскриша	300	78,6	6,45	325	609	690	0,47
		270	63	6,27	198	615	646	0,3
		250	50	6,36	91	580	587	0,155
		230	45	6,25	78	489	495	0,157
		200	24	6,3	71	459	464,5	0,152
		160	4,8	6,27	63,4	87	107,6	0,58
ЕКГ 8I	Видобуток	280	49	6,18	175	298	345,6	0,5
		220	28	6,25	148,1	256	295,7	0,5
		200	16	6,36	6,2	169	169,1	0,03

- При зниженні струму збудження до Mitsubishi-Alpha-XL типу AL2-14MR-D 160 А, $P=63,4$ кВт, $Q=87$ кВАр.

- Різниця споживання активної енергії:

$$P_e = 198 - 63,4 = 134,6 \text{ кВт.}$$

Споживання реактивної потужності скоротилося в 7 разів (на 528 кВАр), одже скоротилися втрати потужності у лінії і знов таки йде економія енергії.

- Приймавши час роботи СД на холостому ході 4 години у добу, економія у добу буде:

$$4 \cdot 134,6 = 538,4 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- Приймавши робочий час екскаватора 25 днів на місяць, економія споживання на місяць буде становить:

$$538,4 \cdot 25 = 13460 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Економія споживання за рік:

$$13460 \cdot 12 = 161520 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

- При ціні за 1 кВт = 1,66435 грн/кВт річна економія 268825,8 грн.

- Ціна модернізації з МБЗ та контролером 49149,35 грн:

модернізація з МБЗ 38909,9 грн; контролер 10239,45 грн.

- Термін окупності становитиме з формули (5) 0,18 року:

$$T_{ок} = \frac{B}{E}, \quad (5)$$

де В - витрати, грн;

Е - річна економія.

- На ЕК №395 та №67 встановлені обертові перетворювачі. Струм збудження не регулюється, АРЗ відсутнє.

Пропонується встановлення тиристорного перетворювача з цифровою

або мікропроцесорною системою управління типу МБЗ.

Орієнтовна ціна до 500000 грн за одиницю.

- Окупність для ЕК №395 та №67 становить 1,9 року.
- Сучасні методи програмування АРЗ перетворювача задля його ступеневої роботи дозволяє збільшити економію відповідно змінюючи струм збудження при зміні навантаження у реальному часі.
- Параметри системи електропостачання тісно взаємопов'язані між собою і в основному визначаються гірничо геологічними, технічними та геометричними параметрами кар'єра.

Принципово нове додаткове впровадження пропонується для режиму роботи на контролері типу Mitsubishi-Alpha-XL типу AL2-14MRD, а саме встановлення двох режимів двохступеневого варіанту регулювання для екскавації та крокування екскавації. При режимі екскавації тормозний момент на валу синхронного двигуна створюють три генератори, а саме під'йому, тяги та обертання. При режимі крокування працює лише генератор обертання, який при допомозі силового контактора переключає своє головне коло з двигунів обертання на двигун крокування, коли універсальний перемикач типу УП на пульту перемикається екскаваторником у необхідний режим. При роботі екскаватора можуть виникати затяжні перегони екскаватора, поряд з цим, взагалі, крокування може займати певний час в залежності від різних чинників. Встановив для цього режиму струм збудження 200А (випробувати декілька значень для стійкої роботи при наладці) для "роботи" і 160А для "холостого ходу" можливо отримати додаткову економію навіть на більш простих контролерах. Перемикання на нижчий струм збудження для крокування повинно відбуватись в момент перемикання універсального перемикача УП, наприклад його додатковими контактами з'єднаними з контролером типу Mitsubishi-Alpha-XL AL2-14MRD.

Треба зауважити, що режим збудження з розділенням режимів екскавація та крокування, набагато доцільніше застосовувати на

екскаваторах з механічним крокуванням, так як на екскаваторах з гідравлічним крокуванням система Г-Д при крокуванні знаходиться на холостому ході, і в цьому випадку доцільно використовувати двохступеневу схему «робота-холостий хід».

Системи автоматичного контролю і регулювання параметрів електроприводу екскаваторів повинні бути невід'ємною частиною електромережі кар'єра. Це допоможе знизити платежі енергопостачальним організаціям за перетоки активної і реактивної енергії по високовольтних електромережах (рисунк 2.14).

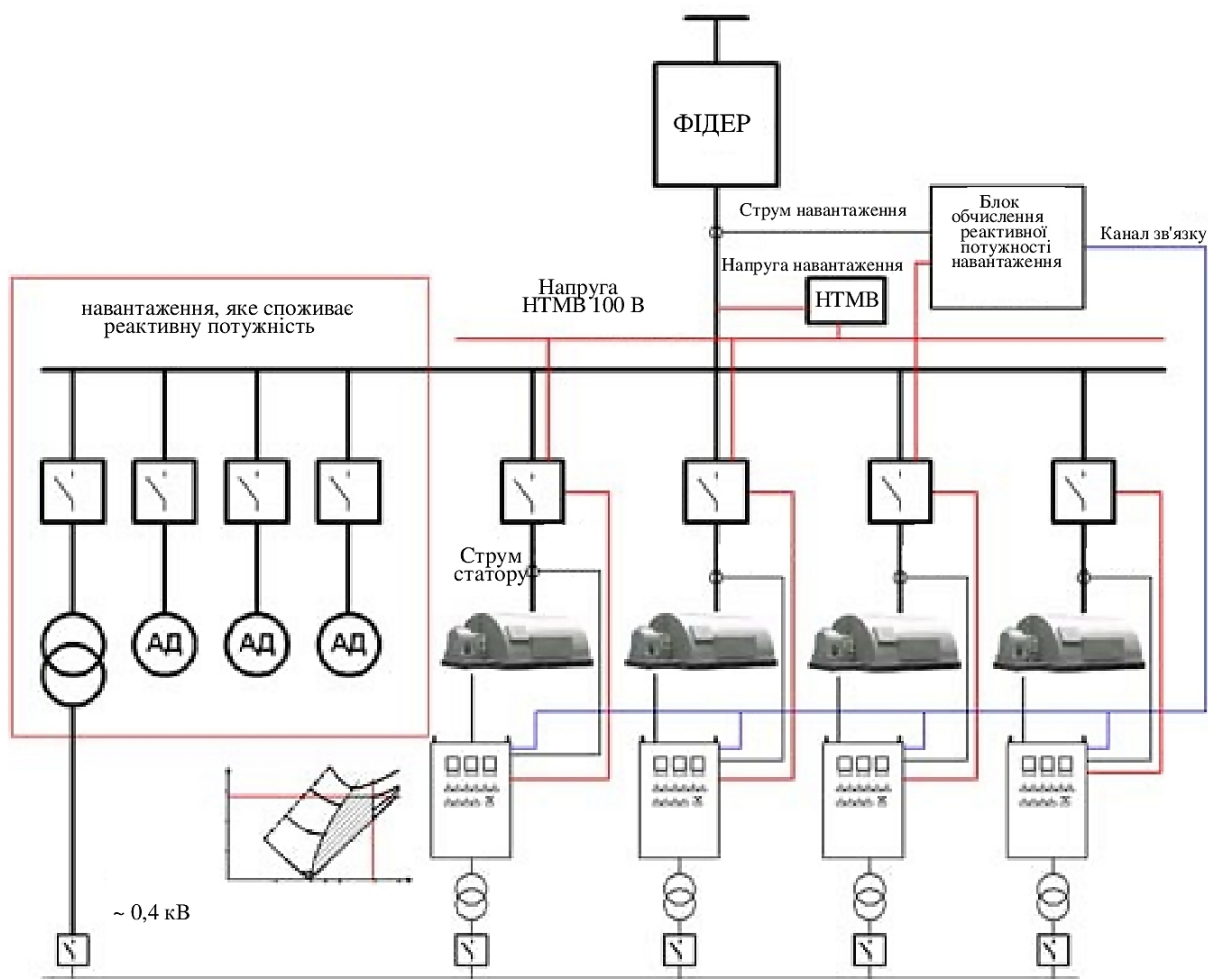


Рисунок 2.14 – Підключення перетворювачів для компенсації реактивної потужності навантаження

Тому в електромережі гірничо видобувних підприємств необхідно вести постійний контроль над споживанням енергії різними приймачами кар'єра.

При прогресивній роботі блоку АРЗ для режимів «робота» і «холостий

хід» по фактичному навантаженню підбирається струм збудження, який забезпечить в середньому за рік або нульове споживання реактивної енергії при цьому двигуном споживається мінімальна активна потужність і знижуються втрати в лінії, або необхідну генерацію реактивної потужності, необхідну для компенсації індуктивного навантаження в даній лінії (блок МБЗ).

2.4 Висновки до другого розділу

У другому розділі наведені можливі впровадження щодо підвищення енергоефективності обладнання Грушевського кар'єру.

Наведено розрахунки компенсаційної здатності синхронних двигунів; споживання активної і реактивної енергії при роботі одноковшових екскаваторів. Побудовані залежності зміни активної та реактивної потужності від струму збудження з рівняннями залежності для активної потужності у двох режимах.

Економія заходів при мінімальній реалізації на холостому ході сягає 68,18% активної енергії, та 85,85% реактивної. Запропоновано модернізацію існуючого перетворювача та встановлення двох нових перетворювачів на екскаватори ЕК-10/70. Термін окупності в першому випадку складає – 0,18 року, у другому 1,9 року.

ВИСНОВКИ

Підвищення енергоефективності електрообладнання підприємства безумовно один з найважливіших напрямків в сучасній техніці, що було тематикою даної роботи.

1. У загальній частині дано характеристику підприємства, його структуру та технологічну схему виробництва, наведений перелік структурних підрозділів, що входять до складу ПАТ “МГЗК”.

Наведено аналіз електричного обладнання Грушевського кар'єру, електричне обладнання екскаваторів, допоміжного устаткування та аналіз мережевих двигунів обладнання.

2. Другий розділ дає уявлення о можливих впровадженнях щодо підвищення енергоефективності обладнання Грушевського кар'єру. Економія заходів при мінімальній реалізації на холостому ході сягає 68,18% активної енергії, та 85,85% реактивної. Запропоновано модернізацію існуючого перетворювача та встановлення двох нових перетворювачів на екскаватори ЕК-10/70. Термін окупності в першому випадку складає – 0,18 року, у другому 1,9 року.

Можна бачити конкретну доцільність запропонованих заходів, беручи до уваги запропоноване економічне обґрунтування і авторитетні дослідження фахівців, які показані в роботі.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ТА ПОСИЛАНЬ

1 Марганцевые руды [Электронный ресурс] / Режим доступа : \WWW/ URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Марганцевые_руды – 13.05.2019 р. – Загол. з екрану.

2 Горная промышленность [Электронный ресурс] / Режим доступа : \WWW/ URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Горная_промышленность – 03.12.2017 р. – Загол. з екрану.

3 Марганец [Электронный ресурс] / Режим доступа : \WWW/ URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Марганец> – 22.05.2019 р. – Загол. з екрану.

4 Марганецкий горно-обогатительный комбинат [Электронный ресурс] / Режим доступа : \WWW/ URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Марганецкий_горно-обогатительный_комбинат – 06.06.2018 р. – Загол. з екрану

5 Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых. Часть1. Технология, механизация и автоматизация производственных процессов на открытых горных работах [Текст] : учеб. / М.Г. Новожилов, Ф. И. Кучерявый, В. С. Хохряков , Б. Н. Тартаковский и др. ; под общ. ред. М. Г. Новожилова. – М., Недра, 1971. – 512 с.

6 Полищук, А. К. Разработка месторождений группой карьеров в системе комбината [Текст] : / А. К. Полищук, Г. К. Полищук, А. М. Михайлов – М.: Недра, 1975. – 200с.

7 Марганцевые месторождения СССР [Текст] : сборник статей / Н. М. Страхов, Д. Г. Сапожников, Ю.А. Ходак, Г. Б. Чернышев. – М.: Наука, 1967. – 460 с.

8 Технический прогресс на марганцевых карьерах [Текст] : / И. И. Яровой, Г. Л. Середа, М. Я. Гергель и др. – М. : Недра, 1977. – 95 с.

9 Шахта [Электронный ресурс] / Режим доступа : \WWW/ URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Шахта> – 14.05.2019 р. – Загол. з екрану.

10 Обогажительная фабрика [Электронный ресурс] / Режим доступа :

\WWW/ URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Обогатительная_фабрика
– 21.02.2019 р. – Загол. з екрану.

11 Мительман, М. В. Совершенствование электроприводов экскаваторов [Текст]: / М. В. Мительман, П. П. Мирошкин. – М.: Недра, 1987. – 160с.

12 Экскаватор ЭКГ-5А [Электронный ресурс] / ООО «Росстройматериалы». – Режим доступа : \WWW/ URL: <http://excr.ru/catalog/ekg/1/> – 10.05.2019 р. – Загол. з екрану.

13 Каталог продукции [Электронный ресурс] / ООО «Научно-Производственное Предприятие РУДПРОМАВТОМАТИКА». – Режим доступа : \WWW/ URL: <http://www.rpa.ua/html/ru/products/index.php> – 10.05.2019 р. – Загол. з екрану.

14 Справочник энергетика карьера [Текст]: справочник / В. А. Голубев, П. П. Мирошкин, Н. М. Щадрин и др.; под ред. В. А. Голубева. – М. : Недра, 1986. – 420 с.

15 Дорошев, Ю. С. Развитие реории и комплексные методы повышения эффективности функционирования электрооборудования горных предприятий [Текст] : дис. ... доктор технических наук / Ю. С. Дорошев. – Владивосток, 2009. – 305 с.

16 Ахматов, М. Г. Синхронные машины. Специальный курс [Текст]: / Учеб. Пособие для вузов по спец. Электрические машины / М. Г. Ахматов. – М.: Высш. шк., 1984. –135 с., ил.

17 Цейтлин, Л. С. Электропривод, электрооборудование и основы управления[Текст]: Учебник для уч-ся электромеханич. техн. / Л. С. Цейтлин. – М.: Высш. шк., 1985. –192 с., ил.

18 Коваль, В.П. Електричні машини: Теорія машин постійного струму, трансформаторів, загальних питань теорії безколекторних машин, асинхронних та синхронних машин [Текст]: Підручник для вищих навчальних закладів, допущено Міністерством освіти і науки України,

протокол № 2711/25 від 10.10.2005 р. / В. П. Коваль – Запоріжжя: ЗЕТК, 2007. – 258 с.

19 Петухов, С. В. Электропривод [Текст]: Учебное пособие / сост. С.В. Петухов, М.В. Кришьянис. – Архангельск: С(А)ФУ, 2015. – 303 с.

20 Забудский, Е. И. Электрические машины [Текст]: учебное пособие для вузов / В 4 ч. Ч. 3. Синхронные машины / Е. И. Забудский. # 2-е изд., перераб. и доп. – М. : ООО “Мегаполис”, 2019. – 295с.

21 Котлярчук, В. А. Электроснабжение экскаваторов [Текст]: / В. А. Котлярчук, А.Ф. Гончаров. Недра, 1980. 175с.

22 Прокопенко, И. В. Управление реактивной мощностью электротехнических комплексов открытых горных работ с экскаваторной нагрузкой [Текст] : дис. ... канд. технич. наук / И. В. Прокопенко. – Санкт-Петербург, 1999. – 161 с.

23 Компенсація реактивної потужності [Електронний ресурс] / Режим доступу : \WWW/ URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Компенсація_реактивної_потужності – 26.11.2018 р. – Загол. з екрану.

24 Статьи [Электронний ресурс] / Г. В. Герасимов, ООО «Интеллектуальные машины». – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://www.intmash.ru/ru/stati/> – 10.08.2014 р. – Загол. з екрану.

25 Продукция [Электронний ресурс] / ООО «Интеллектуальные машины». – Режим доступу : \WWW/ URL: <http://www.intmash.ru/ru/produkcija/specializirovannye-kontrollery> – 10.08.2014 р. – Загол. з екрану.

26 Дорошев, Ю. С. Потребление активной и реактивной энергии при работе одноковшовых экскаваторов [Текст] : / Ю. С. Дорошев, Д. Б. Соловьёв // Горное оборудование и электромеханика. – 2010. – № 11. – 34-39.

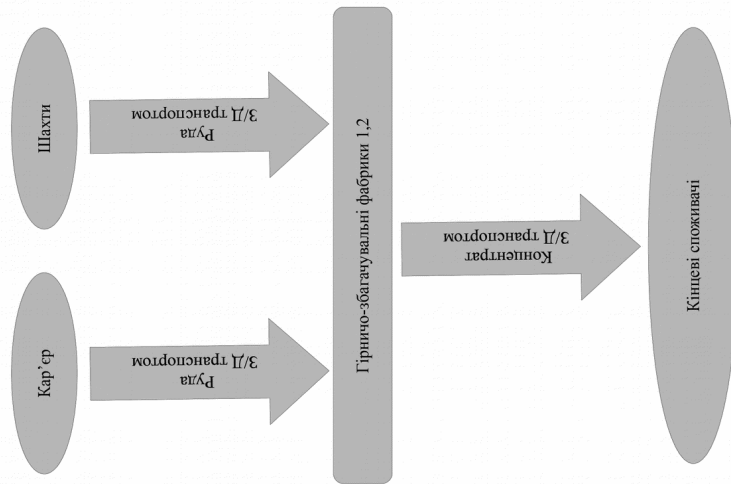
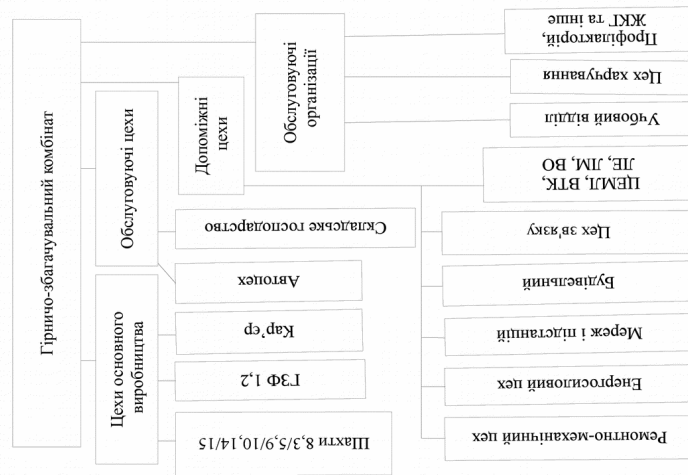
27 Мелехин, В.Т. Основные направления совершенствования нормирования при системном подходе к использованию топливноэнергетических ресурсов [Текст]: / В. Т. Мелехин // Промышленная энергетика. 1983. № 8. С. 5 – 8.

28 Праховник, А. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий [Текст]: / А. В. Праховник, В. Т. Розен, В. В. Дегтярёв. – М.: Недра, 1985. 367 с.

29 Оценка удельных энергозатрат на экскавацию горной массы Лучегорского разрезостроительного управления [Текст]: / Отчет по науке кафедры ГЭМ за 1990. Владивосток: Изд. ДВПИ, 1990. 24 с.

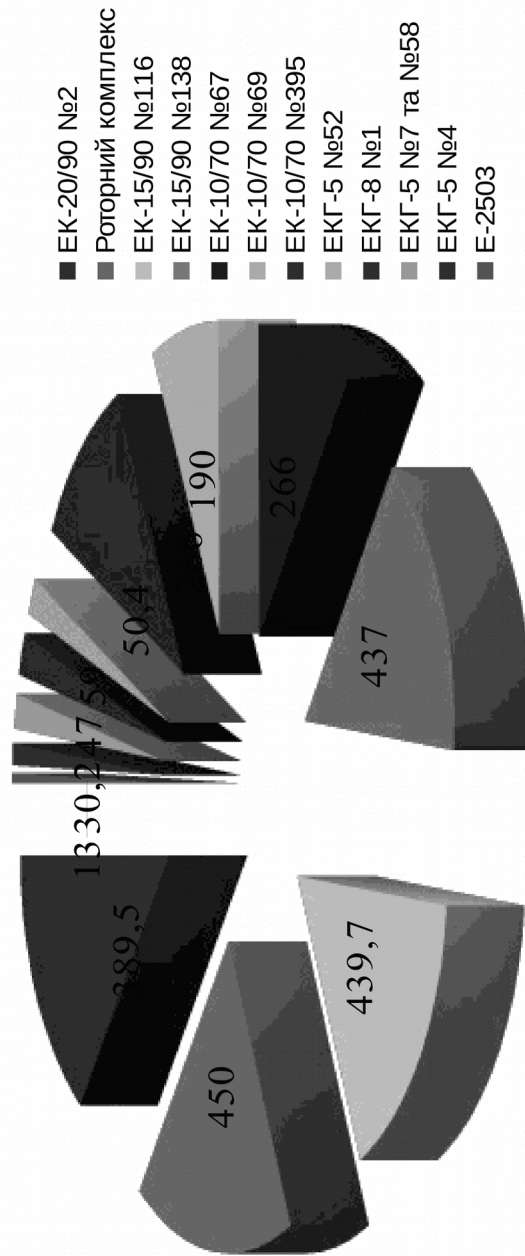
30 Разработка норм расхода электроэнергии на экскавацию горной массы для условий Лучегорского разрезостроительного управления [Текст]: / Отчет по науке кафедры ГЭМ за 1990. Владивосток: Изд. ДВПИ, 1990. 37 с.

Загальна структура та технологічна схема ПАТ «МГЗК»



Додаток А (графічний матеріал)

Середнє місячне споживання електроенергії машинами Грушевського кар'єру



Технічні характеристики мережевих двигунів одноковшових екскаваторів

Дані	Марка екскаватора			
	ЕКТ-5А ЕКТ-4,6А	ЕКТ-8Н ЕКТ-4У ЕК-6/45М	ЕКТ-12,5 ЕК-10/70 ЕК-11/70	ЕК-15/90 ЕК-15/90А ЕК-20/90
Тип двигуна	АВ-1134М ПЗ14	СДУ- 14-29-6 СДСЕ- 14-29-6у2 СДЕ2-15- 34-6у2 СДЕ-520- 1000	СДСЕ- 15-39-6у СДЕ-16- 46-6у2 СДЕ2-16- 46-6у2 СДЕ2-16- 48-6у2	СДЕ2-17- 57-6у2 СДЕ2-17- 69-8хл2 СДС-16- 71-8
Номинальна потужність, кВт	250	520, 525, 630	1460, 1250	1900, 2900
Частота обертання, об/хв	1480	1000	1000	1000
Номинальна напруга, кВ	6,0/3,0	6,0/3,0	6,0	6,0
Номинальний струм якоря, А	28,8/57,6	60/120, 72	139-143	202
Струм збудження, А		280,316	270-296	271
Номинальна напруга збудження, В		36	44	47
Кратність пускового струму, I_p/I_n	5	5,8-6,2	5,5-6,2	5,5-6
Коефіцієнт потужності, $\cos \phi$	0,95	-0,89	-0,9	-0,95
ККД, %		93,8	94,8-96	96,4
$M_{max}/M_{ном}$		1,8-2	1,8-2,1	2
$M_p/M_{ном}$		0,9	0,65-0,8	0,8
Номинальні втрати, кВт		34,7	52,08	62,74
Нормований перетин жил кабелю, мм ²	25	35	35	50
			70	70
			73	95

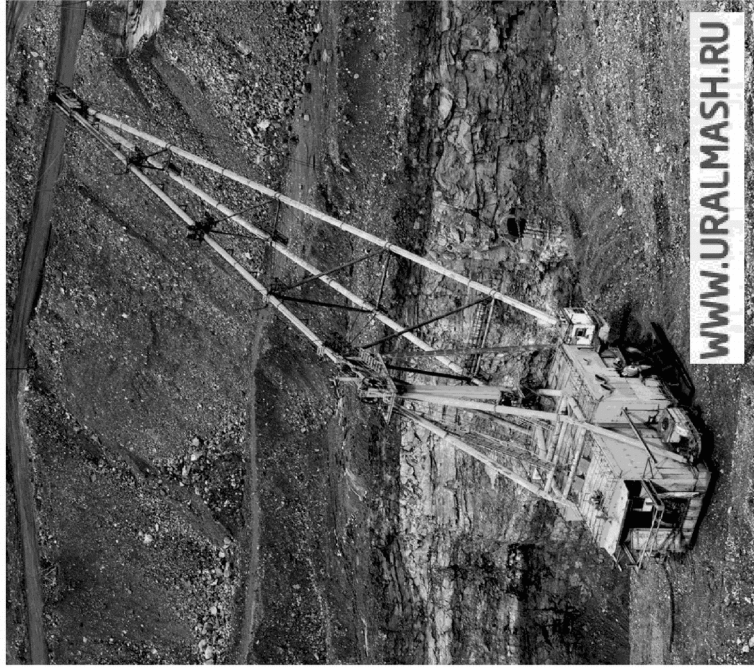
Екскаватор ЕКГ-5А

Потужність сітьового двигуна 250кВт



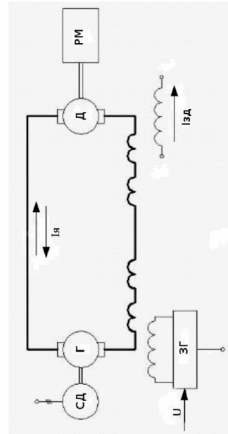
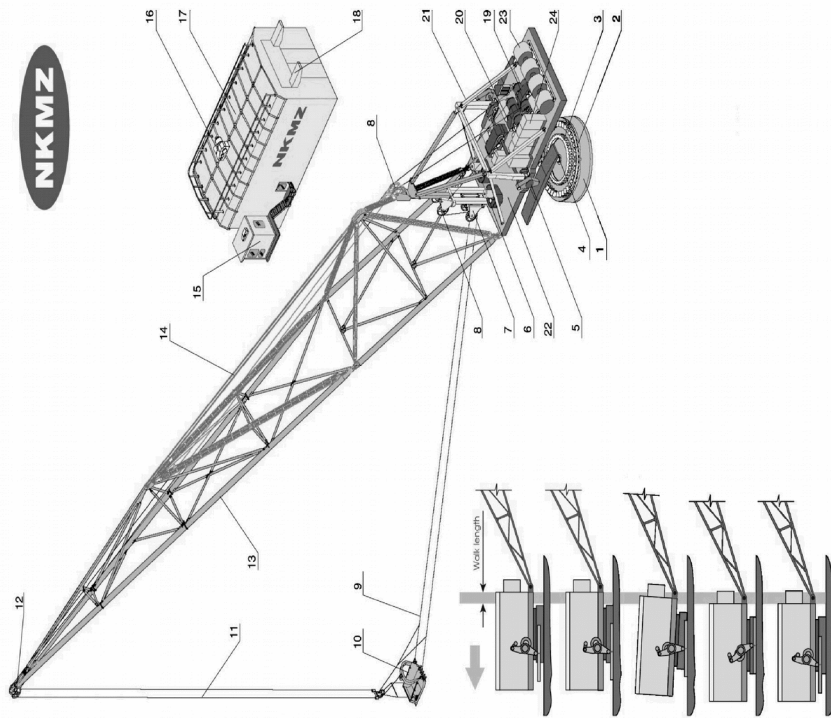
Екскаватор крокуючий ЕК-20/90

Номинальна потужність СД 2500 кВт



Екскаватор ЕК-10/70

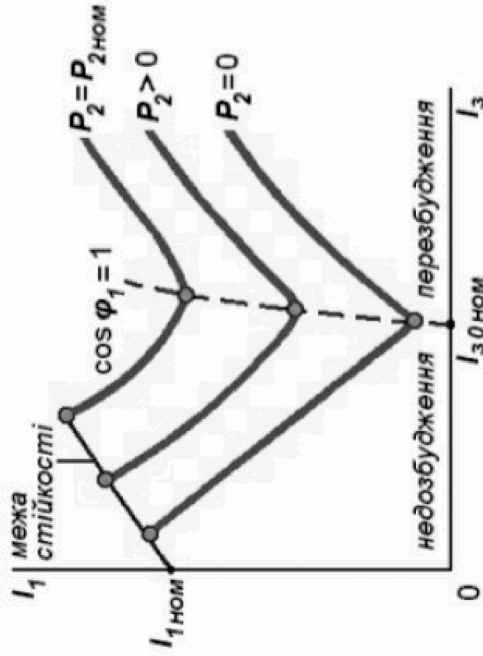
Екскаватор ЕК-10/70 -
крокуючий екскаватор з
синхронним двигуном
перетворюючого
агрегату - як компенсуюча
машина



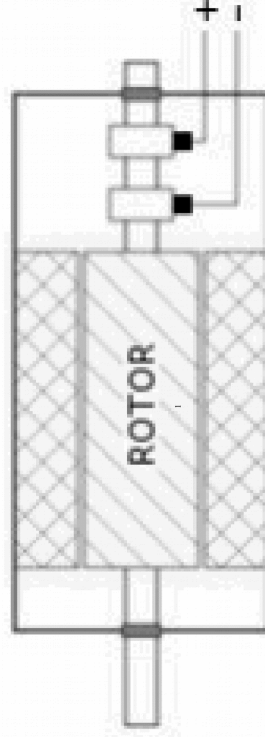
Система генератор-двигун

СИНХРОННИЙ ДВИГУН

З принципа дії синхронного двигуна можна побачити можливість, необхідність та енергозберігаючий ефект регулювання струму ротора, а саме збудження синхронного двигуна в залежності від параметрів його роботи в конкретних умовах



U-подібні характеристики синхронного двигуна



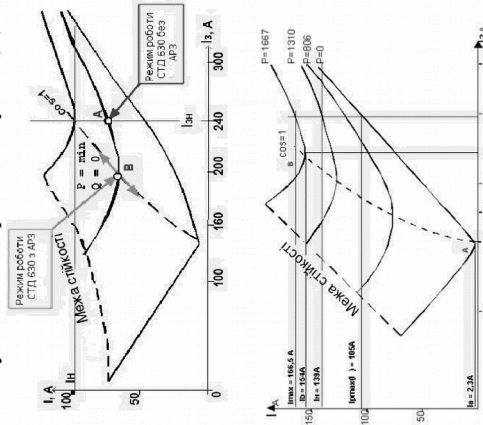
Схематичне зображення синхронного двигуна

Автоматичне регулювання збудження

Основним є режим стабілізації $\cos\phi = 1$, регулятор працює так, що в залежності від навантаження, автоматично встановлюється такий струм збудження, що точка В переміщується вздовж лінії $\cos\phi = 1$, при цьому двигуну споживається мінімальна активна потужність ($P = \min$), реактивна потужність дорівнює нулю ($Q = 0$).

Показники при різниціх струмах збудження на холостому ходу

Машинна	Умови роботи	I_s , А	I , А	U , кВ	P , кВт	Q , кВАр	S , кВ×А	$\cos\phi$
ЭК 20/90	Векриша	270	208	6,41	833	1050	1340,3	0,62
		230	90,1	6,377	398	706	810	0,49
		220	34,5	6,62	250	307	396	0,631
ЭК 15/90	Видобуток	230	97,2	6,431	394	965	1083	0,378
		220	29	6,15	43,4	300,6	303,7	0,143
		214	23	6,1	38	280	282	0,13
ЭК 10/70	Векриша	271	176	6,26	498	860	993,8	0,5
		220	21	6,25	180	310	401,1	0,44
		180	10,8	6,18	63	95	116	0,55
ЭК 8И	Видобуток	300	78,6	6,45	325	609	690	0,47
		270	63	6,27	198	615	646	0,3
		250	50	6,36	91	580	587	0,155
ЭКГ 8И	Векриша	230	45	6,25	78	489	495	0,157
		200	24	6,3	71	459	464,5	0,152
		160	4,8	6,27	63,4	87	107,6	0,58
ЭКГ 8И	Видобуток	280	49	6,18	175	298	345,6	0,5
		220	28	6,25	148,1	256	295,7	0,5
		200	16	6,36	6,2	169	169,1	0,03

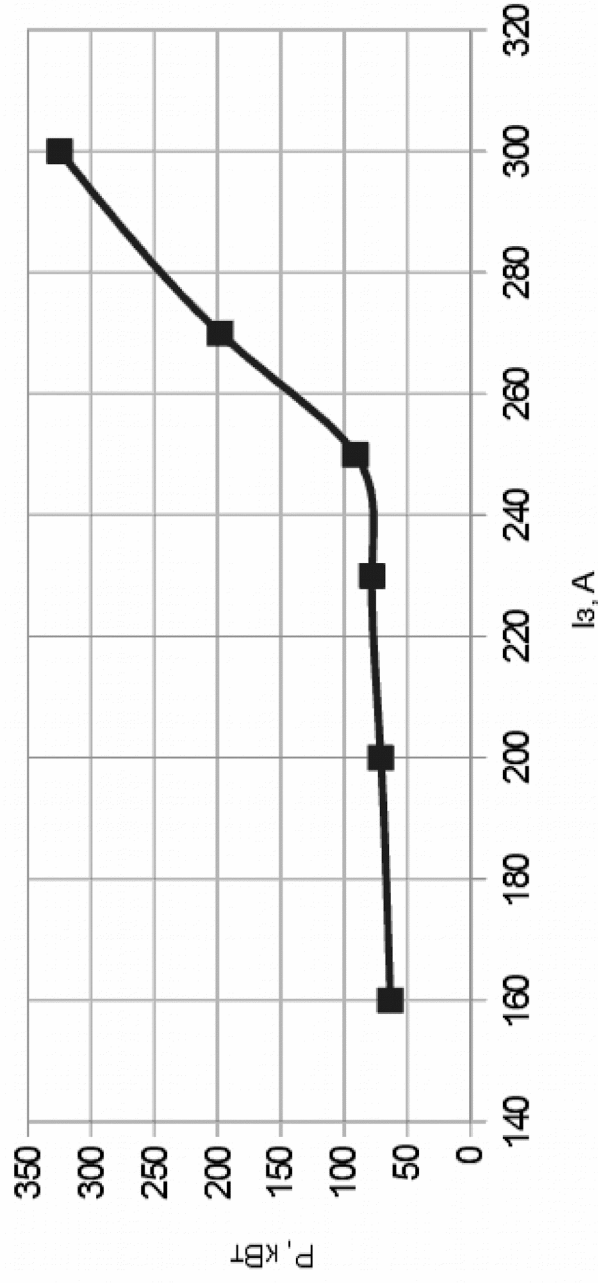


U-характеристики ЕК-10/70

U-образні характеристики являють собою залежність струму статора від струму збудження при постійних частоті, напрузі на виводах і корисній потужності на валу двигуна

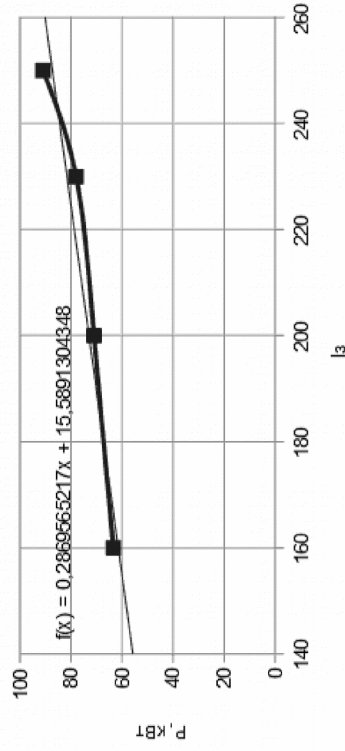
Графік залежності активної потужності на Х.Х.

Залежність активної потужності P , кВт від струму збудження I_z

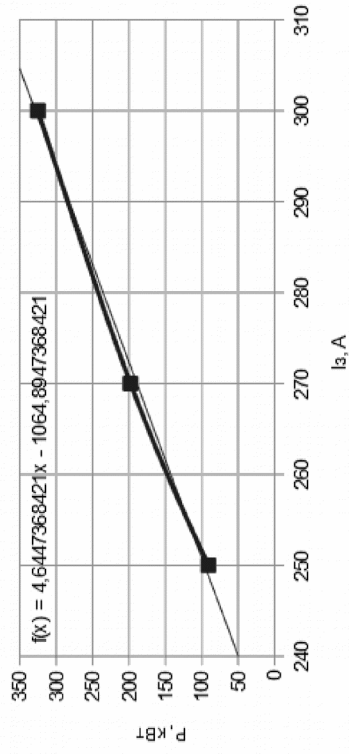


Графіки залежності активної потужності від струму збудження

Залежність активної потужності P, кВт від струму збудження I_з

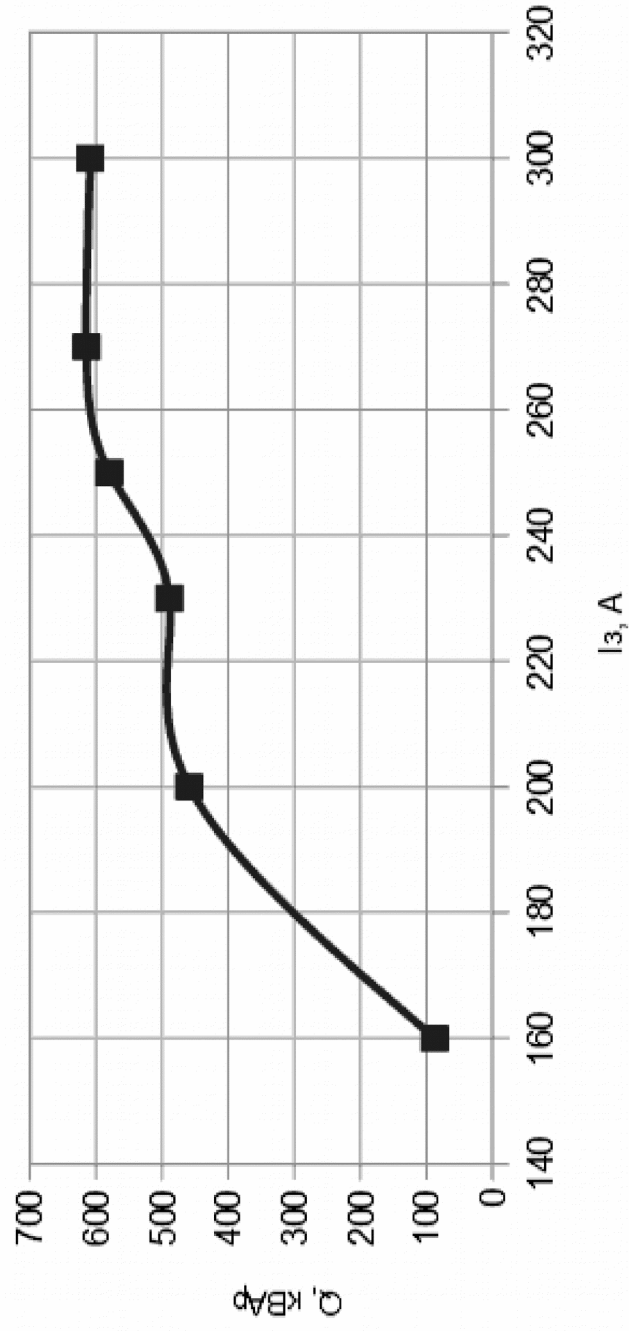


Залежність активної потужності P, кВт від струму збудження I_з



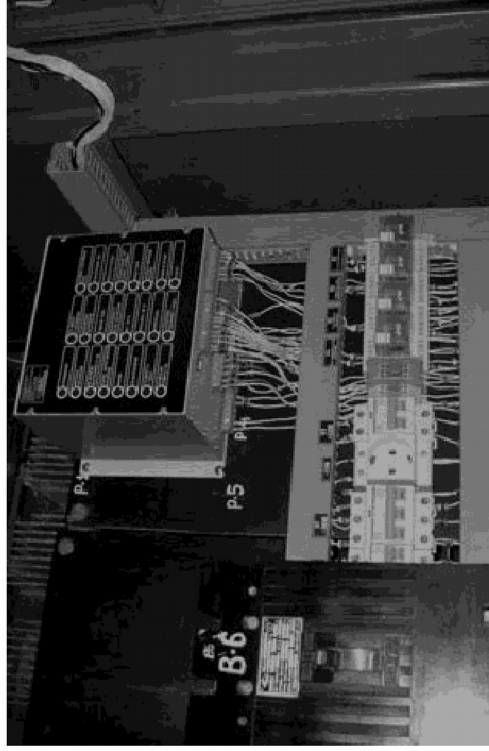
Графік залежності реактивної потужності

Залежність реактивної потужності Q , кВАр від струму збудження I_z



Показники при різних струмах збудження у режимі «робота»

Машина	Умов. роботи	I_b , А	I_1 , А	U_1 , кВ	P_2 , кВт	Q_2 , кВАр	S , кВ·А	$\cos\varphi$
ЭК 20/90	Розкрив	270	265	6,41	2510	930	2676	0,937
		230	123	6,114	1250	371	1304	0,9586
	Видобуток	220	73,3	6,37	803	81	808	0,99
		230	119	6,367	1260	376	1315	0,958
ЭК 15/90	Розкрив	220	120	6,31	980	100	985	0,31
		214	114	6,27	890	48	891	0,99
	271	202	6,27	1680	813	1866	0,9	
	220	78	6,21	448	679	813	0,55	
ЭК 10/70	Розкрив	180	78,3	6,21	690	482	842	0,82
		300	145	6,33	1647	720	1797,5	0,91
	270	140	6,35	1250	605	1388	0,9	
	250	92,5	6,3	845	530	997,5	0,847	
ЭКГ 81	Розкрив	230	81,5	6,28	751	430	865,4	0,86
		200	54	6,24	690	174	711,6	0,96
	160	35	6,18	530	128	545,2	0,97	
	280	60	6,27	525	269	590	0,90	
Видобуток	220	44	6,29	446	100	457	0,975	
	200	43	6,25	418	65	423	0,988	



Реконструйований ТЕ8-320

Мікропроцесорний блок керування тиристорним збудником



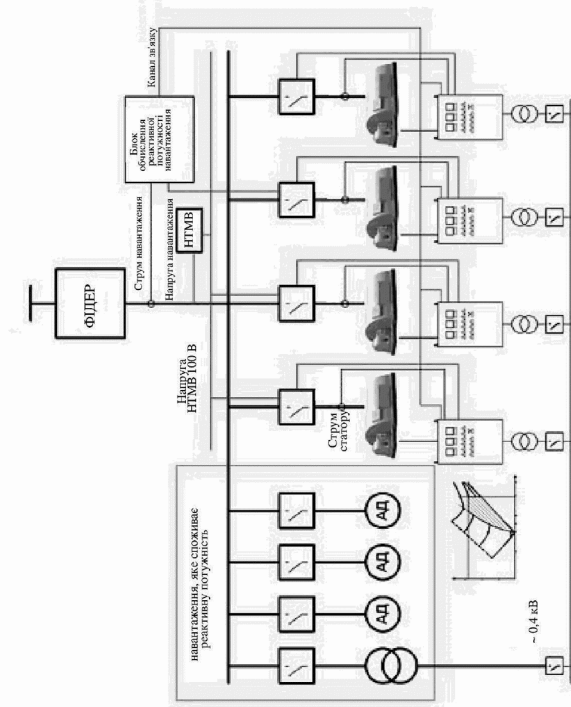
Автоматичний регулятор збудження

забезпечує наступні режими:

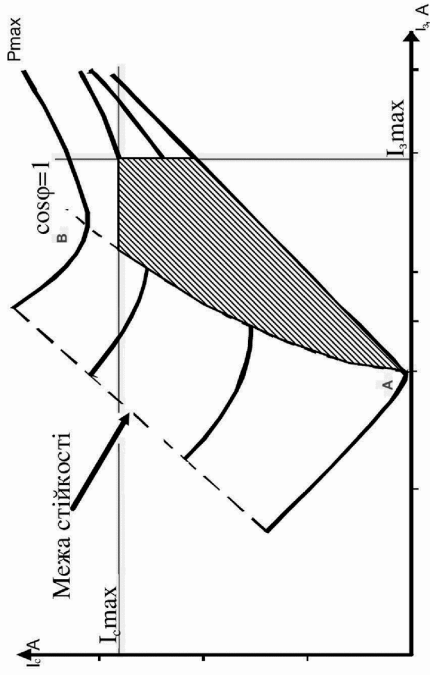
- стабілізація струма збудження;
- стабілізація $\cos\phi$;
- мінімальна активна потужність;
- стабілізація напруги стагора;
- стабілізація струма стагора;
- стабілізація напруги та струму стагора.

Продовження додатка А

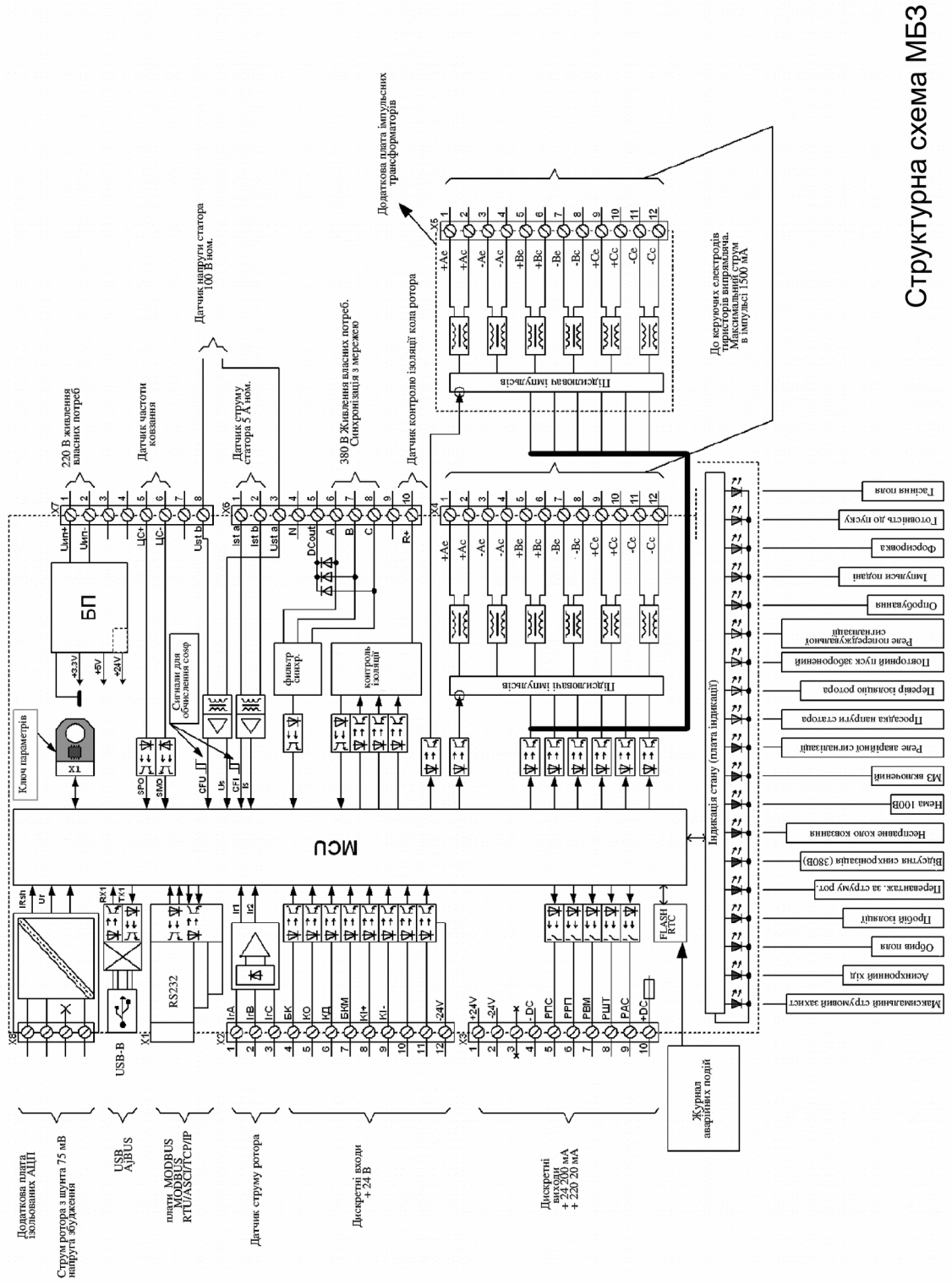
Схема компенсації реактивної потужності навантаження



Підключення перетворювачів для компенсації реактивної потужності навантаження



Запущен диапазон работы автоматического регулятора возбуждения при компенсации реактивной мощности навантаження



Структурна схема МБЗ

Висновки

Основним є режим стабілізації $\cos\varphi = 1$, регулятор працює так, що в залежності від навантаження, автоматично встановлюється струм збудження для встановлення $\cos\varphi = 1$, при цьому двигуном споживається мінімальна активна потужність ($P = \min$), реактивна потужність дорівнює нулю ($Q = 0$).

Економія заходів при мінімальній реалізації на холостому ході сягає 68,18% активної енергії, та 85,85% реактивної. Запропоновано модернізацію існуючого перетворювача та встановлення двох нових перетворювачів на екскаватори ЕК-10/70. Термін окупності в першому випадку складає – 0,18 року, у другому 1,9 року.

