

Міністерство освіти і науки України  
Криворізький національний університет  
Електротехнічний факультет  
Кафедра електричної інженерії

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи

магістра

(рівень вищої освіти)

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

На тему: «Модернізація електромеханічної системи перетворювального агрегату екскаватора ЕКГ-10 з реалізацією функції плавного пуску мережевого двигуна»

*КНУ.МР.141.24.777-02*

Виконав студент II курсу, групи ЗЕПА-23м /Олег РАКІТЕНКО/  
141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»  
«Електромеханічні системи автоматизації та електропривод»

(шифр і назва спеціальності, освітньо-професійної програми)

Керівник:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /Юрій ОСАДЧУК/

Нормоконтролер:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /Юрій ОСАДЧУК/

Завідувач кафедри,

д.т.н., професор

\_\_\_\_\_ /Олег СІНЧУК/

Гарант ОПП:

к.т.н., доцент

\_\_\_\_\_ /Юрій ОСАДЧУК/

Кривий Ріг  
2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: магістр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

РАКІТЕНКО Олег Володимирович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Модернізація електромеханічної системи перетворювального агрегату  
екскаватора ЕКГ-10 з реалізацією функції плавного пуску мережевого двигуна

1. Термін подання студентом роботи: 09 грудня 2024 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модернізація  
електромеханічної системи перетворювального агрегату екскаватора ЕКГ-  
10. Завданнями досліджень є реалізацією функції плавного пуску мережевого  
двигуна.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.  
Електромеханічні системи ЕКГ-10; II. Перетворювальний агрегат; III.  
Характеристики полегшеного пуску; IV. Мікропроцесорна системи  
полегшеного пуску; V. Дослідження динамічних режимів роботи системи  
полегшеного пуску.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових  
креслень) I. Загальний вид електромеханічної системи; II. Статичні  
характеристики; III. Система керування; IV. Система плавного пуску  
мережевого двигуна; V. Дослідження динаміки електроприводу; VI.  
Дослідження динаміки електроприводу з перетворювальним агрегатом.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Осадчук Ю.Г.		
II	Осадчук Ю.Г.		
III	Осадчук Ю.Г.		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Загальна характеристика екскаватора ЕКГ-10	10.09.24
2	Система полегшеного пуску синхронного двигуна	12.10.24
3	Конструктивні елементи перетворювального агрегату	17.10.24
4	Вибір перетворювального агрегату	19.10.24
5	Основні параметри силової частини	24.10.24
6	Статичні характеристики	26.10.24
7	Замкнена система керування	28.11.24
8	Алгоритми роботи системи полегшеного пуску	30.11.24
9	Розробка математичної моделі	04.12.24
10	Динамічні характеристики	07.12.24

Дата видання завдання 02.09.2024 р.

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_  
(підпис)

Ракітенко О.В.  
(ПІБ)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Осадчук Ю.Г.  
(ПІБ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра на тему  
«Модернізація електромеханічної системи перетворювального агрегату  
екскаватора ЕКГ-10 з реалізацією функції плавного пуску мережевого  
двигуна» *КНУ.МР.141.24.777-2*

Об'єкт розробки – електромеханічна система перетворювального  
агрегату екскаватора ЕКГ-10.

У роботі проведено аналіз електромеханічної системи  
перетворювального агрегату екскаватора ЕКГ-10. У якості мережевого  
двигуна використовується синхронний двигун.

У роботі запропонована модернізація електромеханічної системи  
перетворювального агрегату. Побудовані статичні характеристики та  
визначено динамічні показники системи електроприводу.

Для реалізації функції плавного пуску мережевого двигуна була  
розрахована мікропроцесорна система. Було обрано датчики на налаштовано  
контур регулювання.

Підвищення ефективності роботи електромеханічної системи  
перетворювального агрегату досягаються завдяки реалізації функції плавного  
пуску мережевого двигуна екскаватора ЕКГ-10 та компенсації реактивної  
потужності.

ЕКСКАВАТОР, ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА,  
ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИЙ АГРЕГАТ, СИНХРОННИЙ ДВИГУН, ПЛАВНИЙ  
ПУСК, КОМПЕНСАЦІЯ РЕАКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ СИСТЕМИ ЕКГ-10.....	11
1.1 Загальна характеристика екскаватора ЕКГ-10.....	11
1.2 Система пуску мережевого двигуна.....	21
1.3 Характеристика системи полегшеного пуску мережевого двигуна.....	24
1.4 Система полегшеного пуску синхронного двигуна екскаватора .....	26
РОЗДІЛ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИЙ АГРЕГАТ.....	28
2.1 Основні конструктивні елементи перетворювального агрегату.....	28
2.2 Вибір перетворювального агрегату.....	33
РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕГШЕНОГО ПУСКУ.....	43
3.1 Основні параметри силової частини.....	43
3.2 Статичні характеристики.....	47
РОЗДІЛ 4. МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМИ ПОЛЕГШЕНОГО ПУСКУ.....	50
4.1 Замкнена система керування.....	50
4.2 Технічні засоби та їх характеристики.....	57
4.3 Алгоритми роботи мікропроцесорної системи полегшеного пуску.....	58
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ПОЛЕГШЕНОГО ПУСКУ.....	66
5.1 Розробка математичної моделі.....	66
5.2 Динамічні характеристики.....	76
ВИСНОВКИ.....	84

## ВСТУП

Електромеханічні системи потужних виробничих агрегатів покликані забезпечувати ефективні режими роботи технологічних ліній та виконувати складні виробничі завдання.

До таких систем відносяться й великі кар'єрні екскаватори, що забезпечують перевантаження гірської породи за допомогою методу проведення вскришних робіт із подальшим відвантаженням гірської породи корисних копалин.

Динаміку роботи подібного механізму виконують його складові елементи, які забезпечують розподіл функцій у відповідності до їх реалізації.

Екскаватори є складними механізованими засобами, що допомагають у вирішенні питання функціонування систем транспортування корисних копалин.

Такі структури є важливими елементами у роботі гірничо-видобувних компаній, тому є актуальним питання розгляду можливостей щодо поліпшення ефективності їх роботи у структурі гірничо-видобувного комплексу.

Важливою ознакою роботи кар'єрного екскаватору є їх автономність щодо виконання технологічних завдань.

Але поряд з тим постає питання розв'язку завдання забезпечення їх надійної роботи, що має бути запорукою виконання безперервної роботи щодо переміщення вантажу видобутої породи.

Також слід зазначити що екскаватор є споживачем великої потужності, крім того таким що знаходиться на віддаленій відстані від джерела електричної енергії.

Тому до процесу споживання електричної енергії в умовах обмеженості джерела приділяється особлива увага.

Окрім того кар'єрні виробітки налічують такі місця знаходження виробничих потреб, що мають забезпечуватись не одним автономним механізмом.

На практиці у режимі одночасної роботи може перебувати до десяти екскаваторів, при цьому кожен з них створює додаткові перешкоди для роботи один одного.

Особливо це має прояв при здійсненні пуску електромашинних агрегатів, що є основними складовими потужності механізмів як споживачів електричної енергії.

При пуску потужного електромашинного агрегату екскаватору, який зазвичай у якості провідного двигуна використовує потужну синхронну машину, відбувається процес підвищеного споживання струму, що має реактивний характер, у наслідок чого відбувається зміна напруги, яка впливатиме на стабільність роботи джерела електричної енергії.

Також слід зазначити що синхронні двигуни при живленні їх від джерела обмеженої потужності негативно впливатимуть на джерело.

Тому подібні структури необхідно забезпечувати системами стабілізації параметрів джерела електричної енергії із можливістю усунення негативних наслідків щодо їх роботи та забезпеченням можливості ними поліпшувати рівняння енергетичного балансу у системі електроенергоживлення.

За допомогою систем що містять синхронні двигуни важливим є можливість використання їх у якості компенсаторів реактивної потужності.

Таке застосування поліпшує енергетичні показники системи електроенергоживлення.

Але поряд з тим вимагають додаткової можливості щодо їх функціонування, що реалізується за допомогою спеціальних схемних рішень або застосунків.

Подібні системи характеризуються наявністю регулюючих пристроїв у своєму складі, що забезпечують правильність функціонування обладнання із забезпеченням усіх режимів його роботи.

На сам перед розглядаються пускові пристрої, як апаратура основного критерію що до вибору обладнання.

Подібні системи набувають широкого розповсюдження у наслідок важливості їх застосування.

Розглядають системи, що містять реактивні елементи у своєму складі, що допомагає зменшити піки струмових навантажень при дії потужних електроприймачів та впливають на стабільність джерела живлення.

Але наявність підвищеного індуктивного опору завдає суттєвих завад на протязі усього періоду роботи обладнання, що впливає на погіршення умов ефективного енергоспоживання.

Також можна розглянути пускові агрегати що містять елементи регульованого електроприводу.

Але слід зазначити що це потребує перегляду роботи електромеханічної системи у цілому, хоча й приносить бажаний результат.

Для умов формування ефективних електроенергетичних режимів роботи обладнання в умовах удаленості навантаження від джерела живлення перспективним є застосування автономних систем.

В умовах робочого обладнання екскаватору є цікавою можливістю використання вже встановленого обладнання у якості джерела вирішення проблемних питань.



Так цікавим є задум використовувати один з двигунів електромашинного агрегату з приводним синхронним двигуном у якості допоміжного джерела кінетичної енергії яка реалізує функцію розгону синхронної машини у процесі пуску.

Ця складна для реалізації задача потребує точних розрахунків, але ефект від такого застосування є дуже великим.

Складність та невизначеність первинних функцій у системі диференціальних рівнянь можна узгодити за допомогою емпіричних виразів що отримані під час практики застосування подібних рішень.

Слід зазначити що подібні рішення позитивним чином впливатимуть на процеси енергоспоживання електричної структури екскаватору та забезпечать певні рівні балансу складових споживання електричної енергії.

Такі процеси поліпшать умови експлуатації обладнання автономної електроенергетичної системи в умовах обмеженості джерела живлення за встановленою потужністю.

Звичайно подібні системи потребують ретельного розрахунку та перевірки на практиці схемних рішень щодо усунення дефектів.

Слід зазначити що складність налаштування подібних систем пов'язана із необхідністю використання для розрахунків впливів керування мікропроцесорних засобів.

Що у свою чергу пов'язано з переведенням у цифровий формат сигналів на керуючі пристрої.

В умовах гірничого кар'єрного виробництва цей процес дещо ускладнюється унаслідок удаленості від каналів зв'язку та наявності агресивного середовища навколо.

Тому подібні структури при їх розрахунках та впроваджені мають враховувати ці фактори та потребують додаткового забезпечення спеціальними засобами щодо умов експлуатації.

У цілому налагодження мікропроцесорних систем керування електромеханічними системами дозволяє суттєво поліпшити ефективність використання обладнання екскаватору.

Для визначення впливу на ефективність розробки зовнішніх факторів на останньому етапі впровадження застосовують дослідження представленої системи у робочих умовах.

Подібну функцію може також використовувати й імітаційне моделювання перехідних процесів у діючому обладнанні.

На основі подібних функцій можна зробити висновок щодо ефективності прийнятих рішень щодо поліпшення режимів роботи кар'єрного екскаватору у виробничих умовах.

## Розділ 1. Електромеханічні системи ЕКГ-10.

### 1.1 Загальна характеристика екскаватора ЕКГ-10.

Складна технологічна установка, якою є екскаватор підлягає детальному розгляду щодо визначення параметрів її обладнання, що задовольняють технічним завданням а також умовам експлуатації.

Також слід зазначити що необхідним є визначення умов взаємодії конструктивних елементів у структурі складного технологічного комплексу.

Основними чинниками, що впливають на таку взаємодію є режими роботи кожної з груп технологічного обладнання.

При цьому слід узгоджувати такі режими як у статиці так й у динаміці розглядаємих процесів функціонування подібних складних структур.

Електромеханічні системи потужних виробничих агрегатів покликані забезпечувати ефективні режими роботи технологічних ліній та виконувати складні виробничі завдання.

До таких систем відносяться й великі кар'єрні екскаватори, що забезпечують перевантаження гірської породи за допомогою методу проведення вскришних робіт із подальшим відвантаженням гірської породи корисних копалин.

Динаміку роботи подібного механізму виконують його складові елементи, які забезпечують розподіл функцій у відповідності до їх реалізації.

Екскаватори є складними механізованими засобами, що допомагають у вирішенні питання функціонування систем транспортування корисних копалин.

Такі структури є важливими елементами у роботі гірничо-видобувних компаній, тому є актуальним питання розгляду можливостей щодо

поліпшення ефективності їх роботи у структурі гірничо-видобувного комплексу.

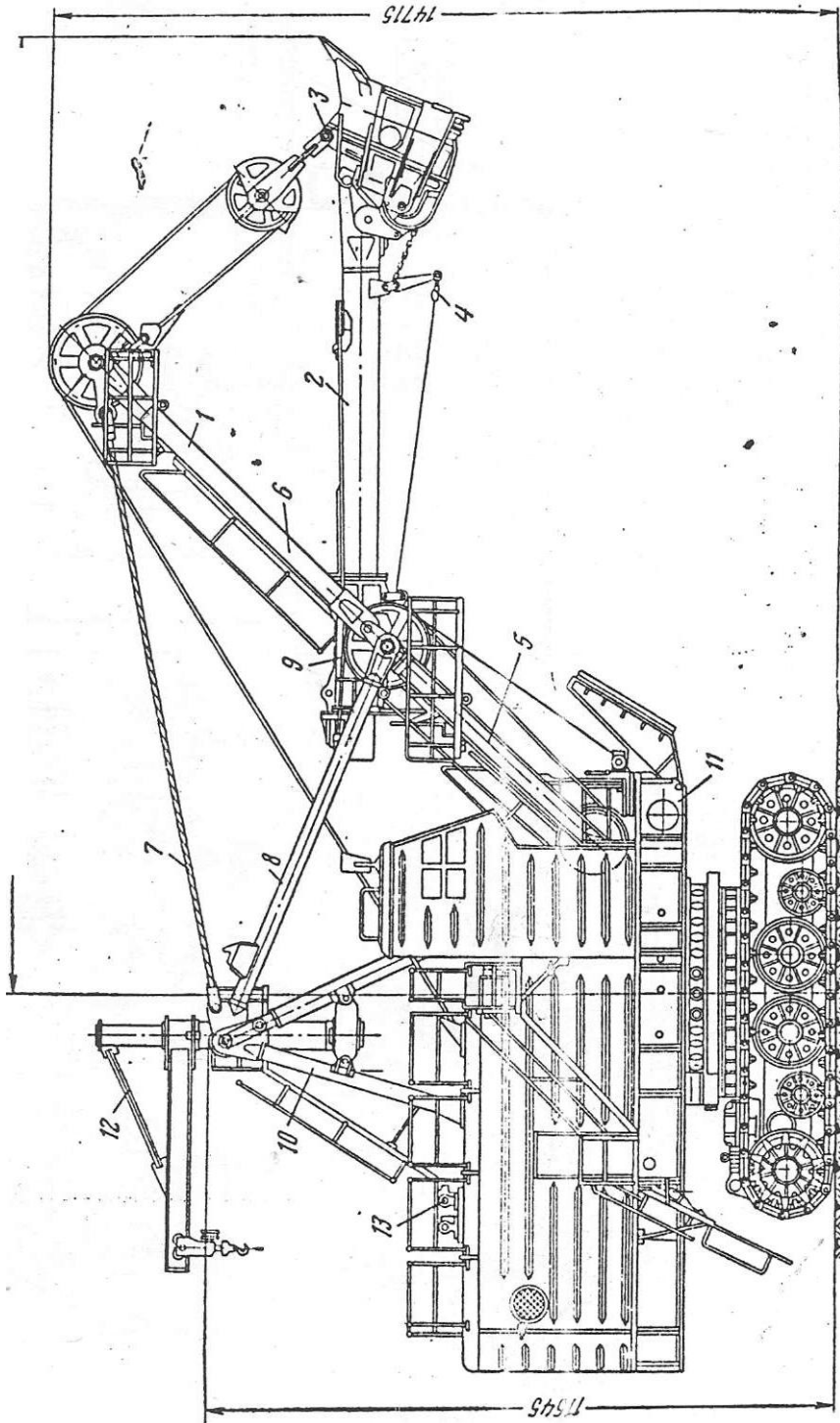


Рис.1.1.1. Загальна характеристика екскаватора ЕКГ-10.

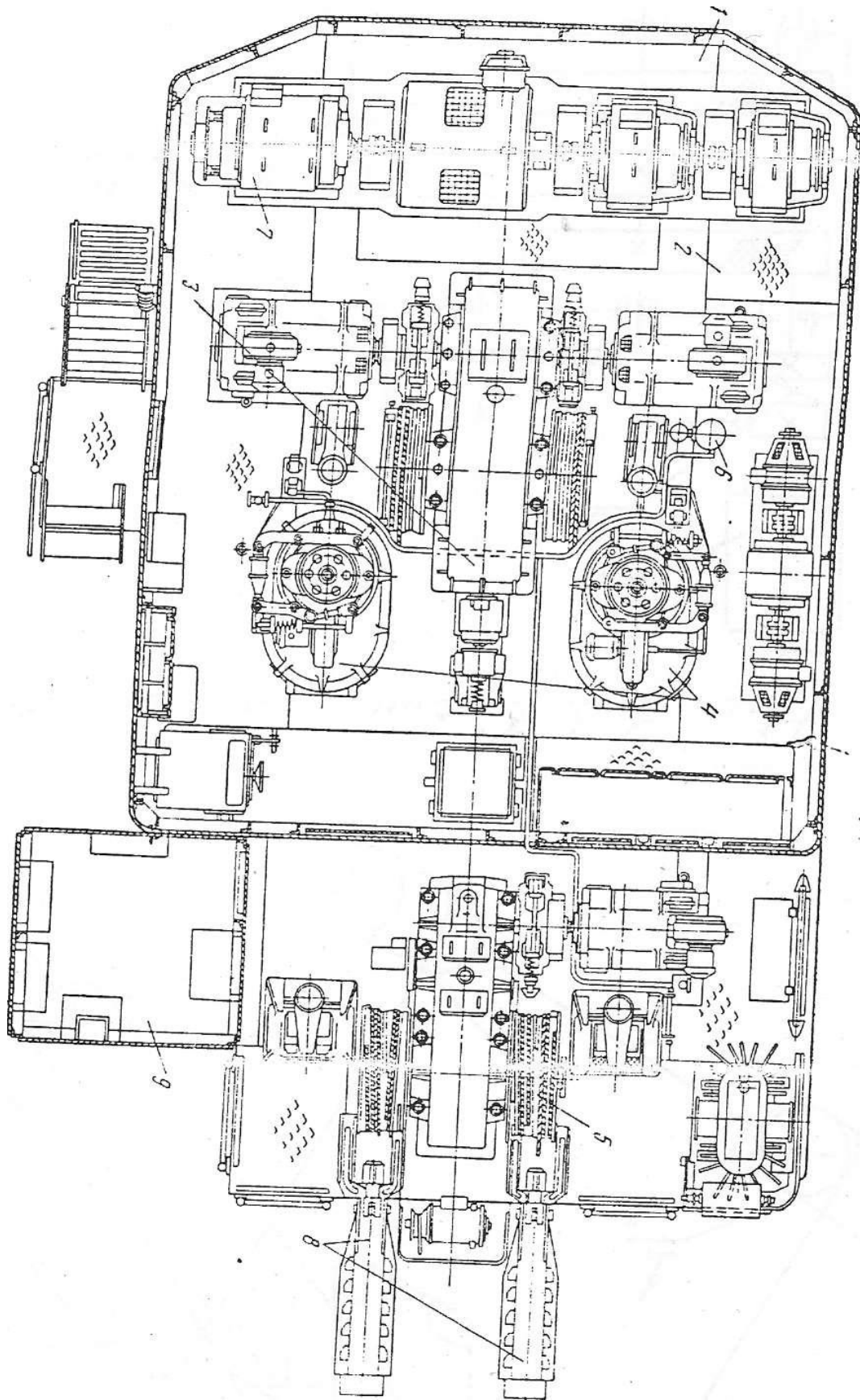


Рис.1.2. Загальна характеристика екскаватора ЕКГ-10.

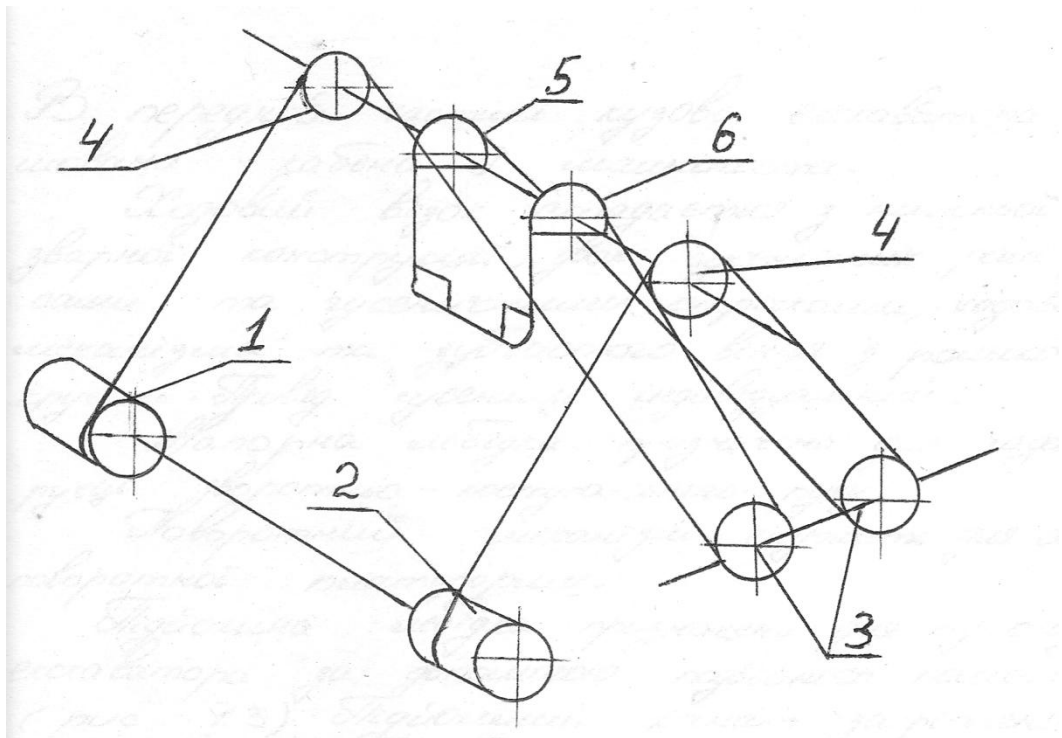


Рис.1.3 Схема механізму підйому.

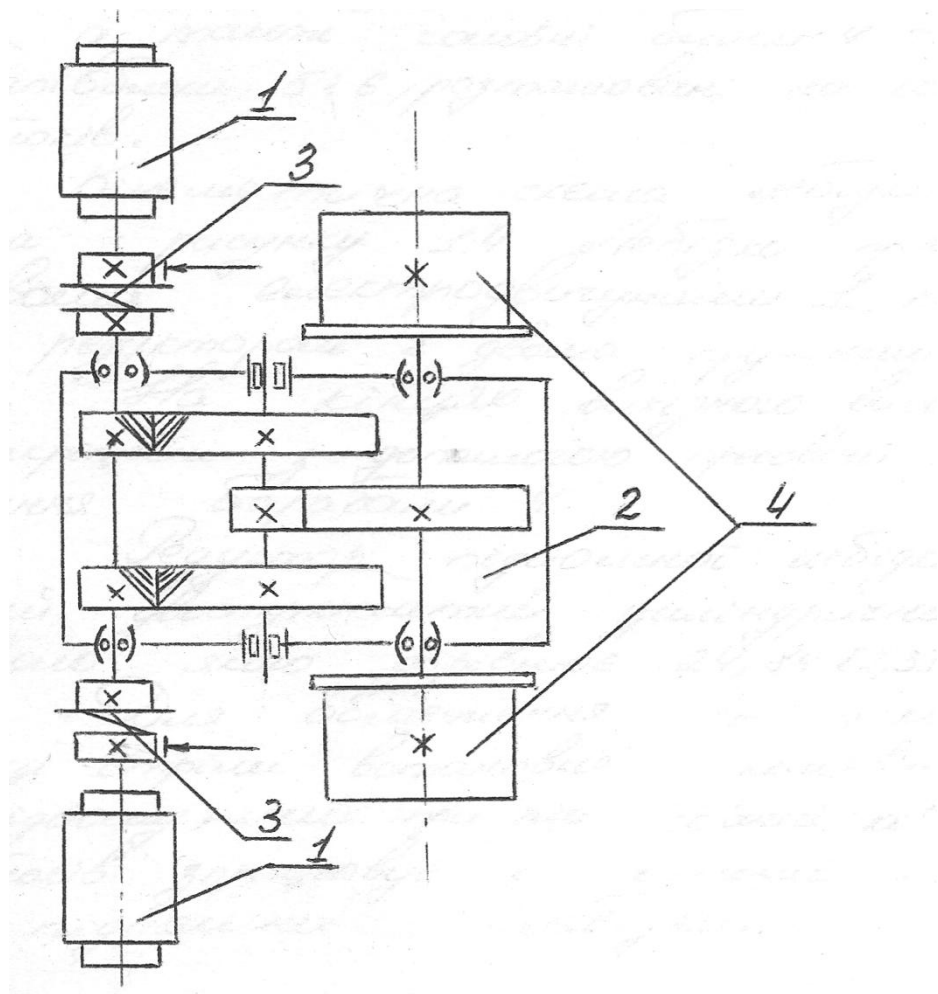


Рис.1.4. Кінематична схема механізму підйому.

## Загальна характеристика екскаватора ЕКГ-10.

1) ємкість ковша, м <sup>3</sup>	10
2) довжина стріли, м	13,35
3) довжина ручки, м	11,51
4) потужність приводного двигуна, кВт	630
5) тривалість робочого циклу, с	26
6) кут нахилу стріли, град	47
7) найбільший радіус копання, м	17,7
8) середній тиск на ґрунт, кг/см <sup>2</sup>	2,03
9) найбільша швидкість пересування по горизонтальній площині ґрунтовій основі, км/год	0,42
10) радіус обертання хвостової частини екскаватора, м	7,26
11) ширина кузова, м	6,51
12) просвіт під поворотною платформою екскаватора, м	2,78
13) найбільша швидкість підйому, м/с	0,94
14) найбільша швидкість набору, м/с	0,61
15) найбільша швидкість обертання поворотної платформи, об/хв	2,78
16) робоча вага, т	337
17) ширина гусеничного ходу, м	1,4
18) хід ручки, м	4,3
19) кут нахилу щільної ґрунтової основи, який може подолати екскаватор, град	12
20) найбільші зусилля	
- на блоці ковша, тс	80
- напору, тс	37
- механізму ходу, тс	180
21) напруга струму, що підводиться, В	6000

Загальна характеристика поворотної платформи.

- 1) головний перетворювальний агрегат;
- 2) електродвигуни підйому типу "ДЕ-816";
- 3) електродвигуни повороту типу "ДЕВ-812";
- 4) електродвигун напору типу "ДЕ-812";
- 5) допоміжні електродвигуни;
- 6) шафи керування тиристорами перетворювачами;
- 7) шафа керування з контакторно-релейною апаратурою;
- 8) шафа керування допоміжними електроприводами;
- 9) кільцевий струмоприймач типу "ТКЕ-1214У2";
- 10) високовольтна шафа типу "2КВЕ-6-200-4";
- 11) двигун відмикання днища ковша типу "ДПМ-21";
- 12) силовий трансформатор типу "ТМЕ-16016";
- 13) командоапарат захисту напірного механізму;
- 14) вимикач положення драбини.

Нижня рама:

- 1) ходові електродвигуни типу "ДПЕ-52";
- 2) електромагніти гальмів ходового механізму;
- 3) ввідні ящик;
- 4) сигнальна кнопка.



### Кабіна машиніста:

а) на нижньому поверсі:

- 1) трансформатори постачання тиристорний перетворювачів типу "ТС16-380/40" та "ТС25-380/150";
- 2) освітлювальний трансформатор типу "ОСЗ-510.5";
- 3) трансформатор переносного освітлення типу "ОСВУ-0.25";
- 4) зварювальний агрегат типу "ПСО-300-2";
- 5) заряджальний пристрій типу "ВСА-5А";
- 6) акумуляторна батарея типу "10 НЕН-80М";
- 7) шафа мотогодинника;
- 8) вентилятор;
- 9) вимикач освітлення;
- 10) вимикач вентилятора;
- 11) світильник.

б) на верхньому поверсі:

- 1) командоапарати підйому-повороту (ходу) типу "SS10" та "SS30" (в одному корпусі) і напору (ходу) типу "SS20";
- 2) пульт керування;
- 3) електроплита типу "ПТ-8-2";
- 4) ящик з приборами;
- 5) сирена;
- 6) вимикаючі драбини;
- 7) розетка;
- 8) світильник;
- 9) електронагрівач типу "ЕТ-100";
- 10) настільний вентилятор;
- 11) регулятор тиску.

Таблиця 1.1 Характеристика синхронного двигуна

Найменування параметрів	Величина
Потужність, кВт	630
Напруга, В	6000
Струм статора, А	72
Частота, Гц	50
Частота обертання, об/хв	1000
Струм ротора, А	270
Напруга збудження, В	36
ККД, %	94,2
Коефіцієнт потужності (cos )	0,9
Кратність пускового моменту	1,5
Кратність вхідного моменту	1,2
Кратність максимального моменту	2
Кратність пускового струму	6,7
З'єднання фаз	зірка

Таблиця 1.2. Характеристика генератору.

Найменування параметрів	«ГПЕ-450-1000»	«2ПЕМ-141-4К-2У2»	«2ПЕМ-2000М»
Потужність, кВт	450	280	118
Напруга, В	600	630	330
Струм, А	750	44	358
Збудження:			
струм, А	29	16,9	20,8
напруга, В	34,4	43	35,4
Кількість полюсів	6	4	4
Опір обмотки:			
компенсаційної	0,0027	0,0135	-
збудження	0,956	2,08	1,37
додаткової	0,00195	0,0061	0,00376
якоря	0,008	0,0355	0,0126
протиікаючої	0,000212	-	-
ККД %	93	92,5	92,5

Таблиця 1.3 Характеристика електродвигунів.

Найменування параметрів	«ДЕ-816»	«ДПЕ-52»	«ДЕ(В)-812»
Потужність, кВт	190	54	100
Частота обертання, об/хв	720	1200	750
Напруга, В	300	395	305
Струм якоря, А	680	150	360
Число полюсів	4	4	4
Струм збудження, А	20,5	11,5	17,2
Опір обмотки:			
якоря	0,0055	0,33	0,014
збудження	3,26	6,3	4,76
додаткової	0,0032	0,021	0,009

## 1.2 Система пуску мережевого двигуна

При роботі групи споживачів важливо погоджувати режими їх роботи відносно інших груп обладнання.

У структурі електромеханічного комплексу екскаватор у важливим є стабільність роботи мережі його живлення.

На цей процес суттєво впливає пусковий режим мережевого двигуна екскаватору.

Не важливо, що при цьому не спостерігається затягування процесу пуску, але все одно є факт прояву негативних наслідків.

Такі прояви слід враховувати результатами досліджень, що проведені під час пуску.

Споживання реактивної потужності при цьому є підвищенням.

Тому спостерігається вплив на значення напруги живлення у загальній точці приєднання споживачів.

Таким чином, не зважаючи на віддаленість об'єкту регулювання спостерігається негативний ефект унаслідок неузгодженості режимів роботи мережі та навантаження.

Зменшити подібні негативні прояви можливо при впровадженні систем плавного або полегшеного пуску.

Важливою ознакою роботи кар'єрного екскаватору є їх автономність щодо виконання технологічних завдань.

Але поряд з тим постає питання розв'язку завдання забезпечення їх надійної роботи, що має бути запорукою виконання безперервної роботи щодо переміщення вантажу видобутої породи.

Також слід зазначити що екскаватор є споживачем великої потужності, крім того таким що знаходиться на віддаленій відстані від джерела електричної енергії.

Тому до процесу споживання електричної енергії в умовах обмеженості джерела приділяється особлива увага.

Окрім того кар'єрні виробітки налічують такі місця знаходження виробничих потреб, що мають забезпечуватись не одним автономним механізмом.

На практиці у режимі одночасної роботи може перебувати до десяти екскаваторів, при цьому кожен з них створює додаткові перешкоди для роботи один одного.

Особливо це має прояв при здійсненні пуску електромашинних агрегатів, що є основними складовими потужності механізмів як споживачів електричної енергії.

При пуску потужного електромашинного агрегату екскаватору, який зазвичай у якості провідного двигуна використовує потужну синхронну машину, відбувається процес підвищеного споживання струму, що має реактивний характер, у наслідок чого відбувається зміна напруги, яка впливатиме на стабільність роботи джерела електричної енергії.



Рисунок 1.5. Системи пуску мережевого двигуна.

### 1.3 Характеристика системи полегшеного пуску мережевого двигуна.

Найбільш ефективними системами для пуску потужних електричних двигунів є системи регульованого електроприводу.

Але такі системи є занадто складними та не завжди є можливість їх застосовувати у наслідок конструктивних особливостей технологічної установки.

Тому більш зручно на практиці використовувати для зменшення негативних проявів у пускових режимах системи що містять елементи таких структур.

Зазвичай при такому застосуванні використовується один з контурів регулювання з контролем та фіксацією одного чи двох показників.

Також можна розглянути пускові агрегати що містять елементи регульованого електроприводу.

Але слід зазначити що це потребує перегляду роботи електромеханічної системи у цілому, хоча й приносить бажаний результат.

Для умов формування ефективних електроенергетичних режимів роботи обладнання в умовах удаленості навантаження від джерела живлення перспективним є застосування автономних систем.

В умовах робочого обладнання екскаватору є цікавою можливістю використання вже встановленого обладнання у якості джерела вирішення проблемних питань.

Так цікавим є задум використовувати один з двигунів електромашинного агрегату з приводним синхронним двигуном у якості допоміжного джерела кінетичної енергії яка реалізує функцію розгону синхронної машини у процесі пуску.



Ця складна для реалізації задача потребує точних розрахунків, але ефект від такого застосування є дуже великим.

#### 1.4 Система полегшеного пуску синхронного двигуна екскаватора.

Технічна документація пускових систем складається у відповідності до розрахунків її обладнання.

При цьому має бути забезпечено запас за перевантажувальною здатністю на період пуску.

Також важливим є автоматичність при виконанні та відтворенні подібних завдань.

Наведемо рівняння у контурах.

$$E = U_m ;$$

$$\omega = \omega_0 ;$$

$$\varphi = 0 ;$$

де  $E$  - ЕРС;

$U_m$  - напруга;

$\omega, \omega_0$  - частота синхронного двигуна;

$\varphi$  - кут зсуву.

Схема зображена на рисунку 1.6.

У схемі:

TV1 - трансформатор;

SF1-SF4 - лінійні контакти;

QF1 - вимикач;

M1, LM1 - генератор;

M2 – синхронний двигун;

UZ1-UZ3 - випрямляч;

UA1-UA3 - датчики струму;

UV1-UV3 - датчики напруги.

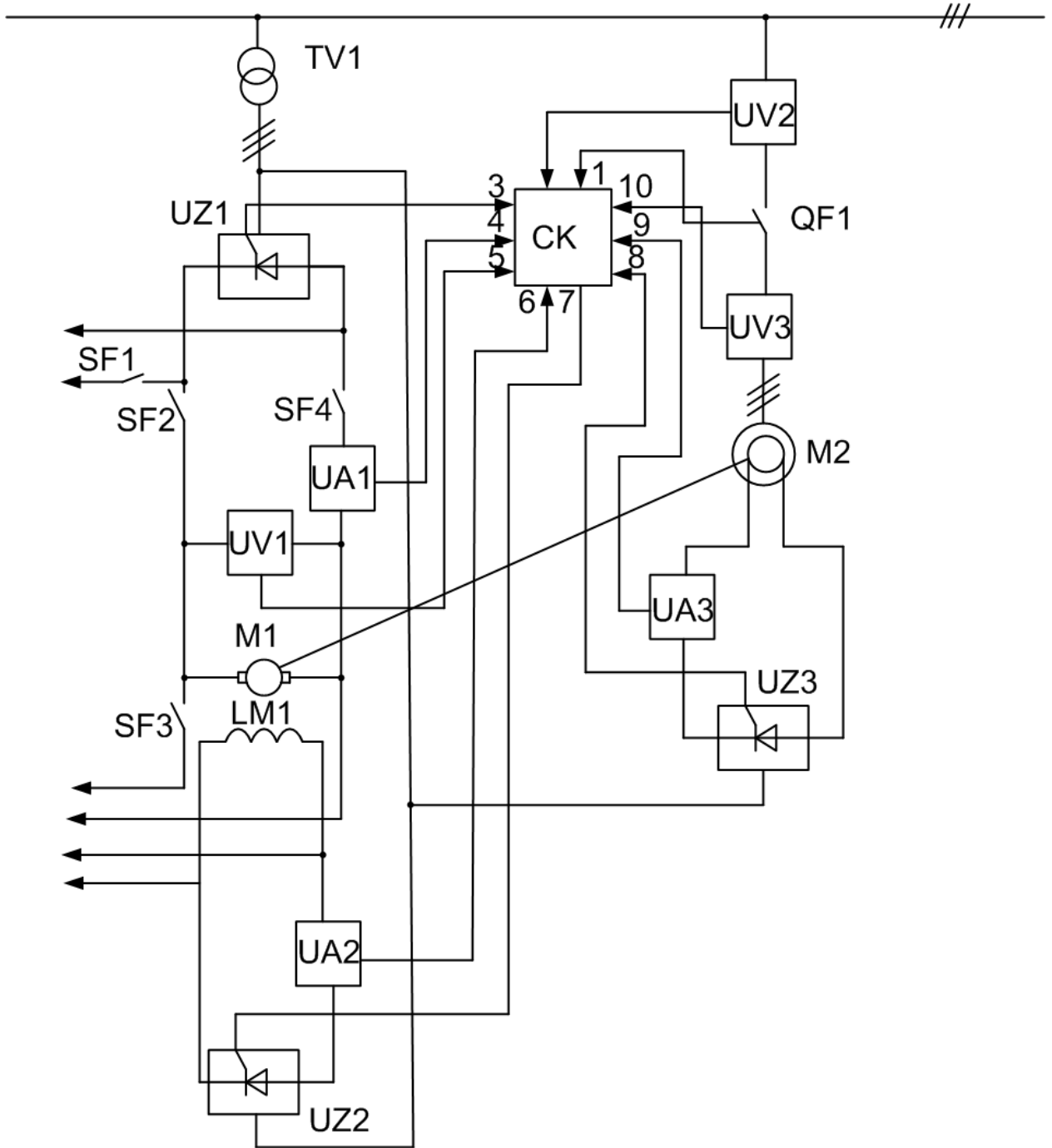


Рис.1.6. Система полегшеного пуску синхронного двигуна екскаватора.

## РОЗДІЛ 2. ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНИЙ АГРЕГАТ.

### 2.1 Основні конструктивні елементи перетворювального агрегату.

У якості пускового пристрою зручно використовувати керований перетворювач.

При цьому структуру такого перетворювача мають складати повністю або напівкеровані елементи.

Рівняння напруги:

$$U_{2,\text{ф розр.}} = \frac{K_U}{z} K_z \cdot K_2 \cdot K_R \cdot U_{LN} \quad (2.1)$$

де  $K_U$  - коефіцієнт за напругою;

$K_z$  - коефіцієнт запасу за напругою;

$K_L$  - коефіцієнт запасу за провідністю;

$K_R$  - коефіцієнт запасу за навантаженням.

$U_{LN}$  - напруга двигуна.

Рівняння струму:

$$I_{2,\text{ф розр.}} = \frac{K_{I2}}{z} K_i \cdot I_{LN} \quad (2.2)$$

де  $K_{I2}$  - коефіцієнт за струмом;

$K_i$  - коефіцієнт за формою;

$I_{LN}$  - номінальний струм.

Струми ротору:

$$I_{1.\text{ф розр.}} = \frac{K_{I1}}{z} \cdot \frac{1}{K_{U1}} \quad (2.3)$$

де  $K_{I1}$  - коефіцієнт за струмом;

$K_{U1}$  - коефіцієнт за напругою.

$$K_{U1} = \frac{U_{1\dot{\phi}}}{U_{2.\text{ф розр.}}} \quad (2.4)$$

де  $U_{1\dot{\phi}}$  - напруга.

Потужність трансформатору:

$$S_{\text{тр}} = \frac{K_s}{z} K_s \cdot K_R \cdot K_i \cdot U_{LH} \cdot I_{LH} \quad (2.5)$$

де  $K_s$  - коефіцієнт за потужністю.

Оберемо трансформатор:

$$S_H \geq S_{\text{тр}} ;$$

$$U_{2.\text{ф.}} \geq U_{2.\text{ф розр.}} ;$$

$$I_{2.\text{ф.}} \geq I_{2.\text{ф розр.}} ;$$

$$I_{1.\text{ф.}} \geq I_{1.\text{ф розр.}} ;$$

(2.6)

Перевіримо перетворювач:

$$I_{v.cep.} = K_{zi} \cdot \frac{I_{a.1}}{K_{11} \cdot m_2 \cdot a} \quad (2.7)$$

де  $K_{zi}$  - коефіцієнт за струмом;

$K_o$  - коефіцієнт;

$m_2$  - число фаз;

$a$  - число паралельних гілок.

Потужність у контурі збудження:

$$P = U_o I_c + r_d K_{\phi}^2 I_r^2 \quad (2.8)$$

де  $U_o$  - напруга вентилів;

$r_d$  - опір вентилів;

$K_{\phi}^2$  - коефіцієнт за струмом.

Час перехідного процесу:

$$\Delta T(t_1)(t_2) = P_1 \cdot Z_m(t_1) \quad (2.9)$$

Тоді:

$$\Delta T(t_1 + t_2) = P_1 \cdot Z_m(t_2) + (P_1 + P_2) \cdot Z_m(t_1 + t_2) \quad (2.10)$$

Отже:

$$T_{ст} = \Delta T + T_K \quad (2.11)$$

Складемо рівняння:

$$T_{ст} = T_{ст.мах.} \quad (2.12)$$

Тоді відшукувана індуктивність:

$$L_{д.необх.} = \frac{K_{п1} U_{дл.}}{m \omega_M J_{дл.}} \quad (2.13)$$

де  $K_{п1}$  - коефіцієнт пульсацій;

$m$  - коефіцієнт фаз;

$\omega_M$  - частота.

Частота контуру:

$$\omega_M = 2\pi f_M \quad (2.14)$$

де  $f_M = 50$  Гц - частота.

Тоді:

$$L_{дв} = K \frac{30 U_{л}}{\pi J_{н} n_{н} p} \quad (2.15)$$

де  $K$  - коефіцієнт;

$n_{н}, p$  - номінальні параметри

Отже:

$$L_{тр} = \frac{U_{к\%} U_{2ф.н.}}{100 \omega_c I_{2ф.н.}} \quad (2.16)$$

де  $U_{к\%}$  - напруга;

$U_{2ф.н.}, I_{2ф.н.}$  - номінальні параметри.

Сумарна індуктивність:

$$L_{др.розр.} = L_{д.необх.} - (L_{дв} + L_{тр}) \quad (2.17)$$

Складемо рівняння:

$$L_{др.} ? L_{др.розр.}$$



## 2.2. Вибір перетворювального агрегату.

З позиції впливу на стійкість системи слід розглядати рівняння у контурі моменту електричної машини.

Такий підхід забезпечить механічну стійкість не тільки у статичних але й у динамічних режимах роботи.

Рівняння у контурі моменту:

$$M_0 = M_r + M_v + M_Q + M_m \quad (2.18)$$

де  $M_r, M_v, M_Q, M_m$  - моменти рушання, в'язкості, тертя, статичного навантаження.

Тоді:

$$M_r = nEV^{\frac{2}{3}} (1+\varphi)^{-1} \quad (2.19)$$

де  $n$  - кількість;

$E$  - коефіцієнт;

$V$  - в'язкість;

$\varphi$  - кут оберту.

Статичне навантаження:

$$\lg V = (L_1\omega - \beta_1)t^{\alpha} + (-L_2\omega + \beta_2), \quad (2.20)$$

де  $L_1, L_2, \beta_1, \beta_2$  - коефіцієнти;  
 $t^\circ$  - температура.

Або

$$V = 10^{\lg v} \quad (2.21)$$

Складемо рівняння рівноваги для контуру моменту:

$$M_{\text{дв}} - M_0 = J \Sigma \frac{\Delta \omega}{\Delta t} ; \quad (2.22)$$

де  $M_{\text{дв}}$  - момент;  
 $\Delta t$  - час;  
 $\Delta \omega$  - швидкість,

Розрахуємо складові:

$$\Delta \omega = \omega_c = \frac{\pi n_c}{30} ; \quad (2.23)$$

де  $\omega_c$  - синхронна частота;  
 $n_c$  - частота обертання,

або

$$\Delta \omega = \omega_c = \frac{\pi 1000}{30} (\text{C}^{-1}) = 104,72 \text{ C}^{-1}$$

Тоді статичне навантаження:

$$M_0 = M_T = nE \cdot l^{\frac{2}{3}} \quad (2.24)$$

Отримаємо:

$$\lg V = 0,02334 \cdot 20 + 3,24165 = 3,71,$$

$$V = 103,71 = 51,29 \text{ (Ст)}.$$

Розраховане навантаження:

$$M_0 = M_T = 8 \cdot 15,98 \cdot 51,29^{\frac{2}{3}} \text{ (Нм)} = 1764,77 \text{ Нм}.$$

Тоді момент інерції:

$$J_{\Sigma} = J_{\text{сц}} + 3J_T,$$

де  $J_{\text{сц}}$  - момент інерції;

$J_T$  - момент інерції:

$$J_{\Sigma} = 46 + 3 \cdot 40 \text{ (кгм}^2\text{)} = 166 \text{ кгм}^2$$

А отже момент у контурі:

$$M_{\text{дв.т.}} = M_0 + J_{\Sigma} \frac{\Delta \omega}{\Delta t} = 1764,77 + 166 \frac{104,72}{60} \text{ (Нм)} = 2054,5 \text{ Нм}.$$

Струм:

$$I = \frac{M_{дв.г.}}{K\Phi_{г.н.}} ; \quad (2.26)$$

де  $K\Phi_{г.н.}$  - коефіцієнт потоку;

$$K\Phi_{г.н.} = \frac{U_{г.п.} - I_{г.п.} R_{я\Sigma}}{\omega_{г.н.}} ; \quad (2.27)$$

де  $U_{г.п.}, I_{г.п.}$  - номінальні параметри;

$\omega_{г.н.}$  - кутова частота;

$R_{я\Sigma}$  - активний опір,

$$R_{я\Sigma} = \beta_m (R_{я} + R_{ц.п.}) , \quad (2.28)$$

де  $R_{я}, R_{ц.п.}$  - активний опір;

$\beta_m$  - коефіцієнт зміни опорів,

$$\beta_m = 1 + 0,004 \cdot \Delta t^\circ ; \quad (2.29)$$

де  $\Delta t^\circ$  - температура.

Представимо розрахунки:

Нехай  $\Delta t^\circ = 50^\circ\text{C}$  , тоді:

$$\beta_m = 1 + 0,004 \cdot 50 = 1,2 ;$$

$$R_{\Sigma} = 1,2 (0,0126 + 0,00376) (\text{Ом}) = 1,96 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$$

$$K\Phi_{г.к.} = 330 - 358 \cdot 1,96 \cdot 10^{-2} / 104,72 (\text{Вс}) = 3,08 \text{ Вc}$$

$$I_r = \frac{2054,5}{3,08} (\text{А}) = 667,05 \text{ А}$$

Час перехідного процесу:

$$t_r = \sqrt{\left| \frac{Lr}{\omega c} \cdot \left[ \frac{M_{г.к.}}{|\Sigma \frac{P_{г.к.}}{\omega \cdot n.} + 0,05 M_{г.к.}} - 1 \right| \right|} , \quad (2.30)$$

де  $M_{г.к.}$  - номінальний момент,

$$M_{г.к.} = \frac{P_{г.к.}}{\omega \cdot n.} ; \quad (2.31)$$

де  $P_{г.к.}$  - потужність.

Тоді:

$$M_{г.к.} = \frac{118000}{104,72} (\text{Нм}) = 1126,81 \text{ Нм}$$

$$t_r = \sqrt{\left| \frac{60}{104,72} \cdot \left[ \frac{1764,77}{166 \frac{104,72}{60} + 0,05 \cdot 1126,81} - 1 \right| \right|} = 1,53 \text{ с}$$

у контурі потужності:

$$P_{дж.} = P_{дин.} + \Delta P, \quad (2.32)$$

де  $P_{дин.}$  - потужність;

$\Delta P$  - втрати потужності.

Отримаємо:

$$P_{дин.} = \omega_c \left( J_{\Sigma} \frac{\omega_c}{t^2} + 0,05 \cdot M_{г.н.} \right) \quad (2.33)$$

$$\Delta P = I_{\alpha}^2 R_{я\Sigma}, \quad (2.34)$$

Отже:

$$I_{н}^2 R_{я\Sigma} - I_{я} U_{г.н.} + \omega_c \left( J_{\Sigma} \frac{\omega_c}{t^2} + 0,05 M_{г.н.} \right) = 0,$$

Струм:

$$I_{я\min} = \frac{U_{г.н.} - \gamma D}{2R_{я\Sigma}}; \quad (2.35)$$

де  $D$  - дискримінант,

$$D = U_{г.н.}^2 - 4R_{я\Sigma} \omega_c \left( J_{\Sigma} \omega_c / t^2 + 0,05 M_{г.н.} \right) \quad (2.36)$$

Тоді:

$$D = 330^2 - 4 \cdot 1,96 \cdot 10^{-2} \cdot 104,72 \left( 166 \frac{104,72}{58,47} + 0,05 \cdot 1126,81 \right) (\text{В}^2) = 105996,54 \text{ В}^2$$

$$I_{\text{я.мін.}} = \frac{330 - \sqrt{105996,54}}{2 \cdot 1,96 \cdot 10^{-2}} (\text{А}) = 112,98 \text{ А}$$

Для схеми випрямлення:

$$U_{2\text{ф.розр.}} = \frac{\pi}{3 \sqrt{6}} \cdot 1,05^3 \cdot 330 (\text{В}) = 81,66 \text{ В}$$

Струм:

$$I_{2\text{ф.розр.}} = \frac{0,82}{2} \cdot 1,075 \cdot 112,98 (\text{А}) = 49,8 \text{ А}$$

Коефіцієнт трансформації:

$$K_{\text{тр}} = \frac{380}{81,66 \cdot \sqrt{3}} = 2,69$$

$$I_{1\text{ф.розр.}} = \frac{0,82}{2} \cdot \frac{1}{2,69} \cdot 112,98 (\text{А}) = 17,22 \text{ А}$$

Отже потужність:

$$S_{\text{тр}} = \frac{1,05^3}{2} 1,075 \cdot 330 \cdot 112,98 \text{ (A)} = 23198,6 \text{ ВА}$$

Запишемо параметри трансформатору:

$$I_{\text{всер}} = 2,25 \cdot 112,98 / 0,35 \cdot 3 \cdot 1 \text{ (A)} = 242,1 \text{ A}$$

$$I_{\text{V}} = 0,58 \cdot 112,98 \text{ (A)} = 65,53 \text{ A} ;$$

$$I_{\text{V.ТЗВ.}} = 2,44 \cdot 81,66 \text{ (В)} = 199,25 \text{ В} ;$$

Представимо зазначені розрахунки у додатку.

$$P_{\text{r}} = P_1 = 1 \cdot 667,05 + 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73 \cdot 667,05^2 \text{ (Вт)} = 1665,83 \text{ Вт} ;$$

для діоду:

$$P_{\text{r}} = P_1 = 1,05 \cdot 667,05 + 0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2 \cdot 667,05^2 \text{ (Вт)} = 1898,94 \text{ Вт}$$

для тиристору:

$$P_2 = 1 \cdot 112,98 + 0,75 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2 \cdot 112,98^2 \text{ (Вт)} = 141,63 \text{ Вт}$$

для діоду:

$$P_2 = 1,05 \cdot 112,98 + 0,9 \cdot 10^{-3} \cdot 1,73^2 \cdot 112,98^2 \text{ (Вт)} = 153,01 \text{ Вт}$$

$$\Delta T(t_1) = 1665,83 \cdot 0,025 \text{ (}^\circ\text{C)} = 41,65 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ст}} = 41,65 - 20 \text{ (}^\circ\text{C)} = 21,65 \text{ }^\circ\text{C}$$

для діоду  $Z_m(t_1) = 0,041 \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт}$  , тоді

$$\Delta T(t_1) = 1898,94 \cdot 0,041 \text{ (}^\circ\text{C)} = 77,86 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$T_{\text{ст}} = 77,86 - 20 \text{ (}^\circ\text{C)} = 57,86 \text{ }^\circ\text{C}$$

За час пуску:

для тиристору  $Z_m(t_2) = 0,018 \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт}$  , тоді,  $(Z_m(t_1 + t_2) = 0,19 \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт})$  :

$$\Delta T(t_1 + t_2) = -1665,83 \cdot 0,18 + (1665,83 + 141,63) \cdot 0,19 \text{ (}^\circ\text{C)} = 43,57 \text{ }^\circ\text{C} ,$$

$$T_{\text{ст}}(t_1 + t_2) = 43,57 - 20 \text{ (}^\circ\text{C)} = 23,57 \text{ }^\circ\text{C} ;$$

для діоду  $Z_m(t_2) = 0,012 \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт}$ ,  $Z_m(t_1 + t_2) = 0,125 \text{ }^\circ\text{C} / \text{Вт}$  , тоді



$$\Delta T(t_1+t_2) = -1898,94 \cdot 0,12 + (1898,94 + 153,01) \cdot 0,125(^{\circ}\text{C}) = 28,62^{\circ}\text{C} ,$$

$$T_{\text{ст}}(t_1 + t_2) = 28,62 - 20(^{\circ}\text{C}) = 8,62^{\circ}\text{C} ;$$

Згідно (2.13):

$$\omega_{\text{ж}} = 2\pi \cdot 50 \text{ (Гц)} = 314,16 \text{ Гц} ;$$

$$L_{\text{д.необ.}} = \frac{0,057 \cdot 330}{6 \cdot 314,16 \cdot 667,05} \text{ (Гн)} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ Гн}$$

Згідно (2.15):

$$L_{\text{дв.}} = 0,6 \frac{30 \cdot 330}{\pi \cdot 358 \cdot 1000 \cdot 2} \text{ (Гн)} = 2,64 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Таблиця 2.1 Трансформатор.

Найменування параметрів	Величин
Номінальні:	
потужність $S_{\text{н}}$ , кВА	25
напруга на первинній обмотці $U_{\text{в.н}}$ , В	380
напруга на низьковольтні обмотці $U_{\text{н.н}}$ , В	150
струму в первинній обмотці $I_{1\text{н}}$ , А	65,8
струму низьковольтні обмотці $I_{2\text{н}}$ , А	166,7
Втрати холостого ходу $\Delta P_{\text{х.х.}}$ , Вт	650
Втрати короткого замикання $\Delta P_{\text{к.з.}}$ , Вт	2650
Напруга короткого замикання $U_{\text{к.з.}}$ , %	4,5
Струм холостого ходу $I_{\text{х.х.}}$ , %	3,85

Таблиця 2.2 Тиристори та діоди.

Найменування параметрів	Величина	
Максимальна температура навколишнього середовища $T_{н.мах.}$ , °C	+125	+55
Максимальна температура напівпровідникової структури, $T_{ст.мах.}$ , °C	+125	+150
Середнє значення струму $I_{сер.}$ , А	500	500
Діюче значення струму $I_{д.}$ , А	800	900
Максимальне значення зворотної напруги $U_{мах.зв.}$ , В	1200	1200
Значення порогової напруги $U_0$ , В	1	1,05
Значення динамічного опору $r_{д.}$ , МОм	0,75	0,9
Значення ударного струму $I_{уд.}$ , КА	11	7,5

## РОЗДІЛ 3. ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЕГШЕНОГО ПУСКУ.

### 3.1 Основні параметри силової частини.

Розглянемо контури керування у структурі керованого перетворювача.

Силові елементи мають забезпечувати рівномірний розподіл параметрів електричної енергії від джерела до споживача.

Також слід зазначити що синхронні двигуни при живленні їх від джерела обмеженої потужності негативно впливатимуть на джерело.

Тому подібні структури необхідно забезпечувати системами стабілізації параметрів джерела електричної енергії із можливістю усунення негативних наслідків щодо їх роботи та забезпеченням можливості ними поліпшувати рівняння енергетичного балансу у системі електроенергоживлення.

За допомогою систем що містять синхронні двигуни важливим є можливість використання їх у якості компенсаторів реактивної потужності.

Таке застосування поліпшує енергетичні показники системи електроенергоживлення.

Але поряд з тим вимагають додаткової можливості щодо їх функціонування, що реалізується за допомогою спеціальних схемних рішень або застосунків.

Подібні системи характеризуються наявністю регулюючих пристроїв у своєму складі, що забезпечують правильність функціонування обладнання із забезпеченням усіх режимів його роботи.

На сам перед розглядаються пускові пристрої, як апаратура основного критерію що до вибору обладнання.

Подібні системи набувають широкого розповсюдження у наслідок важливості їх застосування.

Розглядають системи, що містять реактивні елементи у своєму складі, що допомагає зменшити піки струмових навантажень при дії потужних електроприймачів та впливають на стабільність джерела живлення.

Але наявність підвищеного індуктивного опору завдає суттєвих завад на протязі усього періоду роботи обладнання, що впливає на погіршення умов ефективного енергоспоживання.

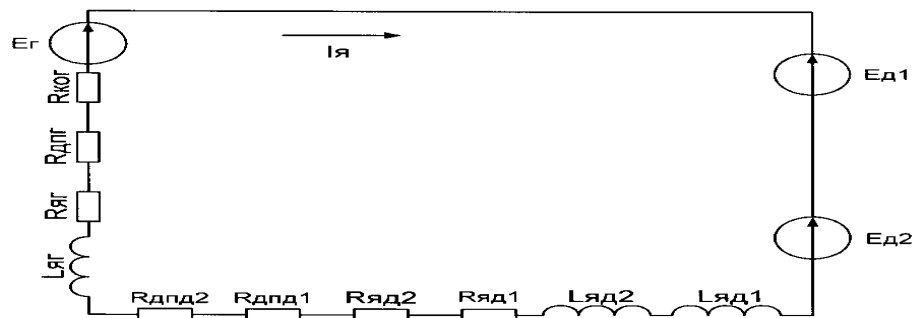


Рис.3.1. Схеми заміщення.

Розрахуємо контур опорів:

$$R_{\Sigma} = (2R_{ф.тр.} + R_{уп.} + R_{д.п.} + R_{я}) \beta_{тн} \quad (3.1)$$

де  $R_{ф.тр.}$  - активний опір;

$R_{уп.}$  - опір комутації.

$$R_{ф.тр.} = \frac{\Delta P_{к.з.}}{3I_{2ф.н.}^2}; \quad (3.2)$$

де  $I_{2ф.н.}$  - номінальний струм.

$$R_{\gamma n} = \frac{m X_{\text{тр.}}}{2\pi} ; \quad (3.3)$$

де  $X_{\text{тр.}}$  - індуктивний опір:

$$X_{\text{тр.}} = \frac{U_{\text{к\%}} \cdot U_{2\text{ф.н.}}}{100 \cdot I_{2\text{ф.н.}}} = \frac{4,5 \cdot 150}{100 \cdot 166,7} \text{ (Ом)} = 0,04 \text{ Ом}$$

тоді:

$$R_{\text{ф.тр.}} = \frac{6 \cdot 0,04}{2\pi} \text{ (Ом)} = 0,038 \text{ Ом}$$

$$R_{\text{ф.тр.}} = \frac{26,50}{3 \cdot 166,72} \text{ (Ом)} = 3,18 \cdot 10^{-2} \text{ Ом}$$

$$R_{\Sigma} = 1,2 (2 \cdot 3,18 \cdot 10^{-2} + 0,038 + 0,00376 + 0,0126) \text{ (Ом)} = 0,140 \text{ м}$$

Тоді контур ЕРС:

$$E_{\text{г.н.}} = K\Phi_{\text{г.н.}} \cdot \omega_{\text{г.н.}} \quad (3.5)$$

$$E_{\text{г.н.}} = 3,08 \cdot 104,72 \text{ (В)} = 322,54 \text{ В}$$

Для контуру напруги:

$$U_{\text{д.мах}} = \frac{1}{K_{11}} \cdot U_{2\text{ф.н.}} (1 + \cos L_{\text{min}}) \quad (3.6)$$

$$U_{\text{д.мах}} = \frac{3 \sqrt{6}}{\pi} \cdot \frac{150}{\sqrt{3}} (1 + \cos 17^\circ) \text{ (В)} = 396,29 \text{ В}$$

Отже:

$$U_d = \frac{1}{\kappa_u} \cdot U_{2\phi.n.} (1 + \cos L) \quad (3.7)$$

Тоді:

$$L_n = \arccos \left( \frac{U_{г.н.кu}}{U_{2\phi.n.}} - 1 \right) = \arccos \left( \frac{330 \cdot \pi \cdot \sqrt{3}}{3\sqrt{6} \cdot 150} - 1 \right) = 51,02^\circ$$

### 3.2 Статичні характеристики.

До статичних характеристик слід звертатись при розрахунку навантажень у системі електроприводу.

Для контуру швидкості:

$$\omega = \frac{U_{2\text{ф.н.}}(1 + \cos L_i)}{K_u \cdot K_{\Phi i}} - \frac{I_{\text{н}} \cdot R_{\Sigma}}{K_{\Phi i}} = \frac{150 \cdot 3\sqrt{6}(1 + \cos L_i)}{\pi \sqrt{3} \cdot K_{\Phi i}} - \frac{0,14 \cdot I_{\text{н}}}{K_{\Phi i}} =$$

$$\frac{202,57(1 + \cos L_i)}{K_{\Phi i}} - \frac{0,14 I_{\text{н}}}{K_{\Phi i}} \quad (3.8)$$

Запишемо:

$$\omega_{\text{н}} = \frac{202,57(1 + \cos L_i)}{K_{\Phi i}} - \frac{0,14 \cdot I_{\text{н}}}{K_{\Phi i 2}} \quad (3.9)$$

Таблиця 3.1 Швидкісні та механічні характеристики системи полегшеного пуску у статистиці.

№ п.п.	$L_i, ^\circ$	$K\Phi_i$	$I_{ж}, A$	$M_i, Нм$	$\omega_{нi}, c^{-1}$
1	160	3,08	0 60	0 184,8	3,97 1,12
2	140		0 300	0 924	15,84 2,01
3	120		0 600	0 1848	32,74 6,42
4	100		0 600	0 1848	54,21 27,13
5	80		0 600	0 1848	77,32 49,98
6	60		0 600	0 1848	99,05 71,63
7	51,02		0 600	0 1848	107,17 80,03
8	40		0 600	0 1848	116,28 88,93
9	20		0 600	0 1848	127,42 100,31
10	17		0 600	0 1848	128,76 101,46
11	17	2,77	0 600	0 1848	142,61 112,86
12		2,46	0 600	0 1848	160,9 126,74
13		2,16	200 600	616 1848	170,96 144,81



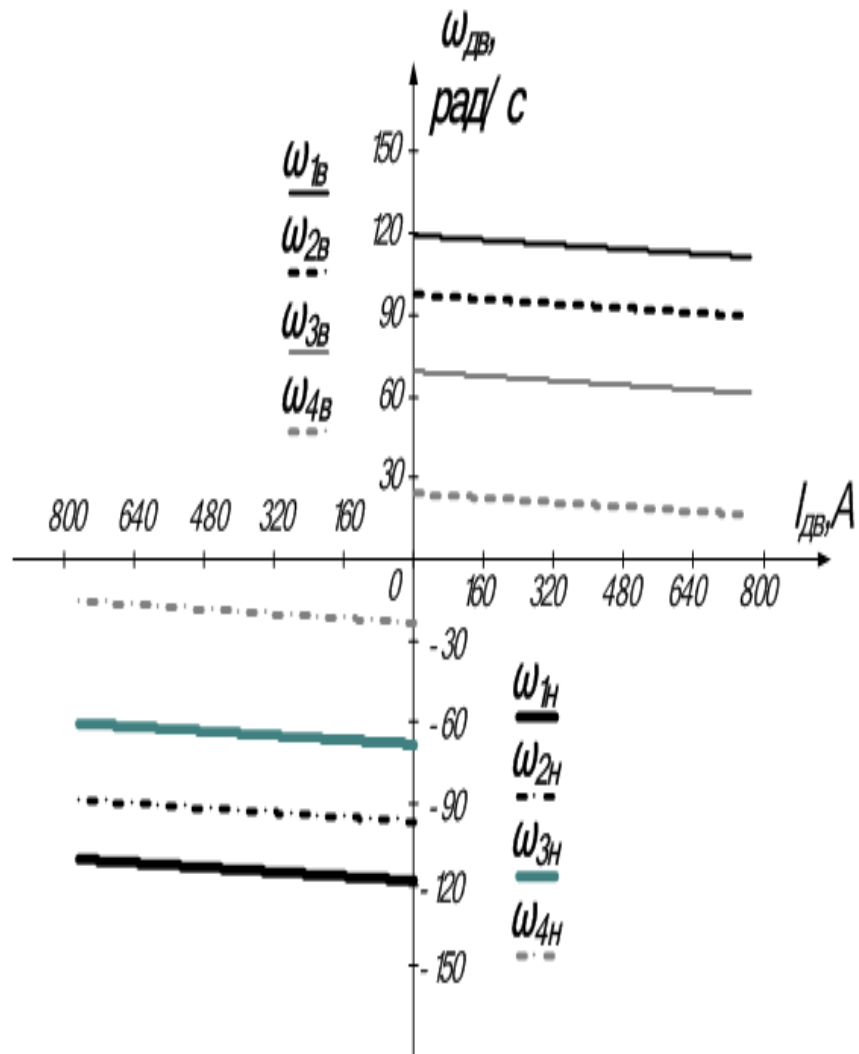


Рис.3.2. Статичні характеристики.

## РОЗДІЛ 4. МІКРОПРОЦЕСОРНА СИСТЕМИ ПОЛЕГШЕНОГО ПУСКУ.

### 4.1. Замкнена система керування.

Слід зазначити що складність налаштування подібних систем пов'язана із необхідністю використання для розрахунків впливів керування мікропроцесорних засобів.

Що у свою чергу пов'язано з переведенням у цифровий формат сигналів на керуючі пристрої.

В умовах гірничого кар'єрного виробництва цей процес дещо ускладнюється унаслідок удаленості від каналів зв'язку та наявності агресивного середовища навколо.

Тому подібні структури при їх розрахунках та впроваджені мають враховувати ці фактори та потребують додаткового забезпечення спеціальними засобами щодо умов експлуатації.

У цілому налагодження мікропроцесорних систем керування електромеханічними системами дозволяє суттєво поліпшити ефективність використання обладнання екскаватору.

Визначимо похибку:

$$\delta = \Delta\omega_c / \omega_0 \frac{\Delta\omega_c}{\omega_0} \quad (4.1)$$

де  $\Delta\omega_c$  - статична похибка;

$\omega_0$  - швидкість.

Розрахуємо:

$$\Delta\omega_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{г.п.}} \cdot R_{\Sigma}}{K_{\Phi_{\text{г.п.}}}} \quad (4.2)$$

$$\Delta\omega_{\text{ср}} = \frac{358 \cdot 0,14}{3,08} (\text{с}^{-1}) = 16,27 \text{ с}^{-1}$$

$$\omega_{0\text{р}} = \frac{U_{\text{г.п.}}}{K_{\Phi_{\text{г.п.}}}} \quad (4.3)$$

$$\omega_{0\text{р}} = \frac{330}{3,08} (\text{с}^{-1}) = 107,14 \text{ с}^{-1}$$

Тоді  $\delta = \frac{16,27}{107,14} = 0,15$

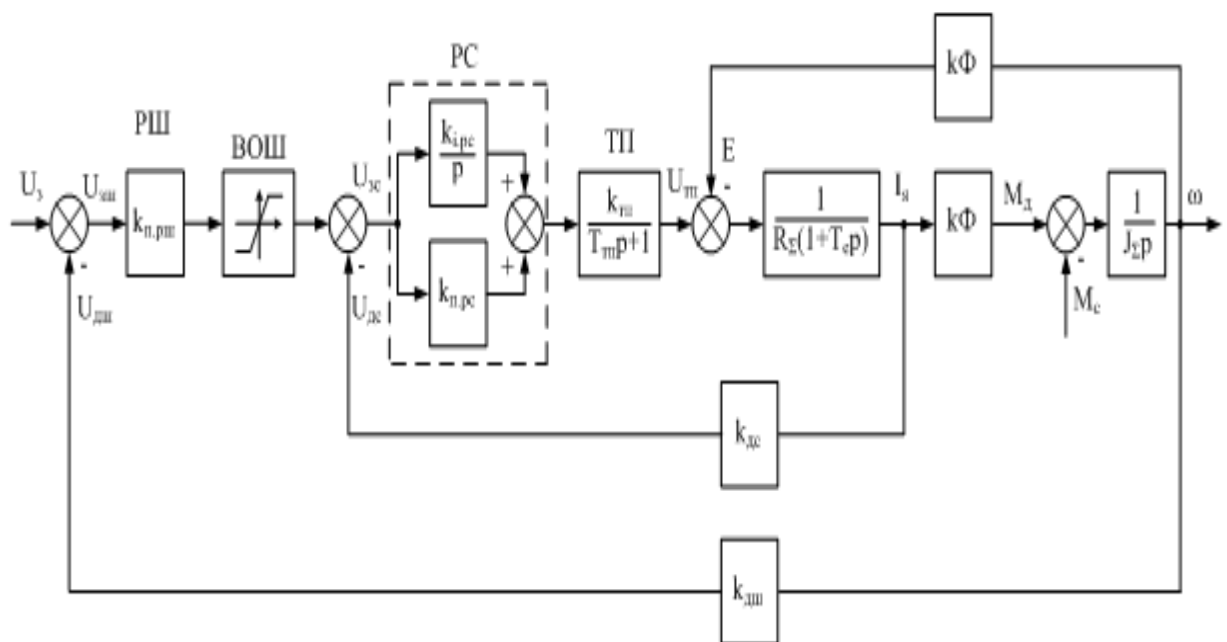


Рис.4.1. Замкнена система керування.

Передатна функція складатиме:

$$W_{zi(p)} = \frac{U_{z.c.}(p)}{U_{z.}(p)} = \frac{K_1 K_2}{K_1 p + 1} \quad (4.4)$$

де  $K_1, K_2$  - коефіцієнти, що характеризують час пуску,

$$K_2 = \frac{1}{K_1}, \quad (4.5)$$

$$K_1 = (3 - 4) \frac{1}{t_n}, \quad (4.6)$$

Або

$$K_1 = \frac{3}{60} (\text{с}^{-1}) = 0,05 \text{с}^{-1},$$

$$K_2 = \frac{1}{0,05} (\text{с}) = 20 \text{с}.$$

Тоді для випрямляча:

$$K_n = \frac{E_{n.\max}}{10}, \quad (4.7)$$

де  $E_{n.\max}$  - максимальна ЕРС,

$$E_{n.\max} = U_{d.\max} = 396,29 \text{ В},$$

Отже:

$$K_n = \frac{396,29}{10} \approx 39,63$$

Розрахуємо сталі часу:

$$T_e = \frac{L_\Sigma}{R_\Sigma}, \quad (4.8)$$

де  $L_\Sigma$  - індуктивність:

$$T_e = \frac{2,64 \cdot 10^{-3}}{0,14} = 2,64 \cdot 10^{-3} / 0,14 \text{ (с)} = 0,019 \text{ с}$$

Для струмів:

$$I_B = (1,4 \cdot 2)I_n \quad (4.9)$$

$$I_{CT} = (2 \cdot 2,5)I_n, \quad (4.10)$$

де  $I_n$  - номінальний струм.

Перерахуємо налаштування струмів:

$$I_B = 2I_n = 2 \cdot 348 \text{ (A)} = 716 \text{ A},$$

$$I_{CT} = 2,5I_n = 2,5 \cdot 358 \text{ (A)} = 895 \text{ A}.$$

Тоді у контурі швидкості:

$$K_n = \frac{K_n U_{z.n} - I (R_\Sigma + K_n K_{z.c})}{K\Phi} \quad (4.11)$$

де  $U_{z.n} = 0-10 \text{ В}$  ;

$K_{z.c}$  - коефіцієнт за струм,

$$K_{z.c} = \frac{I_n \cdot R_\Sigma - \delta_3 \cdot \omega_0 \cdot K\Phi_n}{K_n \cdot I_n} \quad (4.12)$$

де  $\delta_3 = 0,01-0,02$  ;

$\omega_0$  - швидкість.

$\omega_0 = \omega_{0p} = 107,14 \text{ с}^{-1}$ ,  $\delta_3 = 0,01$  , тоді:

$$K_{z.c} = \frac{358 \cdot 0,14 - 0,01 \cdot 107,14 \cdot 3,08}{39,63 \cdot 358} (\text{В/А}) = 0,0033 \text{ В/А} \quad ,$$

$$\omega_1 = \frac{39,63 U_{z.c} - 9,22 \cdot 10^3 \cdot I}{K\Phi}$$

отримаємо:

$$\omega_2 = \frac{K_n \cdot U_{z.c} - K_n \cdot K_v (I - I_v) - I R_\Sigma}{K\Phi} \quad (4.13)$$

де  $K_v$  - коефіцієнт за зворотним зв'язком,

$$K_B = \frac{K_n \cdot U_{з.с.маx} - I_{ст} \cdot R_{\Sigma}}{K_n (I_{ст} - I_B)} \quad (4.14)$$

де  $U_{з.с.маx} = 10В$ .

Тоді:

$$K_B = \frac{39,63 \cdot 10 - 895 \cdot 0,14}{39,63 (895 - 716)} (В/А) = 0,038 В/А$$

$$\omega_2 = \frac{39,63 \cdot U_{з.с.} - 1,51 \cdot K_n (I - 716) - 0,14I}{K\Phi}$$

Отже, у контурі швидкості:

$$\omega_{1и} = \frac{39,63 \cdot U_{з.с.и}}{K\Phi_i} - \frac{9,22 \cdot 10^{-3} \cdot I_{и}}{K\Phi_i} \quad (4.15)$$

$$\omega_{1и} = \frac{39,63 \cdot U_{з.с.и}}{K\Phi_i} - \frac{9,22 \cdot 10^{-3} \cdot M_i}{K\Phi_i^2} \quad (4.16)$$

$$\omega_{1и} = \frac{39,63 \cdot U_{з.с.и} + 1078,25}{K\Phi_i} - \frac{1,65 \cdot I_{и}}{K\Phi_i} \quad (4.17)$$

$$\omega_{1и} = \frac{39,63 \cdot U_{з.с.и} + 1078,25}{K\Phi_i} - \frac{1,65 \cdot M_i}{K\Phi_i} \quad (4.18)$$

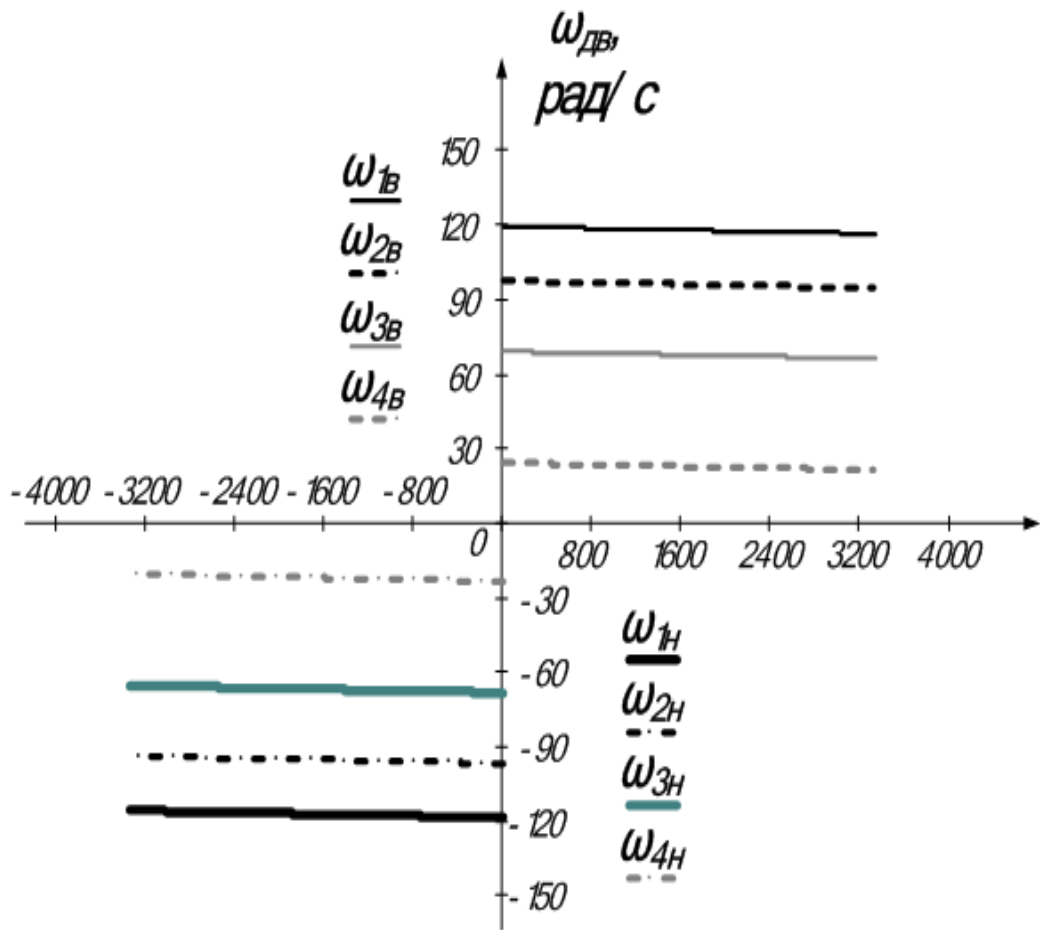


Рис.4.2. Статичні характеристики.



#### 4.2. Технічні засоби та їх характеристики.

Мікропроцесорні системи є складними структурами, що забезпечують роботу складного технологічного обладнання.

Такі структури при налагодженні використовують опорні сигнали, що розраховуються у відповідності до електромагнітних сталих у контурах регулювання.

За базисні обертаються сигнали, що відповідають технічним параметрам застосованих мікропроцесорних пристроїв.

Цифрові блоки компонуються з елементами неперервного надходження сигналів, утворюючи єдину систему контролю та розрахунку параметрів електроприводу.

### 4.3 Алгоритми роботи мікропроцесорної системи полегшеного пуску.

Роботу структури системи керування можна визначити за наявністю її складових елементів.

Системи що забезпечують програмну реалізацію обчислення сигналів завдань мають характерні ознаки у формуванні контурів керування.

На структурно-функціональній схемі:

МПС - мікропроцесорна система;

АЦП - аналого-цифровий перетворювач;

ЦАП1 та ЦАП2 - цифро-аналогові перетворювачі;

АК - аналогових комутатор;

ШД - шини даних;

ШСК - шини сигналів;

СІФК1 та СІФК2 - керування системи імпульсно-фазового керування;

БУ1-БУ8 - блоки узгодження системи керування зовнішніми пристроями.

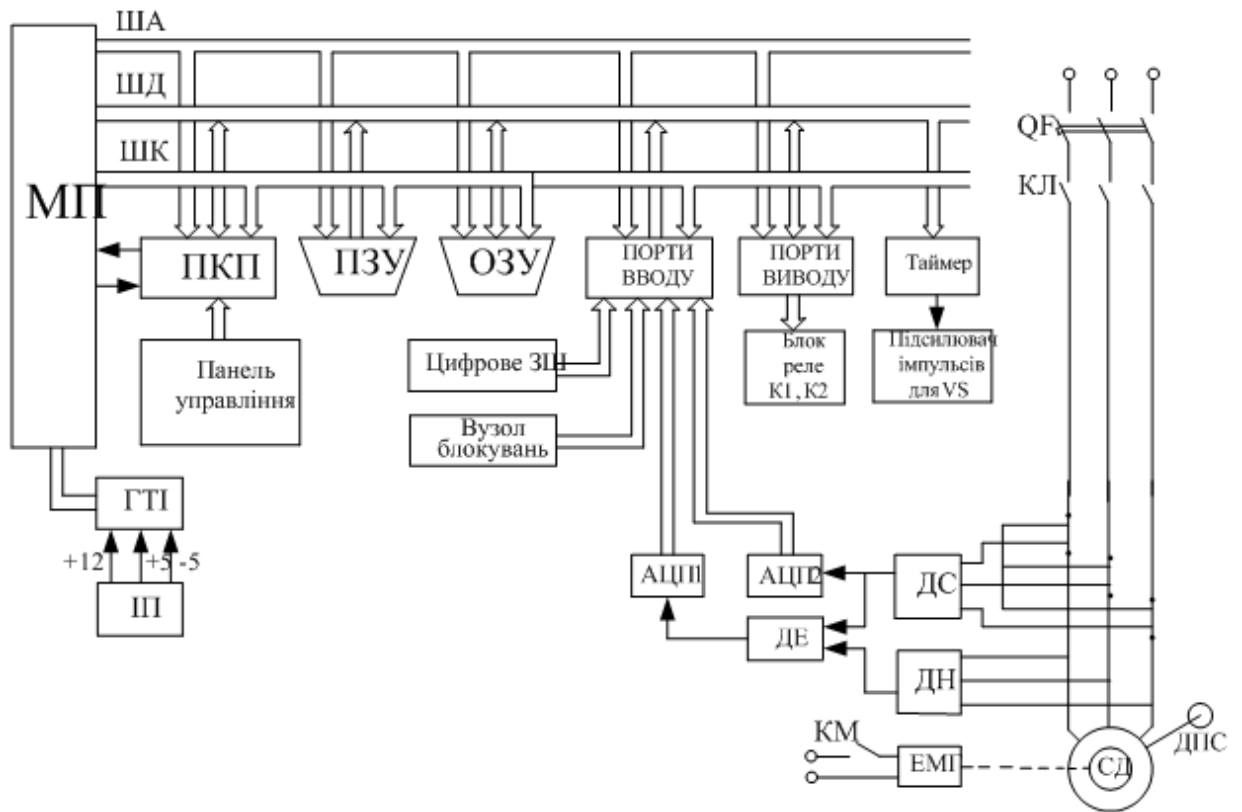
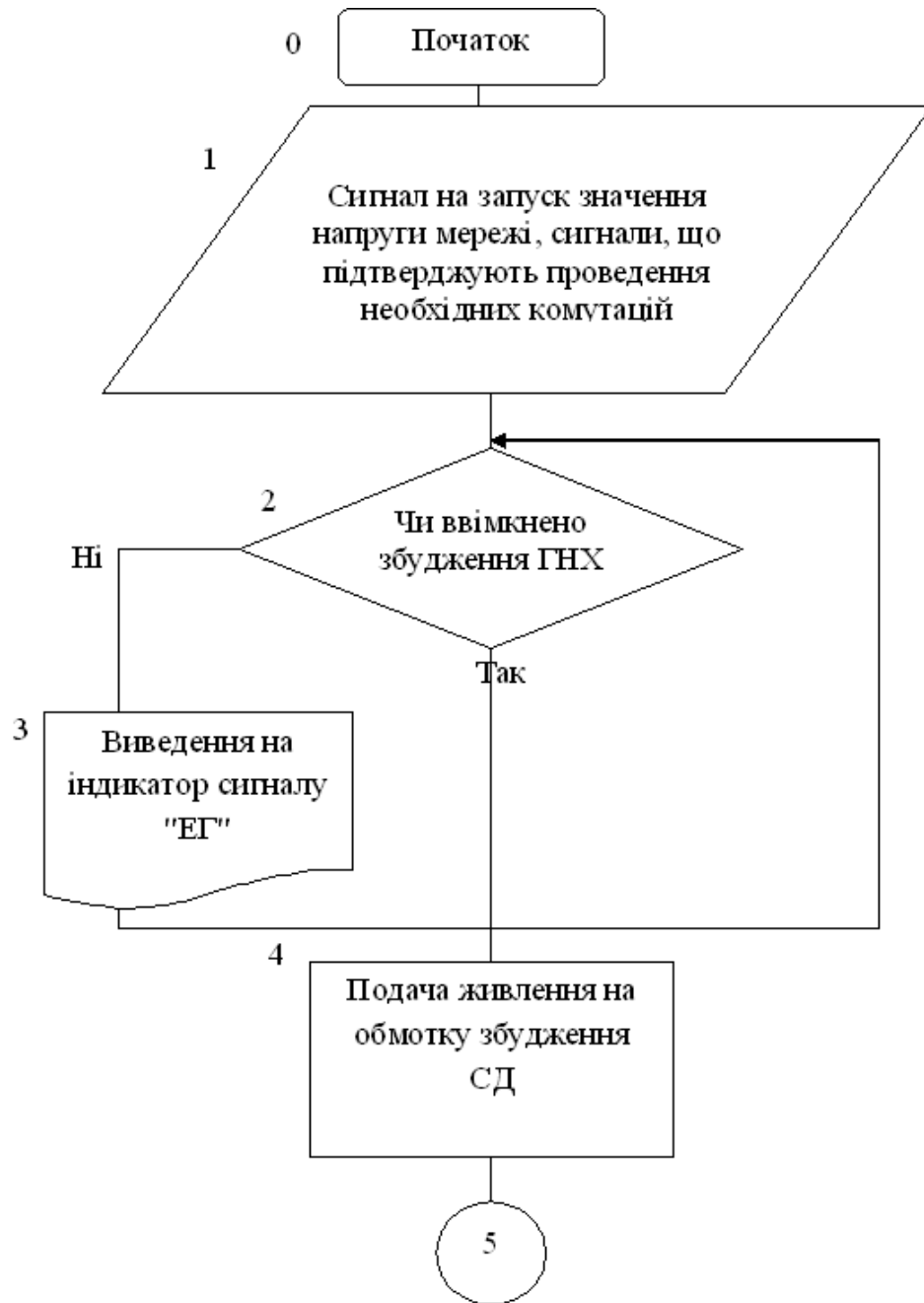
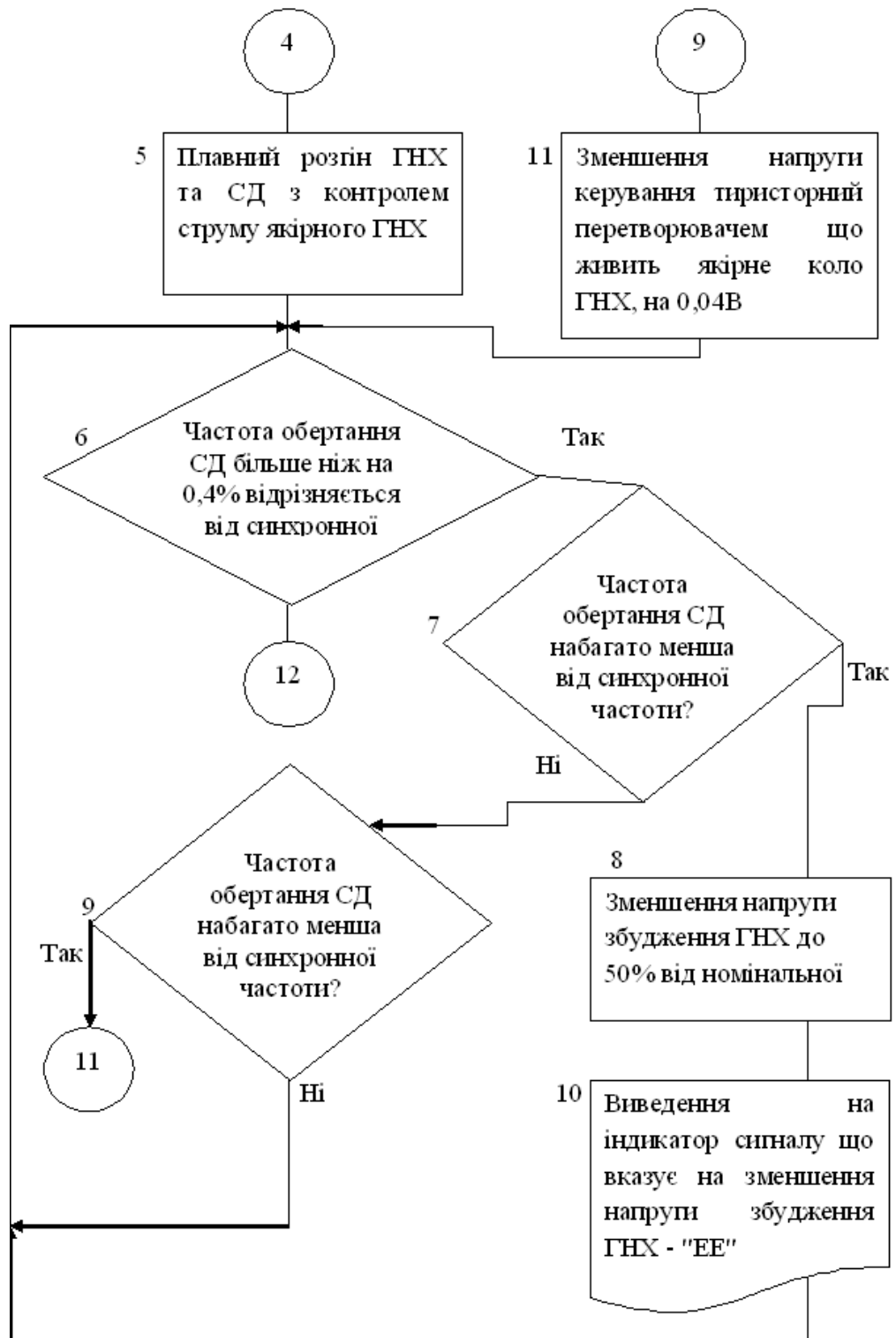


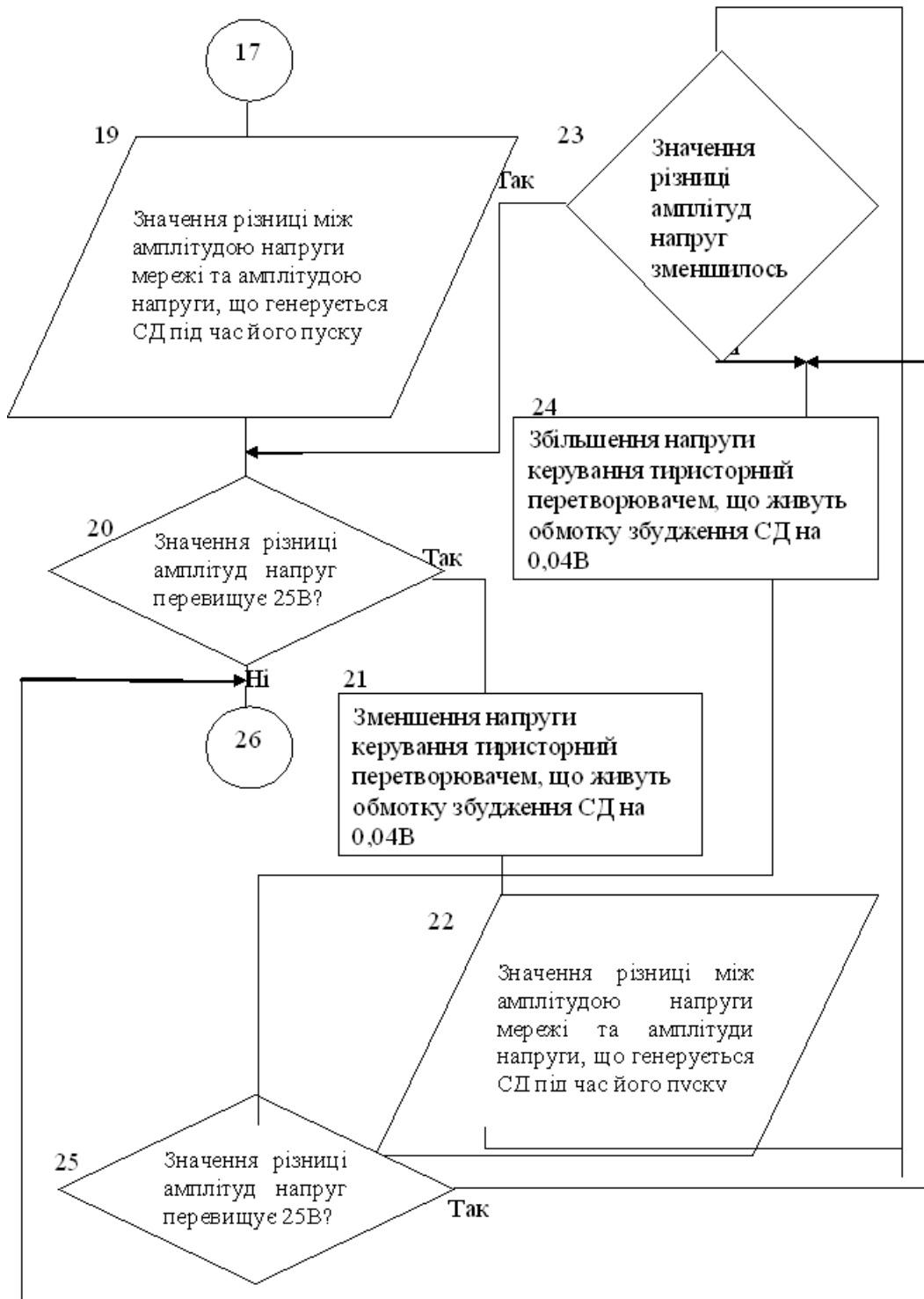
Рис.4.3. Мікропроцесорна системи керування.



## Продовження











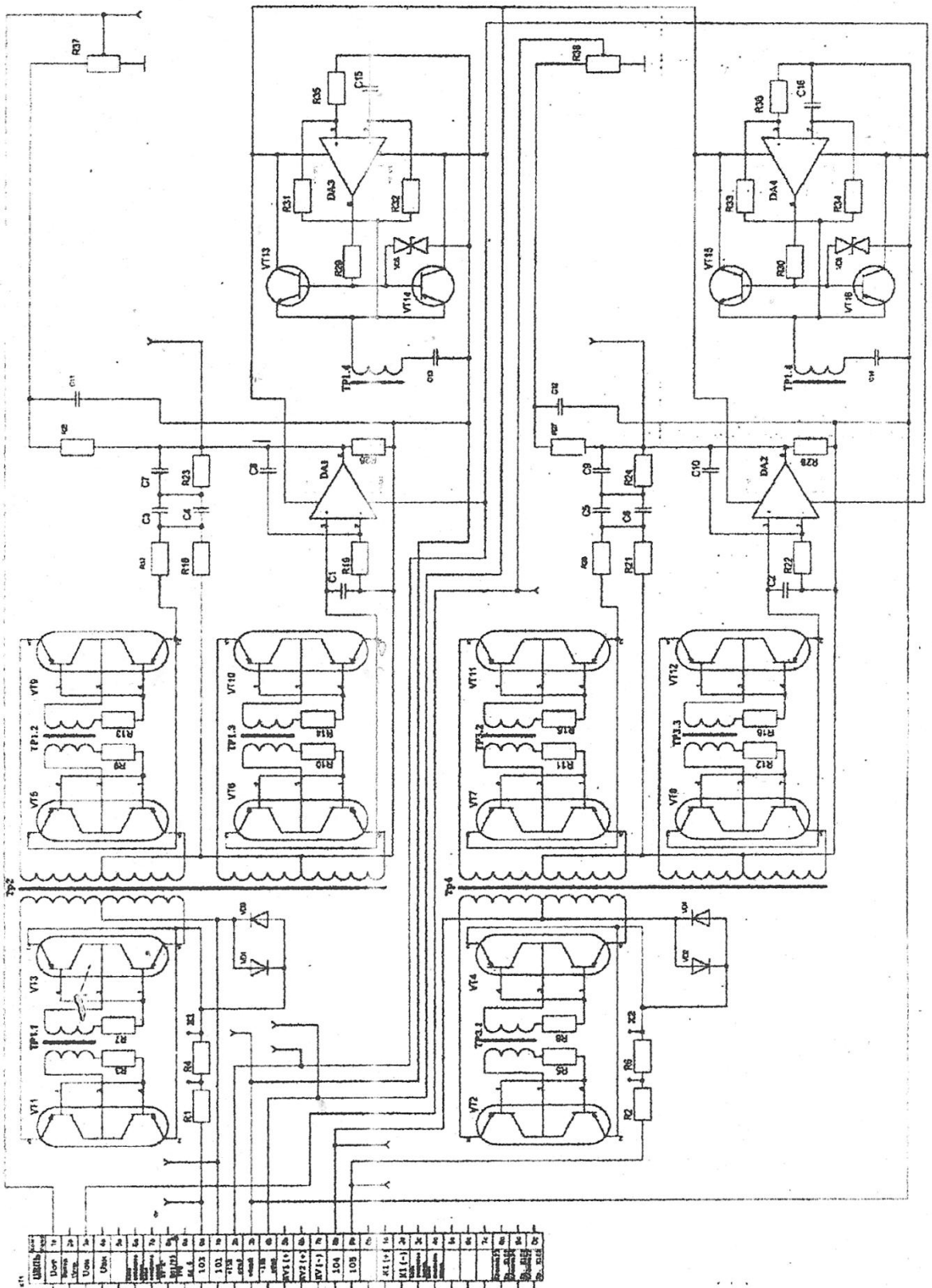


Рис. 4.4. Схема.

## РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ СИСТЕМИ ПОЛЕГШЕНОГО ПУСКУ.

### 5.1 Розробка математичної моделі.

Складність та невизначеність первинних функцій у системі диференціальних рівнянь можна узгодити за допомогою емпіричних виразів що отримані під час практики застосування подібних рішень.

Слід зазначити що подібні рішення позитивним чином впливатимуть на процеси енергоспоживання електричної структури екскаватору та забезпечать певні рівні балансу складових споживання електричної енергії.

Такі процеси поліпшать умови експлуатації обладнання автономної електроенергетичної системи в умовах обмеженості джерела живлення за встановленою потужністю.

Звичайно подібні системи потребують ретельного розрахунку та перевірки на практиці схемних рішень щодо усунення дефектів.

Складемо характеристичне рівняння:

$$\bar{X}_{cl} = 1,13 \left( \frac{0,158 \bar{P}_{max} + \sin \varphi_n}{1,072 \Gamma_{max}^2 - 1} + \sqrt{\frac{1,072 \bar{P}_{max}^2 + 0,316 \bar{P}_{max}^2 \cdot \cos \varphi_n + \sin^2 \varphi_n - 0,977}{1,072 \Gamma_{max}^2 - 1}} \right) \quad (5.1)$$

де  $\bar{P}_{max}$  - потужність,

$$\bar{P}_{max} = K_{max} \frac{P_n}{S_n}; \quad (5.2)$$

де  $K_{max}$  - кратність моменту;

$P_n$  - номінальна потужність;

$S_n$  - номінальна потужність,

$$S_n = \frac{P_{II}}{\eta_n \cdot \cos \varphi_n} ; \quad (5.3)$$

де  $\eta_n$  - ККД.

$$\sin \varphi_n = \sin(\arccos(\cos \varphi_n)) = 0,44 .$$

Для потужності:

$$S_n = \frac{630}{0,94 \cdot 0,9} \text{ (кВА)} = 744,68 \text{ кВА} ,$$

$$\hat{P}_{\max} = 2 \frac{630}{744,68} \text{ (в.о)} = 1,69 \text{ в.о} ,$$

$$\hat{X}_d = 1,13 \left( \frac{0,158 \cdot 1,69 + 0,44}{1,072 \cdot 1,69^2 - 1} + \frac{\sqrt{1,072 \cdot 1,69^2 + 0,316 \cdot 1,69 \cdot 0,9 + 0,44^2 - 0,97^2}}{1,072 \cdot 1,69^2 - 1} \right) = 1,296$$

Для індуктивних опорів:

$$\hat{X}_q \approx 0,6 \hat{X}_d = 0,6 \cdot 1,296 \text{ (в.о)} = 0,78 \text{ в.о} \quad (5.4)$$

Отже:

$$\hat{X}_s = 0,87 \hat{X}_d'' , \quad (5.5)$$

де  $\hat{X}_d''$  - повздовжня індуктивність.

$\hat{X}_d'' = 0,145 \text{ в.о.}$ , тоді:

$$\hat{X}_s = 0,87 \cdot 0,145 \text{ (в.о)} = 0,13 \text{ в.о.}$$

Тоді приведені значення:

$$\tilde{X}_d'' = \frac{\tilde{X}_d''}{1,1} ;$$

де  $\tilde{X}_d''$  - поперечна індуктивність, тоді

$$\tilde{X}_d'' = 1,1 \tilde{X}_d'' = 1,1 \cdot 0,145 \text{ (в.о.)} = 0,16 \text{ в.о.} \quad (5.6)$$

Отже, розрахуємо:

$$\tilde{X}_{d\delta} = \tilde{X}_d - \tilde{X}_\delta = 1,296 - 0,13 \text{ (в.о.)} = 1,17 \text{ в.о.}, \quad (5.7)$$

$$\tilde{X}_{d\sigma} = \tilde{X}_d - \tilde{X}_\sigma = 0,78 - 0,13 \text{ (в.о.)} = 0,65 \text{ в.о.} \quad (5.8)$$

Опір складатиме:

$$R_f = \frac{U_{з.н}}{I_{з.н}} ; \quad (5.9)$$

де  $U_{з.н}$ ,  $I_{з.н}$  - номінальні напруга та струм.

Тоді:

$$\hat{R}_f = \frac{I_{1н} \cdot R_f}{3 U_{1н} \cdot I_{1н}} \sqrt{3} \quad ; \quad (5.10)$$

де  $U_{1н}$ ,  $I_{1н}$  - напруга та струм.

А отже:

$$R_f = \frac{36}{270} \text{ (Ом)} = 0,130 \text{ м}$$

$$R_f = \frac{270^2 \cdot 0,13}{3 \cdot 6000 \cdot 72} \sqrt{3} \text{ (в.о.)} = 0,013 \text{ в.о}$$

Індуктивний опір складатиме:

$$L_f = R_f \cdot T_d' \quad , \quad (5.11)$$

де  $T_d'$  - стала часу,

$$T_d' = \hat{T}_s' \cdot t_6 \quad (5.12)$$

де  $t_6$  - час,

$$t_6 = \omega_s^{-1} \quad , \quad (5.13)$$

де  $\omega_s$  - частота.

$$\omega_s = 2\pi f_m = 2 \cdot \pi \cdot 50 \text{ (с}^{-1}\text{)} = 314,16 \text{ с}^{-1}$$

Отримаємо:

$$t_{\delta} = 314,16^{-1} (\text{с}) = 3,18 \cdot 10^{-3} \text{с}$$

$$T_d' = 126,8 \cdot 3,18 \cdot 10^{-3} (\text{с}) = 0,4 \text{с}$$

$$L_f = 0,13 \cdot 0,4 (\text{Гн}) = 0,052 \text{Гн}$$

Індуктивний опір:

$$X_{Qf} = 2\pi f_m L_f = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 0,052 (\text{Ом}) = 16,34 \text{ Ом}$$

Або

$$X_{Qf} = \frac{U_{Qf}}{I_{\delta}} \quad (5.16)$$

де  $Z_{\delta}$  - опір,

$$Z_{\delta} = \frac{U_{1m}}{\sqrt{3} I_{1H}} = \frac{6000}{\sqrt{3} \cdot 72} (\text{Ом}) = 48,11 \text{ Ом} \quad (5.17)$$

Отримаємо:

$$\hat{X}_{Qf} = \frac{16,34}{48,11} (\text{в.о}) = 0,34 \text{ в.о}$$

Індуктивний опір:

$$\hat{X}_f = \hat{X}_{ad} + \hat{X}_{Qf} = 1,17 + 0,34 (\text{в.о}) = 1,51 \text{ в.о} \quad (5.18)$$

Або:

$$\hat{X}_{ed} = \hat{X}_{dd} \left( 1 + \frac{\hat{X}_f (\hat{X}_d - \hat{X}_Q)}{\hat{X}_{dd} (\hat{X}_f \hat{X}_d'' + \hat{X}_Q) + \hat{X}_f (\hat{X}_d'' \hat{X}_S)} \right) = 1,19 \text{ в.о} \quad (5.19)$$

Також:

$$\hat{X}_{cq} = \hat{X}_{aq} \left( 1 + \frac{\hat{X}_q - \hat{X}_Q}{\hat{X}_{aq} - \hat{X}_d'' + \hat{X}_Q} \right) = 0,65 \left( 1 + \frac{0,16 - 0,13}{0,65 - 0,145 + 0,13} \right) (\text{в.о}) = 0,68 \text{ в.о} \quad (5.20)$$

Активний опір:

$$\hat{R}_{ed} = \frac{1}{\hat{T}_d''} \left( \hat{X}_{ed} - \hat{X}_{ad} + \frac{\hat{X}_{ad} \cdot \hat{X}_f \cdot \hat{X}_Q}{\hat{X}_{ad} \cdot \hat{X}_Q + \hat{X}_{dd} \cdot \hat{X}_f + \hat{X}_f \cdot \hat{X}_Q} \right) \quad (5.21)$$

де  $\hat{T}_d''$  - стала часу.

Розглянемо для конкретного прикладу:

$$\hat{R}_{ed} = \frac{1}{1,95} \left( 1,19 - 1,17 + \frac{1,17 \cdot 1,51 \cdot 0,13}{1,17 \cdot 0,13 + 1,17 \cdot 1,51 + 1,51 \cdot 0,13} \right) (\text{В.о}) = 0,066 \text{ В.о}$$

Активний опір:

$$\hat{R}_{cq} \approx 0,75 \hat{R}_{ed} = 0,75 \cdot 0,066 (\text{В.о}) = 0,05 \text{ В.о} \quad (5.22)$$

Врахуємо інерційність:

$$H_j = \frac{j_s \cdot \omega_s^3}{P_0 \cdot p} ; \quad (5.23)$$

де  $P_0$  - потужність;

$p$  - число пар полюсів.

$$P_0 = \frac{3 U_{1н} I_{1н}}{\sqrt{3}} = \frac{3 \cdot 6000 \cdot 72}{\sqrt{3}} (\text{Вт}) = 748245,95 \text{ Вт} \quad (5.24)$$

Тоді для обраного двигуна:

$$H_j = \frac{166 \cdot 104,72^3}{748245,95 \cdot 3} = 84,92$$

Активний опір:

$$\hat{r}_d \approx 0,051, \hat{r}_q \approx 0,021$$

Отже:



$$\hat{R}_{\Sigma} = \frac{R_{\Sigma}}{Z'_{\Sigma}} ; \quad (5.25)$$

де  $Z'_{\Sigma}$  - опір пуску.

$$Z'_{\Sigma} = \frac{U_{r,н}}{I_{r,н}} = \frac{330}{350} \text{ (Ом)} = 0,92 \text{ Ом} \quad (5.26)$$

Тоді:

$$\hat{R}_{\Sigma} = \frac{0,14}{0,92} \text{ (В.о)} = 0,15 \text{ В.о}$$

$$\hat{T}_e = \frac{T_e}{t'_{\Sigma}} \quad (5.27)$$

де  $t'_{\Sigma}$  - час

$$t'_{\Sigma} = \frac{1}{\omega_{\Pi}} \quad (5.28)$$

$\omega_0 = 107,14 \text{ с}^{-1}$ , тоді:

$$t'_{\Sigma} = \frac{1}{107,14} \text{ (с)} = 9,33 \cdot 10^{-3} \text{ с} ,$$

$$\hat{T}_e = \frac{0,019}{9,33 \cdot 10^{-3}} \text{ (В.о)} = 2,04 \text{ В.о}$$

$$\hat{K}\hat{\Phi}_{r,н} = \frac{K\Phi_{r,н} \cdot \omega_0}{U_{r,н}} \text{ (В.о)} = 0,32 \text{ В.о} \quad (5.29)$$

Розрахуємо відносний показник:

$$\hat{K}_n = \frac{K_n \cdot 10}{U_{\text{ном}}} = \frac{39,63 \cdot 10}{330} (\text{В.о}) = 1,2 \text{ В.о} \quad (5.28)$$

Параметри тиристорного перетворювача:

$$U'_{\text{dmax}} = \frac{3\sqrt{6} \cdot 40}{\pi \cdot \sqrt{3}} (1 + \cos 17^\circ) (\text{В}) = 105,68 \text{ В}$$

$$K'_n = \frac{105,68}{10} = 10,568$$

Складемо рівняння для розрахунку динамічних коефіцієнтів.

За потокозчепленням:

$$\begin{cases} \hat{\Psi}_{d(p)p} = \hat{U}_{d(p)} - \hat{I}_{d(p)} \hat{r}_d + \hat{\Psi}_{q(p)} \omega(p) \\ \hat{\Psi}_{q(p)p} = \hat{U}_{q(p)} - \hat{I}_{q(p)} \hat{r}_d + \hat{\Psi}_{d(p)} \omega(p) \\ \hat{\Psi}_{f(p)p} = \hat{U}_{f(p)} - \hat{I}_{f(p)} \hat{R}_f \\ \hat{\Psi}_{ed(p)p} = -\hat{I}_{ed} \hat{R}_{ed} \\ \hat{\Psi}_{eq(p)p} = -\hat{I}_{eq} \hat{R}_{eq} \end{cases} \quad (5.31)$$

За струмом:

$$\begin{cases} \hat{I}_{d(p)} = K_{11} \hat{\Phi}_{d(p)} - K_{12} \hat{\Phi}_{f(p)} - K_{13} \hat{\Phi}_{ed(p)} \\ \hat{I}_{f(p)} = K_{21} \hat{\Phi}_{d(p)} - K_{22} \hat{\Phi}_{f(p)} - K_{23} \hat{\Phi}_{ed(p)} \\ \hat{I}_{ed(p)} = -K_{31} \hat{\Phi}_{d(p)} - K_{32} \hat{\Phi}_{f(p)} + K_{33} \hat{\Phi}_{ed(p)} \\ \hat{I}_{q(p)} = K_{41} \hat{\Phi}_{q(p)} - K_{42} \hat{\Phi}_{eq} \\ \hat{I}_{eq(p)} = -K_{51} \hat{\Phi}_{q(p)} + K_{52} \hat{\Phi}_{eq} \end{cases} \quad (5.32)$$

де  $K_{ij}$  ( $i=1-5, j=1-3$ ) – коефіцієнти.

$$D = \hat{X}_{ed} \hat{X}_f \hat{X}_{aed} - \hat{X}_{dad}^2 (\hat{X}_{ed} + \hat{X}_f + \hat{X}_{aed}) + 2\hat{X}_{dad}^3 \quad (5.33)$$

$$Q = \hat{X}_q \hat{X}_{eq} - \hat{X}_{aq}^2, \quad (5.34)$$

де  $D, Q$  – допоміжні коефіцієнти.

Тоді:

$$D = 1,296 \cdot 1,51 \cdot 1,19 - 1,172 (1,296 + 1,51 + 1,19) + 2 \cdot 1,173 \text{ (в.о)} = 0,073 \text{ в.о.}$$

$$Q = 0,78 \cdot 0,68 - 0,652 \text{ (в.о)} = 0,11 \text{ в.о}$$

$$K_{11} = D^{-1} (\hat{X}_f \hat{X}_{aed} - \hat{X}_{dad}^2) = 0,073^{-1} (1,51 \cdot 1,19 - 1,172^2) \text{ (в.о)} = 6,32 \text{ в.о} \quad (5.35)$$

$$K_{12} = D^{-1} (\hat{X}_{ed} - \hat{X}_{dad}) \cdot \hat{X}_{dad} = 0,073^{-1} (1,19 - 1,17) 1,17 = 0,57 ; \quad (5.36)$$

$$K_{13} = D^{-1} (\hat{X}_f - \hat{X}_{dad}) \cdot \hat{X}_{dad} = 0,073^{-1} (1,51 - 1,17) 1,17 = 5,58 ; \quad (5.37)$$

$$K_{21} = D^{-1} (\hat{X}_{ed} - \hat{X}_{dad}) \cdot \hat{X}_{dad} = 0,073^{-1} (1,19 - 1,17) 1,17 = 0,57 \quad (5.38)$$

$$K_{22} = D^{-1} (\hat{X}_{ed} \cdot \hat{X}_{aed} - \hat{X}_{dad}^2) = 0,073^{-1} (1,296 \cdot 1,17^2) = 2,64 \quad (5.39)$$

$$K_{23} = D^{-1} (\hat{X}_{ed} \cdot \hat{X}_{aed} - \hat{X}_{dad}^2) = 0,073^{-1} (1,296 \cdot 1,17) 1,17 = 2,02 \quad (5.40)$$

$$K_{31} = K_{13} = 5,58 \quad (5.41)$$

$$K_{32} = K_{23} = 2,02 \quad (5.42)$$

$$K_{33} = D^{-1} ( ) = 0,073^{-1} (1,51 \cdot 1,296 - 1,172) = 8,06 ; \quad (5.43)$$

$$K_{41} = Q^{-1} = 0,112 \cdot 0,68 = 6,18 ; \quad (5.44)$$

$$K_{42} = Q^{-1} = 0,112 \cdot 0,65 = 5,91 \quad (5.45)$$

$$K_{51} = K_{42} = 5,91 \quad (5.46)$$

$$K_{52} = Q^{-1} \hat{X}_q = 0,112 \cdot 0,78 = 7,09 \quad (5.47)$$

## 5.2 Динамічні характеристики.

Для визначення впливу на ефективність розробки зовнішніх факторів на останньому етапі впровадження застосовують дослідження представленої системи у робочих умовах.

Подібну функцію може також використовувати й імітаційне моделювання перехідних процесів у діючому обладнанні.

На основі подібних функцій можна зробити висновок щодо ефективності прийнятих рішень щодо поліпшення режимів роботи кар'єрного екскаватору у виробничих умовах.

Програма розрахунку:

```

uses crt;
const
n=8 ; hi=84.92; rd=0.051; rq=0.021; rf=0.013; red=0.066; req=0.05; mn=7.58;
k11=6.32; k12=0.57; k13=5.58; k21=0.57; k22=2.64; k23=2.02; k31=5.58;
k32=2.02; k33=8.06; k41=6.18; k42=5.91; k51=5.91; k52=7.09; kp=0.63;
kd=0.51; kt=0.38; kc=0.22; kpt=0.09; kmn=0.05; kms=2.22; ktp=1.2; ktpv=2.94;
zf=2.09; kbn=0.32; rsmpt=0.15; tel=2.04; xad=1.17; iter=2000; k33s=9e-0.5;
kv=1e-0.3; w=2;
type
mas =array [0..n] abreal;
maspr =array [0..n+1] abreal;
var ms, time, tim, id, iq, ia, ib, iya, ied, ieq, ib, uk, ud, uq, ub, u3s, uv, etp, empt,
me, u3s, u, pristep, step; real; u3b, ua, ub, uab: real; swi, j, sh:integer; e, ea, eb, eab:
real;
y: mas;
b: maspr; label met; delt: real; sdv1, sdv2, sdv3, sdv4: bileobreal; procedure sdu;

```

```

begin
ib (time>=0) and (time<3142) then
uss: =kp*time else ib(time>=3142) and (time<6283) then u3s:=kd*time
else ib(time>=6283) and (time<9425) and (time<12566) then u3s:=kc*time else ib
(time>=12566) and (time<15708) then u3s:=kpt*time else
u3x:=1; met;
uk:=u3x+u33s-uv;
ib y[1]<=iv then
begin
u33s:=k33s*y[1]; uv=0;
end;
else
begin
u33s:=0; uv:=kv*y[1];
end;
etp:=ktp*uk;
empt:=kbn*y[7];
u:=etp-empt;
b[1]:=(u-y[1]*rsmpt)/(rsmpt*tel);
me:=y[1]*kbr;
ms:=kms*(1+y[7]*time)+kmm*mn;
b[7]:=(me-ms)/hj;
ub:=ktrv*u3b;
ud:=cos(time-3b);
uq:=sin(time-3b);
ua:=sin(time);
ub:=cos(time-3b);
uab:=ua-ub;
b[2]:=ud+y[7]*y[3]-rd*id;
b[3]:=uq-y[7]*y[2]-rq*id;

```

```

b[4]:=-red*ied;
b[5]:=-req*ieq;
b[6]:=ub-ib*r;
b[8]:=y[7];
id:=k11*y[2]-k12*y[6]-k13*y[4];
iq:=k41*y[3]-k42*y[5];
ib:=-k21*y[2]+k22*y[6]-k23*y[4];
ied:=-k31*y[2]-k32*y[6]+k33*y[4];
ieq:=-k51*y[3]+k52*y[5];
ia:=id*cos(y[8])-iq*sin(y[8]);
ib:=id*cos(y[8]-3b)-iq*sin(y[8]-3b);
uya:=y[1];
e:=ib*xad;
ea:=e*cos(y[8]);
eb:=e*cos(y[8]-3b);
ib(y[7]<=0.33) and (y[7]>=0.34)then
begin
ib y[7]<=0.33 and(y[7]>) u3b: 0.5*u3b
else u3s:= u3s-0.0001;
end; goti met;
else u3s:= u3s;
ib(y[8]<=0.07) and (y[8]<=0.072)
then
begin
ib(y[8]<=0.07)then u3s:=u3s-0.0001
end;
goto met;
else u3s:= u3s;

```

```
procedure paramatr;
begin
y[1]:=0; y[2]:=0; y[3]:=0; y[4]:=0; y[5]:=0; y[6]:=0; y[7]:=0; y[8]:=0;
end;
procedure vvod;
begin
write(step=); read(step);
write(pristep=);read(step);
end;
procedure ar;
begin
assign (sdv1;iya.das');
rewrite (sdv1);
assign (sdv2;ia.das');
rewrite (sdv2);
assign (sdv3;ib.das');
rewrite (sdv3);
assign (sdv4;w.das');
rewrite (sdv4);
end;
procedure ris;
begin
tim:=time/314.16;
gotoxy (3.3);
writeln (tim:3:3);
write (sdv1, tim, iay);
write (sdv2, tim, ia);
write (sdv3, tim, ib);
write (sdv4, tim, y[7]);
```



```

close (sdv1); close (sdv2); close (sdv3); close (sdv4);
end
procedure rk4p(var b, y:mas; var t:real; h:real);
var
k,w: array [0...n] of real;
a: real;
i: integer;
begin
  born j:=1 to n do w[j]:=y[j];
  sdu;
  bor j:= 1 to n do
  begin
    a:= h*b[j]; k[j]:=k[j]+2*a;
    y[j]:=w[j]+a12;
  end;
  sdu;
  bor j:= 1 to n do
  begin
    a:= h*b[j]; k[j]:=k[j]+2*a;
    y[j]:=w[j]+a;
  end;
  t:=t+h12;
  sdu;
  bor j:= 1 to n do
  begin
    y[j]:=w[j]+(k[j]+h*b[j])/6;
  end;
  end;
  begin
    sh:=0

```

```
swi:=1;  
vvod;  
parametr;  
ar;  
while sh<iter do  
begin  
rk 4p(b, y, time, step);  
if time>=swi*printer then  
begin  
ris;  
swi:=swi+1;  
sh:=sh+1;  
end;  
end;  
zavr;  
end
```

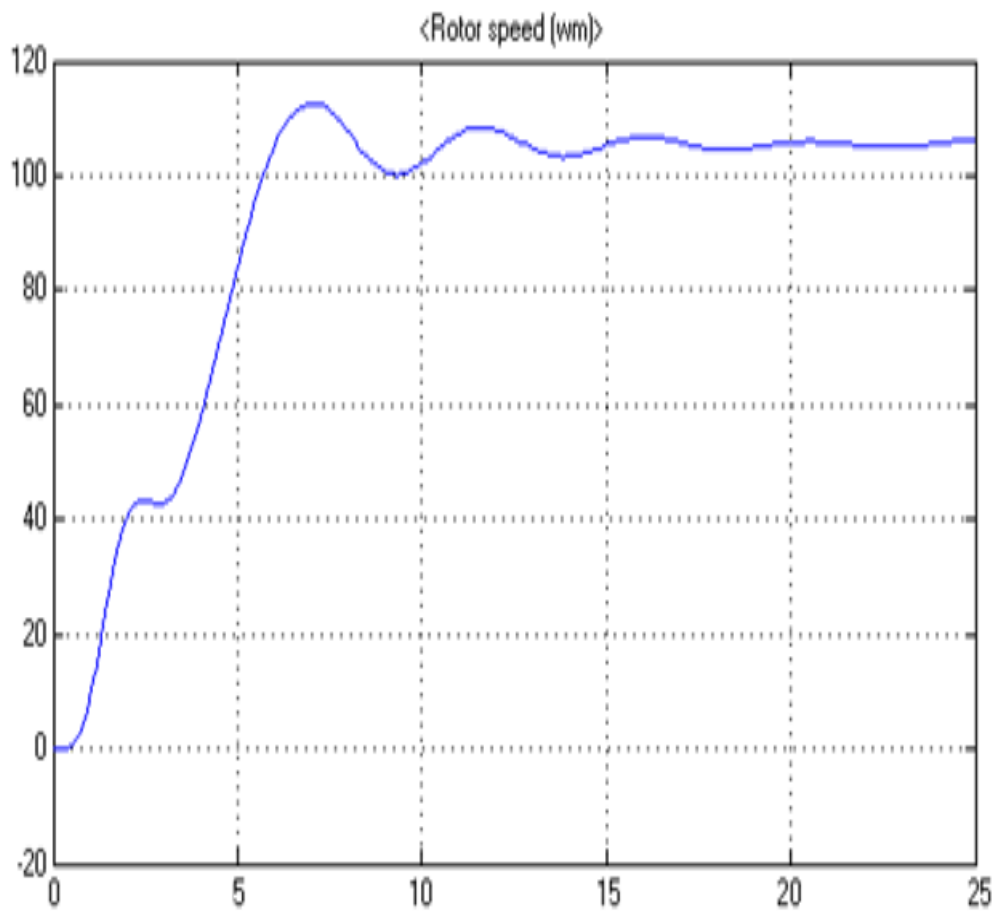


Рис 5.1 Перехідний процес за швидкістю.

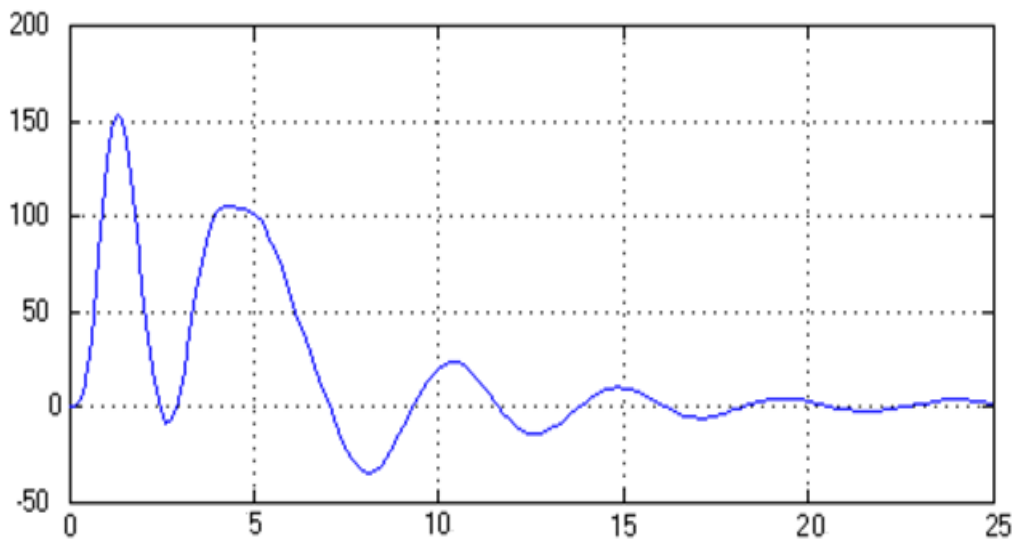


Рис 5.2 Перехідний процес по струмом.

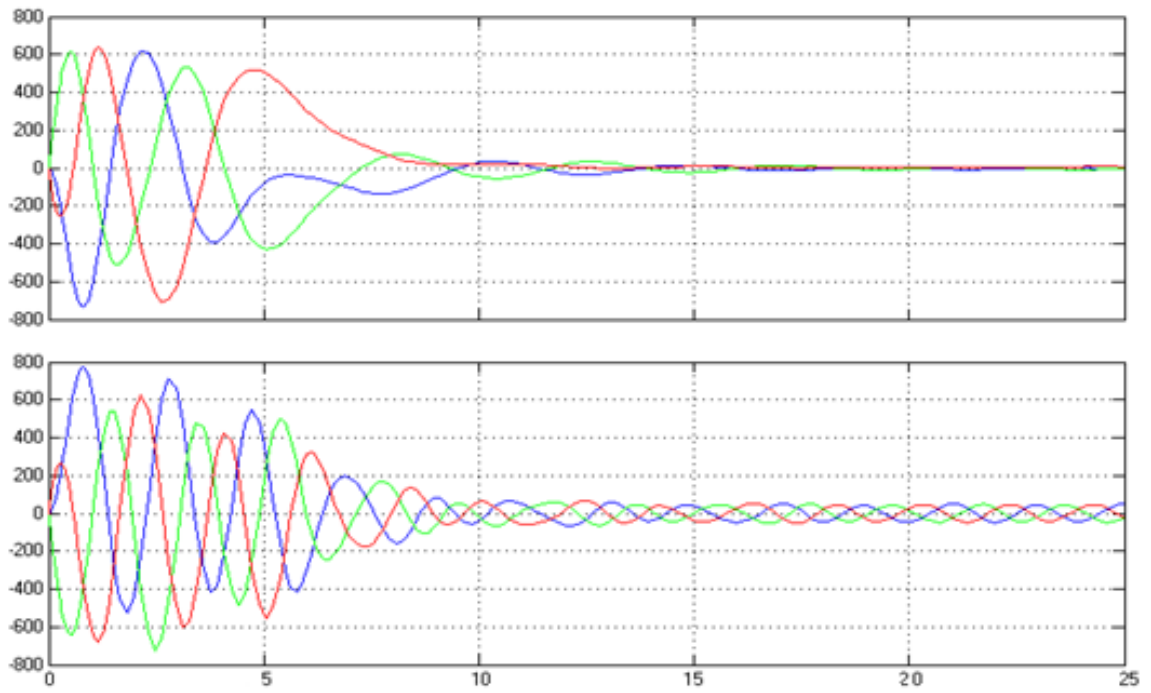


Рис 5.3 Струми у фазі А та фазі В СД при пуску.

## ВИСНОВКИ

У роботі розглянута електромеханічна система перетворювального агрегату екскаватора ЕКГ-10.

Проведено аналіз електромеханічної системи перетворювального агрегату екскаватора ЕКГ-10. У якості мережевого двигуна використовується синхронний двигун.

У роботі запропонована модернізація електромеханічної системи перетворювального агрегату.

Побудовані статичні характеристики та визначено динамічні показники системи електроприводу.

Для реалізації функції плавного пуску мережевого двигуна була розрахована мікропроцесорна система.

Було обрано датчики на налаштовано контури регулювання.

Підвищення ефективності роботи електромеханічної системи перетворювального агрегату досягаються завдяки реалізації функції плавного пуску мережевого двигуна екскаватора ЕКГ-10 та компенсації реактивної потужності.