

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи бакалавра
за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

на тему: Автоматизований електропривод механізму підйому
екскаватору ЕКГ-5 в варіанті «широотно-імпульсний
перетворювач – двигун постійного струму»
Автоматизований електропривод підйому екскаватору ЕКГ-5 за
системою «широотно-імпульсний перетворювач –двигун»

Виконав: студент групи ЕЕМ-20

Андрій КАПІНУС

Керівник випускової роботи _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Нормоконтролер: _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Декан ЕТФ: _____ к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант ОПП: _____ к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Ріг 2024 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

Капінуса Андрія Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизований електропривод підйому екскаватору ЕКГ-5 за системою «шіротно - імпульсний перетворювач –двигун»»
2. Термін подання студентом роботи: 10 червня 2024 р.
3. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є модернізація електроприводу підйому екскаватору ЕКГ-5. Завданнями досліджень є розробка та проектування автоматизованої електромеханічної системи на новій елементній базі
4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I. Характеристика електромеханічної системи, вибір електрообладнання та розрахунок статичних характеристик привода; II. Обґрунтування і розробка системи керування електроприводом; III. Моделювання динамічних режимів роботи привода механізму на ЕОМ.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) I. Загальний вид механізму та технічна характеристика; II. Розрахунок статичних характеристик системи привода; III. Розробка системи керування ШПП-Д підйому; IV. Обґрунтування системи керування та побудування моделі для дослідження динаміки; V. Дослідження динаміки системи електроприводу -1; VI. Дослідження динаміки системи електроприводу -2

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Владислав Федотов		
II	Владислав Федотов		
III	Владислав Федотов		

7. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Основні відомості про екскаватор, загальний вид, кінематика і режими роботи	
2	Обґрунтування і вибір системи електропривода	
3	Розрахунок потужності і вибір електродвигуна	
4	Розрахунок перетворювача, вибір елементів силової частини та елементів захисту	
5	Розрахунок параметрів схеми заміщення, розрахунок механічних і енергетичних характеристик	
6	Обґрунтування і вибір структури системи керування електроприводом	
7	Розрахунок параметрів елементів системи керування електроприводом	
8	Розробка алгоритмів та програмного забезпечення мікропроцесорної системи керування електроприводом	
9	Моделювання статичних та динамічних режимів замкненої системи в пуско-гальмівних режимах та при навантаженні	
10	Аналіз якісних показників розробленої системи керування	

Дата видання завдання 29.04.2024 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Андрій Капінус
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Владислав Федотов
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:
«Автоматизований електропривод підйому екскаватору ЕКГ-5 за системою
«широотно-імпульсний перетворювач – двигун»»

КНУ.РБ.141.24.303-6

59 с., 31 рис., 3 табл., 8 літературних джерел

Рамки на реферат та зміст як на вступі

Об'єкт дослідження – електропривод підйому екскаватору ЕКГ-5 за системою ШП-Д

В першому розділі наведено загальний вид екскаватору ЕКГ-5, розміри та інші параметри механічної частини механізму підйому, кінематична схема механізму, визначені вимоги до ЕП підйомного механізму. На основі аналізу низки вимог до ЕП обрано систему ШП-Д, яка дозволяє забезпечити високу швидкодію, високий ККД та необхідну жорсткість статичних характеристик. Здійснено розрахунок потужності та вибір приводного двигуну підйому. Складена схема заміщення приводу підйому та визначені її параметри. Розраховані та побудовані статичні та енергетичні характеристики системи ШП-Д

У другому розділі здійснені обґрунтування та розробка системи керування системою приводу ШП-Д. За базову прийнята двохконтурна система підлеглого регулювання з регуляторами швидкості та струму. Надана розробка мікропроцесорного варіанту керування розгоном-гальмуванням в механізмі підйому.

У третьому розділі виконано побудування моделі системи автоматичного керування з дослідженням динамічних режимів роботи привода підйому. Визначено, що впровадження замкненої системи приводу підйому значно поліпшує показники якості регулювання швидкості електропривода, що, у свою чергу, підвищують ефективність від використання системи керування

Ключові слова: ЕКСКАВАТОР ЕКГ-5, ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ, ЯКІСТЬ РЕГУЛЮВАННЯ, СТАТИКА, ДИНАМІКА.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
РОЗДІЛ 1. Характеристика електромеханічної системи, вибір електрообладнання та розрахунок статичних характеристик привода	7
1.1 Основні відомості про технологічний механізм, загальний вид, кінематика і режими роботи.....	7
1.2 Обґрунтування і вибір системи електропривода.	145
1.3 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна.	189
1.4 Розрахунок перетворювача, вибір елементів силової частини та елементів захисту	223
1.5 Складання схеми заміщення, математичний опис і розрахунок механічних і енергетичних характеристик.....	256
РОЗДІЛ 2. Обґрунтування і розробка системи керування електроприводом	323
2.1. Обґрунтування і вибір структури системи керування електроприводом	323
2.2.Розрахунок параметрів елементів системи керування електроприводом	367
2.3. Розробка блок-схеми алгоритмов роботи мікроконтролера.....	40
2.4. Розробка програмного забезпечення мікропроцесорної системи керування електроприводом	434
РОЗДІЛ 3. Моделювання динамічних режимів роботи привода механізму на ЕОМ	512
3.1. Моделювання статичних та динамічних режимів замкненої системи в пуско-гальмівних режимах та при навантаженні	512
3.2. Аналіз якісних показників розробленої системи керування	567
Висновки	578
Список використаних джерел	599

ВСТУП

При розробці місць створення корисних копалинь відкритим способом виємно-завантажувальних робіт є одні з основних виробничих процесів, а машини, що виконують ці роботи, — провідними машинними комплексами механізації. На відкритих гірничих роботах при розробці практично всіх видів корисних копалинь для виробництва вивантажо-завантажувальних робіт найбільше поширені одноковшові та багатоконшові кар'єрні екскаватори.

Умови роботи екскаваторів на кар'єрах відносяться до розряду досить важких. Найбільший вплив на їх експлуатаційні показники надають гірничо-геологічні, гірничо-технічні та погодно-кліматичні умови (технологічні властивості гірських порід, атмосферні осадки, температурний режим, завантаженість, значні навантаження та ін.), які визначають продуктивність машин, їх надійність і витрати на експлуатацію.

Розвиток відкритих гірських робіт в даний час забезпечується за рахунок збільшення глибини розробок і коефіцієнта вскриші на діючих підприємствах, що передбачає застосування великої єдиної потужності гірського і гірсько-транспортного обладнання.

Досвід експлуатації екскаваторів на кар'єрах в різних кліматичних зонах показує, що коефіцієнт використання машини не вище $0,35 \div 0,51$, що пояснюється недостатньою надійністю самих машин, так і невідповідністю умов експлуатації.

Удосконалення конструкцій кар'єрних екскаваторів пов'язано зі збільшенням місткості ковша, підвищенням експлуатаційної надійності і створенням машини виконання ХЛ для експлуатації в зонах холодного клімату при низьких температурах до -60°C .

Застосування потужних високопродуктивних екскаваторів і постійне ускладнення їх конструкцій вимагають забезпечення відповідності основних конструктивних умов експлуатації машин..

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. Характеристика електромеханічної системи, вибір електрообладнання та розрахунок статичних характеристик привода

1.1 Основні відомості про технологічний механізм, загальний вид, кінематика і режими роботи

Загальний вигляд гусеничного кар'єрного екскаватора ЕКГ-5 наведено на рис 1.1.

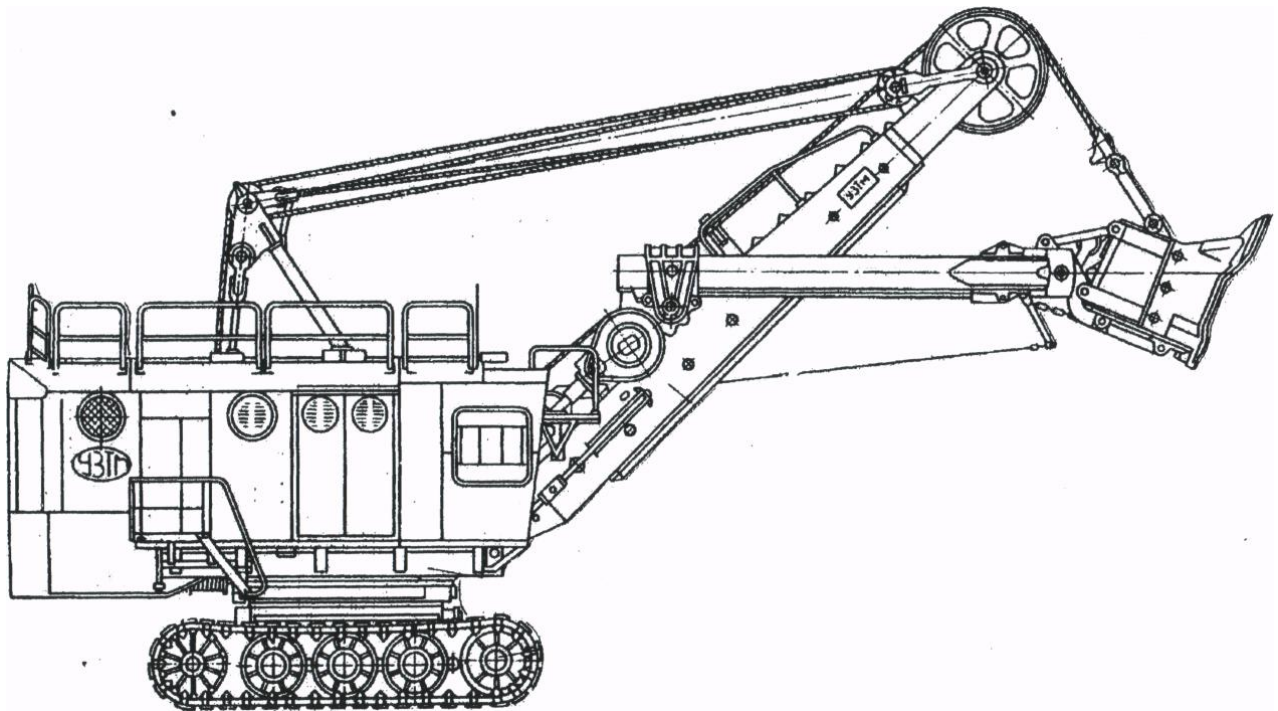


Рис. 1.1. Загальний вид екскаватору ЕКГ-5

Екскаватор ЕКГ-5А - (кар'єрна електрична повнопривідна лопата на гусеничному ході) - базова модель, що увібрала весь багаторічний досвід експлуатації та проектування – одна з найменших у розмірному ряду, але, машина широко розповсюджена. Виробництво ЕКГ було розпочато на Уралмашзаводі починаючи з моделі ЕКГ- 4 з ємністю ковша 4 кубічних метри. К нашому часу найбільш поширеною моделлю є ЕКГ-5А з ємністю ковша 5 кубометрів.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ документа.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дат</i>			
<i>Розробив.</i>	<i>Капінус А.А.</i>				РОЗДІЛ 2. Обґрунтування та розробка системи керування електроприводом.		
<i>Перевірів.</i>	<i>Федотов В.О.</i>						
<i>Рецензія.</i>							
<i>Н. Контр.</i>	<i>Федотов В.О.</i>						
<i>Затверд..</i>	<i>Пересунько І.І.</i>						
					<i>Літ.</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
						7	25
					Каф.ЕІ ЕЕМ-20		

Машина випускається починаючи з 1980 року, її базова модель має зубчасто-рейковий натиск. Це модель уніфікована з випущеним раніше - ЕКГ-4,6 Б. В нашій країні на відкритих гірничих роботах працює значна кількість цих екскаваторів, вони складають більше половини парку одноковшевих кар'єрних екскаваторів. Ї сьогодні вони залишаються основним обладнанням при розробці кар'єрів, розповсюджені в якості добувних машин на вугільних розрізах і рудниках, будівництві великих об'єктів і тощо.

Можна стверджувати із упевненістю, що істотної зміни структури екскаваторного парку в найближчому майбутньому не буде. Незважаючи на просування на ринку гідравлічних екскаваторів масою до 120 т від відомих світових виробників Hitachi, Terex, Komatsu, Caterpillar, ветеран ЕКГ-5А поки що залишається затребуваним. При експлуатації ЕКГ-5А значно менш витратний, ніж гідравлічний сучасний екскаватор, і помітно більш надійний. Інтенсифікація гірського виробництва в Україні торкнулася лише малої частини галузі. Порядок організації робіт на більшості кар'єрів не сприяє використати повною мірою можливості гідравлічних високопродуктивних екскаваторів, тому ефект від їхнього використання не настільки високий, щоб здійснювати масове переозброєння підприємства.

ЕКГ-5А - це проста конструкції, довговічність, надійність, плавне регулювання швидкостей, легкість у керуванні,. Від самого початку розрахований на екскавацію розпушеного матеріалу з об'ємною масою більше ніж 2 т/м^3 . Породи 1 й 2 категорій розробляються без попереднього розпушування, породи 3-й категорії й вище - після розпушування. Екскаватор призначений для використання в помірному кліматі з температурами від -40 до 40 °С, а також для тропіків на висоті не більше ніж 1000 м над рівнем моря. Конструктивно екскаватор ЕКГ-5А складається з наступних частин: ковш, стріла, кузов та інші.; основні збірні одиниці електроспорядження: шкаф, двигун, командоконтроллер, генератор, блок опору та інші.

Екскаватор ЕКГ-5А має наступню схему: двухбалочна рукоять,

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

двохгусенічний хід, що забезпечує мобільну роботу машини в будь-яких умовах. Напірний рейковий механізм с двохбалочною рукояттю, ходовий візок та стрілова лебідка забезпечує безвідмовну роботу в найрізноманітніших кліматичних і гірничо-геологічних умовах.

Схема рейкового напору із двохбалочною рукояттю виявилася настільки вдалою, що й наш час використовується при виробництві інших лінійок потужних кар'єрних механічних лопат. Жорстке з'єднання балок рукояті зі стрілою скрізь сідлові підшипники дозволяє ще більш ефективно працювати з "важкими" вибіями, особливо якщо є наявність негабаритних кусків гірської маси. Після висадження скельних порід завжди має місце вихід деякої кількості негабариту, частка якого екскавується далі без якого-небудь попереднього оброблення на місці. Якщо рукоять однобалкова із канатним напором, яка розвантажена від крутіння, то вона ускладнює роботу з погано розпушеними гірськими породами - під нерівномірним навантаженням на ріжучу крайку ківш разом з рукояттю трохи повертається по поздовжньої осі рукояті. Рейковий напірний механізм трохи складніше, ускладнюється конструкція стріли, на якій він розташовується. При цьому необхідно забезпечити передачу значних величин зусиль через зубчасте зачеплення рейок рукояті і кремальєрних шестірень, а також захистити стрілу від бічних навантажень тощо. Корпус стріли ЭКГ-5А має цільну конструкцію, зварений, з коробчастим перетином. У розточці головної частини стріли на осі установлені головні блоки, що вільно обертаються та обгинаються підйомним канатом. Блоки підвіски стріли розташовані на тягах. Стріла до поворотної платформи кріпиться за допомогою п'ят (виконаних на зразок вилки) та бічних тяг Вони сприймають бічні навантаження від стріли, що виникають в процесі повороту й черпання. На стрілі змонтовані також напірний механізм і механізм відкривання днища ковша.

Напірний механізм складається з наступних складових: електродвигуна, двоступінчастого циліндричного редуктора (що убудований у плиту корпуса стріли), та двох сідлових підшипників.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

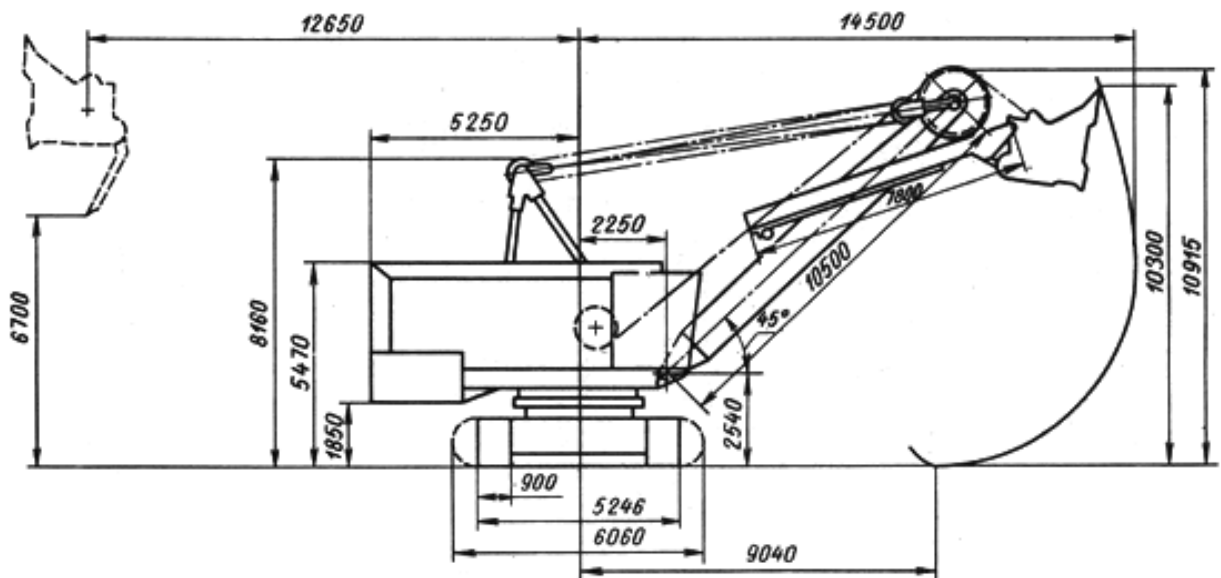


Рис.1.1.Зовнішній вигляд з габаритними розмірами екскаватору ЕКГ-5А

Параметри	ЭКГ 5А	ЭКГ 5В	ЭКГ 5Д
Місткість основного ківша, м ³	5,2		
Місткість змінних ківшів, м ³	3,2; 4,6; 6,3; 7		
Найбільший радіус черпання, м	14,5		
Радіус черпання на рівні стояння, м	9,04		
Найбільша висота черпання, м	10,3		
Найбільший радіус вивантаження, м	12,65		
Найбільша висота вивантаження, м	6,7		
Радіус хвостовий частини, м	6,7	6,5	6,5
Просвіт під поворотною платформою, м	1,89		
Гусеничний хід, довжина, м	5,83		

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6

Арк.

10

Гусенична лента, ширина, мм	900/1100/1400		
Поточний середній тиск на ґрунт, при переміщенні, кгс/см ²	2,1/1,72/1,3	2,19/1,79/1,52	2,1/1,72/1,3
Поточний середній тиск на ґрунт, при переміщенні, кПа	205/162/127	215/176/149	205/162/127
Зусилля найбільше на підвісці ківшу, кН	-	500	500
Тривалість циклу розрахункова на кут 90 ⁰ , с	23	26	23
Кут підйому найбільший, що долається, рад (град)	0,2(12)		
Швидкість переміщення, по горизонталі, км/час	0,55		
Напруга мережі живлення, кВ	3; 3,3; 6; 6,6	3; 3,3; 6; 6,6	-
Тип системи електроприводу	Г-Д с МУ *	Г-Д с МУ *	Дизель- електричний
Потужність мережевого двигуна, кВт (трансформатора, кВА)	250	250(400)	
Робоча маса, т	196	207	195

Передача крутного моменту від двигуна до редуктору здійснюється через спеціальний запобіжний пристрій, що містить фрикційні колодки й шків.

Цей пристрій відіграє роль муфти граничного моменту. При роботі з "важкими" вибоями фрикційні колодки трохи ослаблені, це дозволяє прослизати в редукторі провідному валу відносно зубчастого колеса, що знаходиться у зачепленні з моторною шестірнею. За рахунок цього привод

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

запобігається від перевантажень. Сідлові підшипники обертаються вільно на латунних втулках, мають змінні бічні й верхні чавунні ковзуни, що працюють опорами для балок рукояті.

Конструкція рукояті - суцільнозварна. До балок корпусу рукояті приварені зубчасті рейки.). До кінців балок рукояті кріплять болтами штамповані кінцеві упори, це щоб балки рукояті не виходили із сідлового підшипника. В отвори вушок корпусу запресовані сталеві змінні втулки. Зубчасті рейки - швидкозношувані деталі, їх періодично заміняють. Для встановлення рукояті на старих моделях (ЕКГ-4, ЕКГ-4,6) потрібна заміна сідлових підшипників. Взагалі ЕКГ-4 й ЕКГ-4,6 й дотепер працюють на багатьох кар'єрах, що підкреслює виняткову надійність механічної лопати. У цілому машина дуже живуча й при правильному й своєчасному проведенні ремонтів і технічних обслуговуваннях задовільно працює в найтяжких умовах. Фактично ресурс машини становить десятки років.

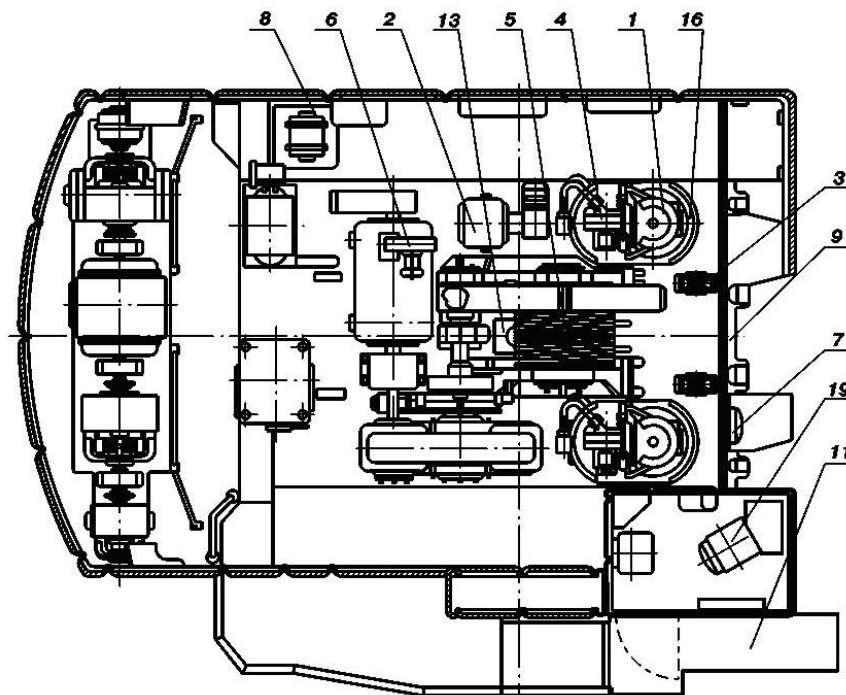


Рис.1.2.Зовнішній вигляд основних електроприводів екскаватора ЕКГ-5А на поворотній платформі(вид зверху)

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк. 12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1-перетворювальний агрегат; 2-корпус противаги, 3 – шафа розподільного пристрою, 4- платформа, 5 – рама, 6- кабіна машиніста, 7 - трансформатор; 8 - двигун підйому, 9 – компресор, 10 - компресорна установка 11 – центральна цапфа, 12- редуктор з барабаном підйому, 13 – підйомна лебідка, 14 – редуктори повороту, 15 – місце машиніста, 16 – оглядова площадка екскаваторника.

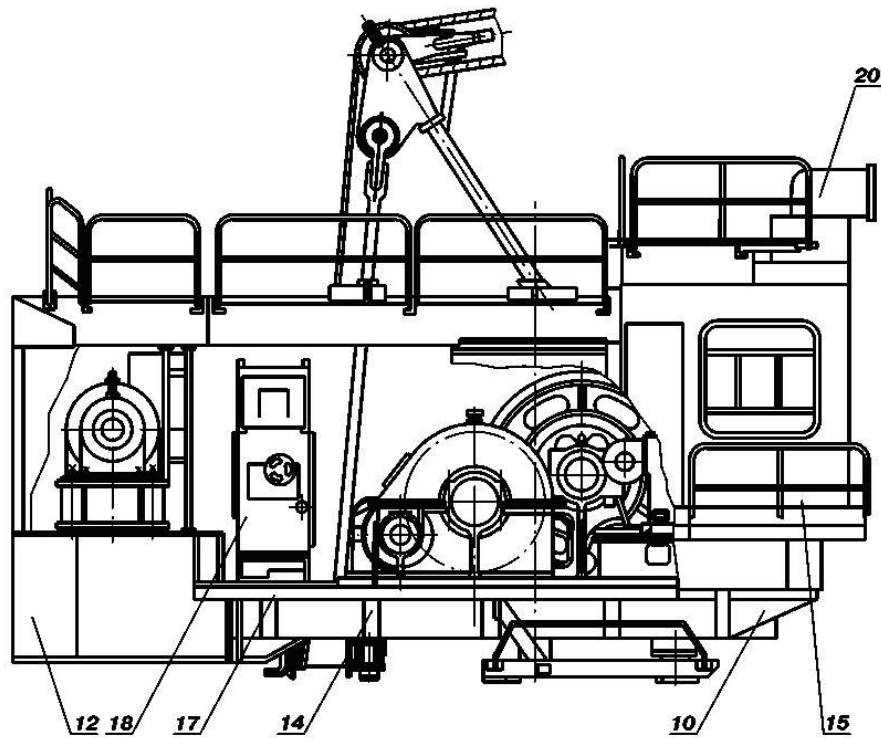


Рис 1.3 Поворотна платформа ЕКГ-5 (вид збоку)

Кінематична схема лебідки підйому кар'єрного екскаватора ЕКГ-5 наведено на рис 1.4.. Лебідка приводиться в рух одним електродвигуном постійного струму потужністю 200 кВт. Момент від двигуна передається через редуктор до барабану лебідки. Гальмування підйомної лебідки при роботі проводиться двигуном, а для аварійних й екстрених випадків передбачені пневматичні гальма, які є також стояночними гальмами. До складу механізму підйому також входить шафа керування електроприводом, привідний двигун й лебідка.

										ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк. 13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							

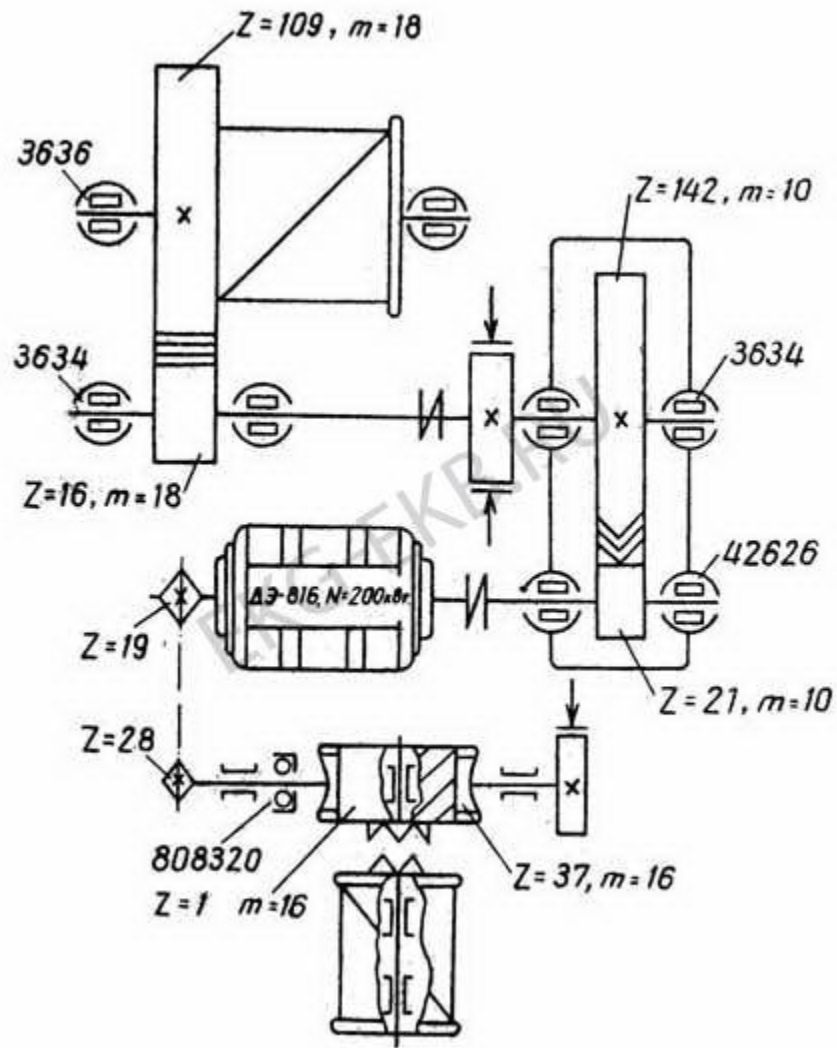


Рис. 1.4. Кінематична схема механізму підйому екскаватора ЕКГ – 5

1.2 Обґрунтування і вибір системи електропривода.

Для здійснення автоматичного регулювання необхідно задіяти керовані перетворювачі і регулятори, що дозволяють автоматично під впливом зворотних зв'язків здійснювати відповідне регулювання координат електропривода, у нашому випадку струму і швидкості. Найбільш широко використовуються електромашинні і вентильні керовані перетворювачі напруги постійного струму і частоти змінного струму і відповідні системи ЕП. На рис. 1.5 наведена стандартна електрична однолінійна схема екскаватора ЕКГ-5. Вона містить групи приводів підйому, напору, обертання та ходу.

										Арк.
										14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6					

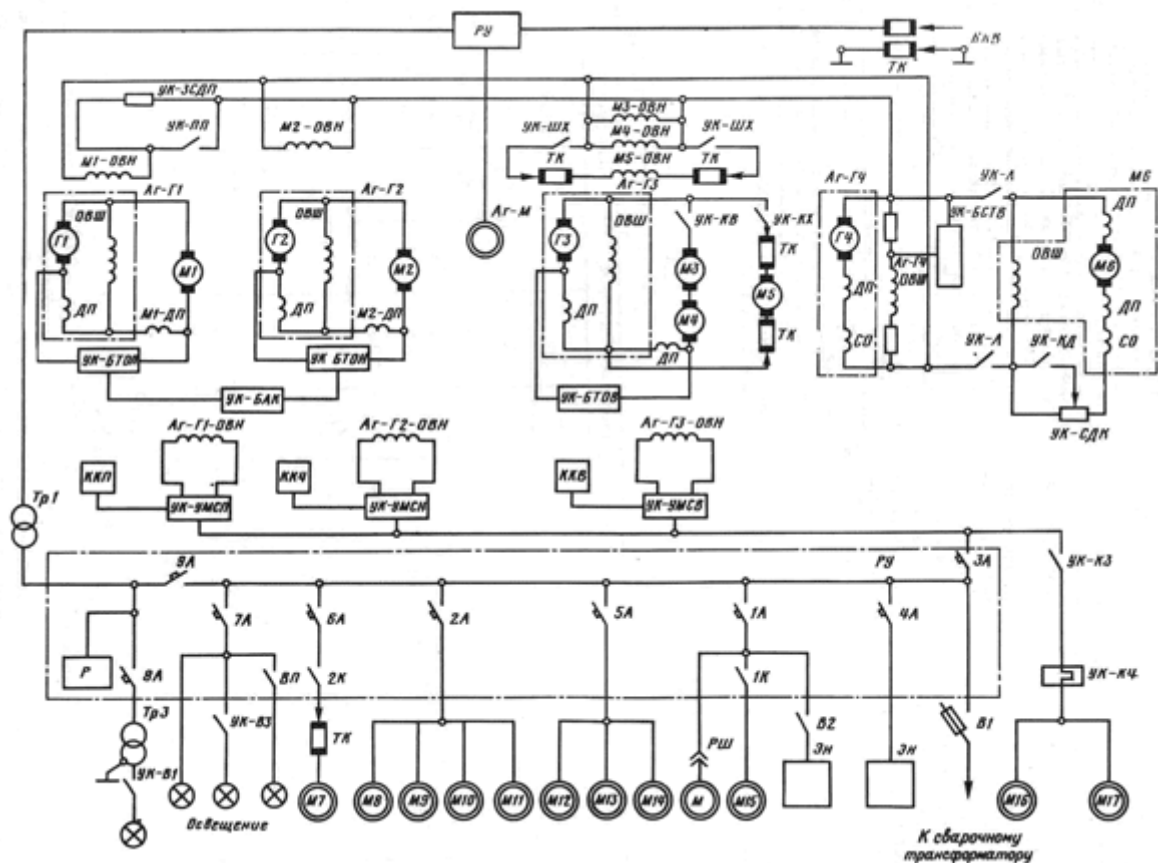


Рис. 1.5. Схема електрична однолінійна

Вибір раціонального способу регулювання з можливих є важливим завданням, що вирішується при проектуванні електропривода. Посеред широко відомих відпрацьованих систем приводу слід відмітити наступні: система генератор – двигун (Г-Д); система тиристорний перетворювач - двигун (ТП-Д); система перетворювач частоти - асинхронний двигун (ПЧ-АД). Також струм і швидкість можна змінювати шляхом реостатного регулювання.. Всі перераховані вище систем мають ряд переваг і недоліків, аналіз яких при врахуванні технічних вимог і специфіки робочого механізму дозволяє здійснити правильний вибір системи електроприводу. Істотні переваги асинхронного двигуна, які витікають з його високої надійності, визначають безсумнівну перспективність систем ПЧ-АД. Однак регулювання частоти є технічно більш складне завдання, ніж регулювання випрямленої напруги, тому що, як правило, вимагає додаткових ступенів перетворення енергії.

Доречи, коефіцієнт корисної дії системи ПЧ-АД нижче, ніж у системі ТП-Д, нижче швидкодія та економічність.

Розглядаючи спосіб реостатного регулювання, не можна не відмітити його низьку точність і діапазон регулювання, невисоку плавність, а також погані масогабаритні показники (через наявність резисторів, комутуючих пристроїв) і зниження ККД при збільшенні діапазону регулювання. Проте даний спосіб досі привабливий своєю простотою і невисокими витратами на реалізацію.

Система ТП-Д. Ця система в наш час має широке розповсюдження через її безсумнівні переваги. Вона більш економічна, володіє високою швидкодією (постійна часу T_p напівпровідникового СІФУ не перевищує 0,01 с), має досить високий ККД. Втрати енергії в тиристорах при протіканні номінального струму становить 1-2% номінальної потужності приводу. Недоліками тиристорного перетворювача є змінюваний в широких межах $\cos\alpha$, і значне спотворення форми струму, спожитого з мережі.

Основними перевагами системи Г-Д є відсутність спотворень споживаного з мережі струму і відносно невелике споживання реактивної потужності. При застосуванні в перетворювальних агрегатах синхронного двигуна можна забезпечити роботу ЕП для компенсації реактивної потужності, споживаної іншими установками. На жаль, системі Г-Д притаманні серйозні недоліки, пов'язаних з триразовим перетворенням енергії. Звідси витікають низькі масогабаритні та енергетичні показники, тобто характерний низький загальний ККД системи. Сприятливі регулювальні можливості досягаються ціною істотних витрат дефіцитної міді, високоякісної сталі і праці.

Для гірських механізмів і інших машин з особливо важкими умовами їхньої роботи основним критерієм вибору їхніх електроприводів є їхня надійність. Через високу вартість підприємство не може собі дозволити тримати значний резервний парк машин, а їхній раптовий простій на непередбачений ремонт також дорого обходиться, через зниження продуктивності праці, тобто, падіння техніко-економічних показників підприємства.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Серед розгляданих систем електропривода, таких як Г-Д, ТП-Д, ВД, ПЧ-АД й ПЧ-СД, перший є одним із самих кращих, тому що, незважаючи на трохи високу вартість поточного обслуговування (через необхідність постійного проточування та продорожування колекторів машин постійного струму, чищення колекторів від вугільного пилу й тощо), вона є надійною в умовах тряски й вібрацій, а також найбільш простою у ремонті й налагодженні (для таких систем не потрібно настільки висока кваліфікація обслуговуючого персоналу, як для систем ПЧ, ВД і тощо).

У старому варіанті регулювання швидкості двигуна підйому здійснювалося за рахунок зміни напруги генератора, тобто зміною струму збудження генератора. Тому що обмотка збудження генератора є високоінерційним ланцюгом, то для форсування швидкості перехідних процесів доводиться використовувати форсування по напрузі. Швидкодію системи привода (що зробити необхідно, тому що екскаватор часто піддається піковим навантаженням, аж до стопорних), можна збільшити через встановлення широтно-імпульсного перетворювача ланцюга постійного струму, встановленого між штатним генератором перетворювального агрегату і двигуном підйому. Зрозуміло, що використання системи ШПП-Д передбачає керування шпаруватістю, а не збудженням генератора постійного струму. Питання швидкодії є визначальним й у випадку порівняння систем ТП-Д і ШПП-Д: у системі ТП-Д через запізнювання, пов'язаного із природним запиранням тиристорів, швидкодія буде значно менше, ніж у системі ШПП-Д, де напівпровідниковий ключ можна включити або виключити в будь-який момент, незалежно від будь-яких інших умов.

Останнім показником, за яким перевагу слід віддати ШПП перед ТП, є масогабаритний показник - у ШПП він у кілька разів менше, ніж у ТП, що має чимале значення при додатковому розміщенні в машинному приміщенні екскаватору.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Огляд довідкової літератури й сайтів виробників силової електронної апаратури привів до висновку, що масове виробництво ШПІ налагоджене тільки для верстатного й робототехнічного застосування на потужності в десятки кіловат. Однак це не означає, що модернізація екскаватору за допомогою ШПІ стає неможливою. Справа в тому, що в продажі масово пропонуються високовольтні силові IGBT-модулі на тисячі амперів і вольт. Системи керування для модулів на різні струми й потужності практично однакові, розходження є тільки в коефіцієнтах об'єкта керування.

1.3 Розрахунок потужності і вибір електродвигуна.

Визначаємо основні розміри, маси й ваги екскаватора й робочого встаткування.

Маса всього екскаватора $m_{екс} = k_{екс} E_l = 40 \cdot 5 = 200$ т.

Розміри ковша:

$$b_{к.л} = 1,3 \sqrt[3]{E_l} = 1,3 \sqrt[3]{5} = 2,23 \text{ м};$$

$$l_{к.л} = 0,77 \cdot b_{к.л} = 0,77 \cdot 2,23 = 1,712 \text{ м};$$

$$h_{к.л} = 0,75 \cdot b_{к.л} = 0,75 \cdot 2,23 = 1,667 \text{ м}.$$

Маса й вага ковша:

$$m_{к.л} = 1,15 C_{к.л} E_l = 1,15 \cdot 1,5 \cdot 5 = 8,625 \text{ т};$$

$$G_k = m_{к.л} g \cdot 10^2 = 8,625 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 8,461 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Розміри стріли й рукояті:

$$L_{СТ} = k_{lc} \cdot \sqrt[3]{m_{ЕКС}} = 1,82 \cdot \sqrt[3]{200} = 10,64 \text{ м};$$

$$L_P = k_{lp} \cdot \sqrt[3]{m_{ЕКС}} = 1,2 \cdot \sqrt[3]{200} = 7,018 \text{ м}.$$

Де K_{lc} , K_{lp} - лінійні коефіцієнти, що залежать від розмірів екскаватора (у нашому випадку $K_{lc} = 1,82$, $K_{lp} = 1,2$)

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Маса й вага двобалкової рукояті:

$$m_p = C_p m_{к.л} = 0,9 \cdot 8.625 = 7.763 \text{ т};$$

$$G_p = m_p g \cdot 10^2 = 7.763 \cdot 9,81 \cdot 10^3 = 7.615 \cdot 10^4 \text{ Н.}$$

Висота напірного вала

$$L_H = k_{LH} \sqrt[3]{m_{экс}} = 1,1 \cdot \sqrt[3]{200} = 6.433 \text{ м.}$$

Висота п'яти стріли

$$L_{II} = K_{II} \cdot \sqrt[3]{m_{экс}} = 0.45 \cdot \sqrt[3]{200} = 2.635 \text{ м.}$$

Максимальна висота копання

$$L_{КОП} = K_{КОП} \cdot \sqrt[3]{m_{экс}} = 1.75 \cdot \sqrt[3]{200} = 10.234 \text{ м.}$$

Коефіцієнти в приведених формулах прийняті відповідно по додатках I, III, IV.

За отриманим даними в масштабі виконують розрахункові схеми робочих положень екскаватора (рис. 1.6) і визначають зусилля й потужність двигуна механізму підйому в окремі періоди роботи екскаватора протягом одного циклу.

м)

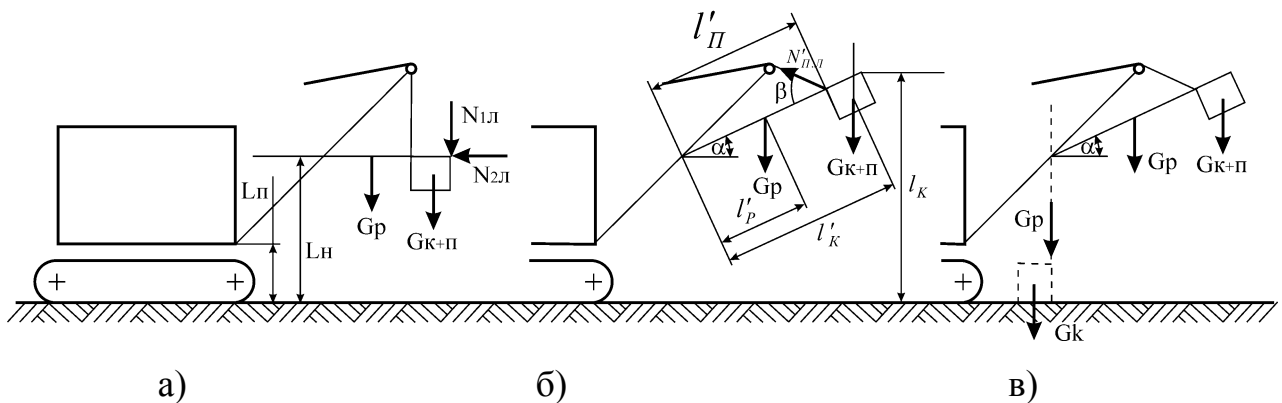


Рис. 1.6. Схеми положення ковша і рукояті механічної лопати для визначення зусиль

Опір породи копанню

$$N_{in} = \frac{K_{к.л} \cdot E_l \cdot 10^5}{L_3 \cdot K_p},$$

$K_{к.п.}$ - питомий опір породи копанню, залежний від характеру породи. ($K_{к.п.} = 1.5-3$ -а категорія породи - глина середня або важка, розпушення, суглинок щільний), L_3 - висота забою, K_p - коефіцієнт розпушення породи

$$N_p = \frac{1,2 \cdot 5 \cdot 10^5}{6,43 \cdot 1,3} = 8,97 \cdot 10^4 \text{ (Н)}$$

Вага ковша з породою

$$G_{к + пор} = G_{к} + G_{поро} = 9,81 \cdot \left(\frac{E \cdot \varphi_{поро}}{K_p} + m_k \right)$$

$\varphi_{поро} = 2.7 \text{ т/м}^3$ - щільність розпушення породи в ціліні

$$G_{к + пор} = 9,81 \cdot \left(\frac{5 \cdot 2,7}{1,3} + 8,625 \right) \cdot 10^3 = 18,65 \cdot 10^4 \text{ (Н)}$$

Сила тяжіння рукояті

$$G_{p'} = \frac{G_p \cdot L_{c'}}{L_p} = \frac{7,615 \cdot 10^4 \cdot 3,8}{7} = 4,134 \cdot 10^4 \text{ (Н)}$$

Зусилля при копанні

$$N_{пл} = \frac{N_{1n} \cdot l_1 + G_{к.п.} \cdot l_k + G_{p'} \cdot l_p}{l_p} = \frac{8,97 \cdot 5,3 + 18,65 \cdot 4,4 + 4,134 \cdot 1,9}{3,8} \cdot 10^4 = 36,17 \cdot 10^4 \text{ (Н)}$$

Потужність при копанні

$$P_{пл} = \frac{N_{пл} \cdot V_{пл}}{\eta_{пл}} \cdot 10^3$$

$V_{пл} = 0,8 \text{ м / с}$ - швидкість переміщення підйимального механізму

$\eta_{пл} = 0,85$ - ККД підйимального механізму

$$P_{пл} = \frac{36,17 \cdot 10^4 \cdot 0,8}{0,85} \cdot 10^{-3} = 340 \text{ (кВт)}$$

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зусилля при повороті навантаженого ковша на розвантаження

$$N_{пл}' = \frac{Gk + n \cdot lk' \cdot \cos\alpha + Gp \cdot lp' \cdot \cos\alpha}{ln' \cdot \sin\beta} = \frac{18.65 \cdot 10^4 \cdot 7.1 \cdot \cos 20 + 7.615 \cdot 3.5 \cdot \cos 20}{7 \cdot \sin 51} = 27.38 \cdot 10^4 \text{ (Н)}$$

Потужність при повороті на розвантаження

$$P_{пл}' = 0.2 \cdot \frac{N_{пл}' \cdot V_{пл.л.}}{\eta_{пл.л.}} \cdot 10^3 = 0.2 \cdot \frac{27.38 \cdot 10^4 \cdot 0.8}{0.85} \cdot 10^{-3} = 51.54 \text{ (кВт)}$$

Зусилля при повороті порожнього ковша у забій

$$N_{пл}'' = \frac{Gk \cdot lk \cdot \cos\alpha + Gp \cdot lp' \cdot \cos\alpha}{ln' \cdot \sin\beta} = \frac{8.461 \cdot 7.1 \cdot \cos 20 + 7.615 \cdot 3.5 \cdot \cos 20}{7 \cdot \sin 51} = 14.9 \cdot 10^4 \text{ (Н)}$$

Потужність з порожнім ковшем

$$P_{пл}'' = 1.2 \cdot \frac{N_{пл}'' \cdot V_{пл.л.}}{\eta_{пл.л.}} \cdot 10^3 = 1.2 \cdot \frac{14.9 \cdot 10^4 \cdot 0.8}{0.85} \cdot 10^{-3} = 168.6 \text{ (кВт)}$$

Середньозважена потужність двигуна механізму підйому

$$P_{н.л.} = \frac{P_{н.л.} \cdot t_{к.п.} + P_{н.л.}' \cdot t_{р.л.} + P_{н.л.}'' \cdot t_{з.л.}}{t_{цл.}} = \frac{23}{3} \cdot (340.4 + 51.54 + 168.6) = 176.8 \text{ (кВт)}$$

$$t_{к.п.} = t_{р.л.} = t_{з.л.} = 1/3 t_{цл.п}$$

Потужність електродвигуна визначається за методом еквівалентного моменту:

$$P_{0\phi} \geq K_z \omega_y \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + M_2^2 t_2 + \dots + M_n^2 t_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n + t_o}} = 1.2 \cdot 78 \cdot 0.2062 \cdot 10^4 = 192 \text{ (кВт)}$$

Двигун обираємо серії ДЕ-816У2(Т2) з параметрами:

						ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			21

$$P_{\delta} = 200 \text{ (кВт)};$$

$$U_{\delta} = 440 \text{ (В)};$$

$$I_{\delta} = 490 \text{ (А)};$$

$$n_{\delta} = 750 \text{ (об / мин)};$$

$$I_{\text{об}} = 21 \text{ (А)};$$

$$R_{\text{об}} = 3,14 \text{ (Ом)};$$

$$R_{\text{доп.п.}} = 0,0057 \text{ (Ом)}$$

$$\eta_H = 93 \text{ \%}.$$

1.4 Розрахунок перетворювача, вибір елементів силової частини та елементів захисту

Вибір генератору для приводу підйому та мережевого двигуну

Вихідними параметрами для вибору перетворювального агрегату **якірного кола** приводу підйому є наступні параметри двигуну підйому:

Номінальна напруга	$U_{\text{ян}} = 440 \text{ В};$
Номінальна потужність	$P_H = 200 \text{ кВт};$
Номінальний струм	$I_H = 490 \text{ А}.$

Виходячи з вищенаведених даних, генератор для даної системи обираємо серії **ПЕМ 2000М-1У2(Т2)** з параметрами:

$$P_2 = 200 \text{ (кВт)}$$

$$U_2 = 460 \text{ (В)}$$

$$I_2 = 435 \text{ (А)}$$

$$n_2 = 1480 \text{ (об / мин)}$$

$$I_{\text{св}} = 4,35 \text{ (А)}$$

$$I_{\text{нв}} = 12,8 \text{ (А)}$$

$$R_{\text{доп.п.}} = 0,00481 \text{ (Ом)}$$

$$\eta_H = 92.3 \text{ \%}$$

$$J = 6.9 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір тиристорного перетворювача для живлення обмотки збудження генератору підйому здійснюється за умовами:

$$U_{mз} \geq 2U_{зген}; I_{mз} \geq 2I_{зген}; I_{mз} \geq 2 \cdot 12.8 = 25.6 \text{ А}$$

Для даних умов обираємо тиристорний перетворювач серії ПТЕМ-2Р1 з параметрами:

$$P_H = 8 \text{ (кВт)}$$

$$U_{сн} = 220 \text{ (В)}$$

$$U_{дн} = 110 \text{ (В)}$$

$$I_{дн} = 30 \text{ (А)}$$

Вибір мережевого двигуну провадиться з урахуванням того, яке обладнання може ще одночасно працювати. Так, відомо, що привід напору потужністю 50 кВт (2ПСМ400М-У2[Т2], 50 кВт, 375 В, 133 А, 1480 об/хв) може працювати одночасно з приводом підйому потужність 200 кВт (тобто сумарна потужність складе $200 + 50 = 250$ кВт). Генератор повороту-ходу потужністю 132 кВт (2ГПС-13-14/2-У2[Т2], 132 кВт, 610 В, 217 А, 1480 об/хв.) при повороті здійснює переміщення гірської маси, у той час як приводи підйому та напору не здійснюють активної роботи з породою, тільки утримуючи навантажений ківш, тобто підйом та напір будуть значно недовантажені, за потужністю. При виконанні переміщення екскаватору усі останні технологічні механізми не працюють взагалі. Генератор відкривання днища ківшу потужністю 15 кВт теж працює, коли механізми усі стоять, здійснюючі тільки утримання стріли з теж невеличким навантаженням. Тому остаточний вибір мережевого двигуну оберемо тільки враховуючи потужності механізмів підйому та напору.

$$P_{мер} \geq P_{нап} + P_{під} = 50 + 200 = 250 \text{ кВт}$$

$$\omega_{дмер} = \omega_{гнап} = \omega_{гпід}$$

Вибираємо високовольтний асинхронний мережевий електродвигун типу АЄ-113-4 У2 [Т2] з параметрами: 250 кВт, 6 кВ, 28,7 А, 1480 об/хв, 50 Гц.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір датчика швидкості здійснюється з синхронних 3-фазних тахогенераторів з постійними магнітами. Обираємо тахогенератор типу ТГС-12Э з параметрами, враховуючи потрібну швидкість 750 об/хв:

Кількість фаз	3
Кількість полюсів	12
Частота обертання: - номінальна, мин^{-1} - максимальна, мин^{-1}	750; 1500
Лінійна напруга: - при номінальній частоті обертання, В - при максимальній частоті обертання, В	30; 60
Крутизна вихідної напруги, на холостому ходу, В/хв^{-1}	$40 \pm 0,6$
Нелінійність вихідної напруги в діапазоні частот обертання від 50 до 750 мин^{-1} , %, не більше	2,5
Струм навантаження при номінальній частоті обертання, мА, не більше	30
Момент інерції ротору, кг/м^2	$7,7 \cdot 10^{-1}$
Обертання валу	Реверсивне

Вибір датчику струму здійснюється з урахуванням датчиків Холлу з рівнем розв'язки 1000 – 1500 В. Виходячи з номінального струму двигуна 490 А, знаходимо датчик тока Холла АНКС-BS з наступними параметрами:

Номінальний вхідний струм, еф. знач.: **0~(20-500)А**

Точність: **0.5 клас**

Номінальна вихідна напруга: **$\pm 5\text{В}/\pm 4\text{В}$**

Джерело живлення: **$\pm 12 \dots 15 \text{ В}$**

Лінійність: не більш **0.2%FS**

Час реакції: не більше **5 μs**

Напруга ізоляції: **2.5 кВ/50 Гц/1 хвилини.**

Потрібна потужність: не більш **0.5W**

Вибір датчику напруги здійснюється виходячи з номінальної напруги двигуна 440 В. Для даної системи обираємо датчик напруги LV 25-P/SP5 з параметрами $V_{PN} = 10 \dots 1500 \text{ В}$:

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Електричні параметри

I_{PN}	Номінальний вхідний струм, еф. значення	10	мА
I_P	Діапазон перетворення	0 .. ± 14	мА
R_M	Величина навантажувального резистора	$R_{M \min}$ $R_{M \max}$	
	при ± 15 В	100	340 Ом
	при ± 10 мА _{max}	100	180 Ом
	при ± 14 мА _{max}		
I_{SN}	Номінальний аналоговий вихідний струм	25	мА
K_N	Коефіцієнт перетворення	2500 : 1000	
V_C	Напруга живлення (± 5%)	± 15	В
I_C	Струм споживання	10 + I_S	мА
V_d	Електрична міцність ізоляції	, 50 Гц, 1 мин ¹⁾	кВ

1.5 Складання схеми заміщення, математичний опис і розрахунок механічних і енергетичних характеристик

Складемо схему заміщення:

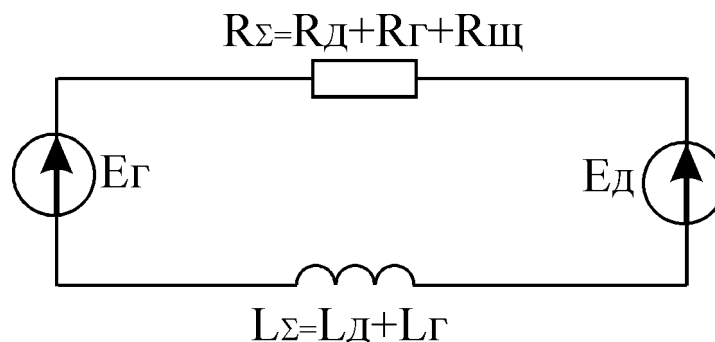


Рис. 1.7. Схема заміщення привода екскаватору

Тут E_g – е.р.с. генератора, E_d – проти-е.р.с. двигуну; L_d – індуктивність двигуну; L_g – індуктивність генератора, $R_{щ}$ - активний опір щіткового контакту.

Активний опір яірної обмотки генератора:

$$R_{\Gamma} = \alpha \cdot \frac{U_H}{I_H} \cdot \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right) = 0,4 \cdot \frac{460}{435} \cdot \left(\frac{1 - 0,923}{0,923} \right) = 0,035$$

де $\alpha = 0,3 \dots 0,5$ - для двигунів постійного струму незалежного збудження.

Тоді коефіцієнт потоку генератора номінальний:

$$k\Phi_{HG} = \frac{U_H - I_H \cdot R_{яГ}}{\omega_{НОМ}} = \frac{460 - 435 \cdot 0,035}{154,9} = 2,87 \text{ В} \cdot \text{с}$$

Активний опір якірної обмотки двигуну:

$$R_{Д} = \alpha \cdot \frac{U_H}{I_H} \cdot \left(\frac{1 - \eta_H}{\eta_H} \right) = 0,5 \cdot \frac{440}{490} \cdot \left(\frac{1 - 0,93}{0,93} \right) = 0,034 ,$$

Коефіцієнт потоку двигуну номінальний:

$$k\Phi_{HD} = \frac{U_H - I_H \cdot R_{яД}}{\omega_{НОМ}} = \frac{440 - 490 \cdot 0,034}{78,5} = 5,39 \text{ В} \cdot \text{с}$$

Індуктивність якоря генератора (за формулою Уманського):

$$L_{\Gamma} = k \cdot \frac{U_H}{I_H} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot p \cdot n_{НОМ}} = 5 \cdot \frac{460}{435} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 1480} = 0,00569 \text{ Гн}$$

Індуктивність якоря двигуна (за формулою Уманського):

$$L_{Д} = k \cdot \frac{U_H}{I_H} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot p \cdot n_{НОМ}} = 5 \cdot \frac{440}{490} \cdot \frac{60}{2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 750} = 0,0095 \text{ Гн}$$

Сумарний опір щіткових контактів:

$$R_{щ} = \frac{\Delta U_{щ}}{I_{HG}} = \frac{2}{490} = 0,004 \text{ Ом.}$$

Коефіцієнт передачі широтно-імпульсного перетворювача:

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$K_{III} = \frac{U_{III}}{U_{BX}} = \frac{440}{10} = 44$$

Сумарний опір схеми заміщення:

$$R_{\Sigma} = R_{Д} + R_{Г} + 2 \cdot R_{III} = 0,035 + 0,034 + 2 \cdot 0,004 = 0,077 \text{ Ом}$$

Сумарна індуктивність схеми заміщення:

$$L_{\Sigma} = L_{Д} + L_{Г} = 0,0095 + 0,00569 = 0,015 \text{ Гн}$$

Електромагнітна постійна часу

$$T_E = \frac{L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = \frac{0,015}{0,077} = 0,195 \text{ с}$$

Електромеханічна постійна часу

$$T_M = \frac{(J_{ДВ} + J_{МЕХ}) \cdot R_{\Sigma}}{k\Phi_{HD}^2} = \frac{(20,33 + 128) \cdot 0,077}{5,39^2} = 0,394 \text{ с}$$

де $J_{ДВ} = 0,005 \cdot M_H^{1,5} = 0,005 \cdot 2547,7^{1,5} \approx 20,33 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

$J_{МЕХ}$ розраховується наступним чином. Вона визначається моментом інерції від повністю заповненого ковша з породою, канат від якого намотується через головний блок діаметром 1920 мм (1,92 м):

$$J_{МЕХ} = J_{К+П} = m_{К+П} \cdot R_{Г.Б.}^2 = 19011 \cdot \left(\frac{1,92}{2}\right)^2 = 17520 \text{ кгм}^2$$

С урахуванням коефіцієнта приведення поліспасти $i_{П} = 2$ та коефіцієнту передачі редуктора $i_{ред} = 40,9$ (см. рис. 1.4), а також діаметра барабана підйомної лебідки, момент інерції, приведений к валу двигуну, буде дорівнюватися:

$$J_{ПР} = \frac{J_{К+П}}{\left(\frac{i_{П} \cdot i_{ред}}{D_B / 2}\right)} = \frac{17520}{\left(\frac{2 \cdot 40,9}{0,6}\right)} = 128 \text{ кгм}^2$$

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Постійна часу обмотки збудження генератора (за формулою Жюильяра):

$$T_B = \sqrt{\frac{1000 \cdot P_H \cdot \pi}{30 \cdot \omega_H \cdot \epsilon \cdot p}} = \sqrt{\frac{1000 \cdot 200 \cdot \pi}{30 \cdot 154,9 \cdot \epsilon \cdot 4}} = 0.72 \text{ с.}$$

Постійну часу ШПП приймемо на рівні 0,001 с, що відповідає частоті комутації ШПП 1000 Гц.

Розрахунок швидкісних характеристик системи електропривода. Для розрахунку цих характеристик використовуємо вираження:

$$\omega = \frac{U_G \cdot \gamma - I_A \cdot R_\Sigma}{k\Phi_{HD}} = \frac{460 \cdot \gamma - I_A \cdot 0.077}{5.39},$$

при фіксованих шпаруватістях ($\gamma = 0.4, 0.6, 0.8, 1.0$) і різному навантаженню на валу (від 0 до 1100 А):

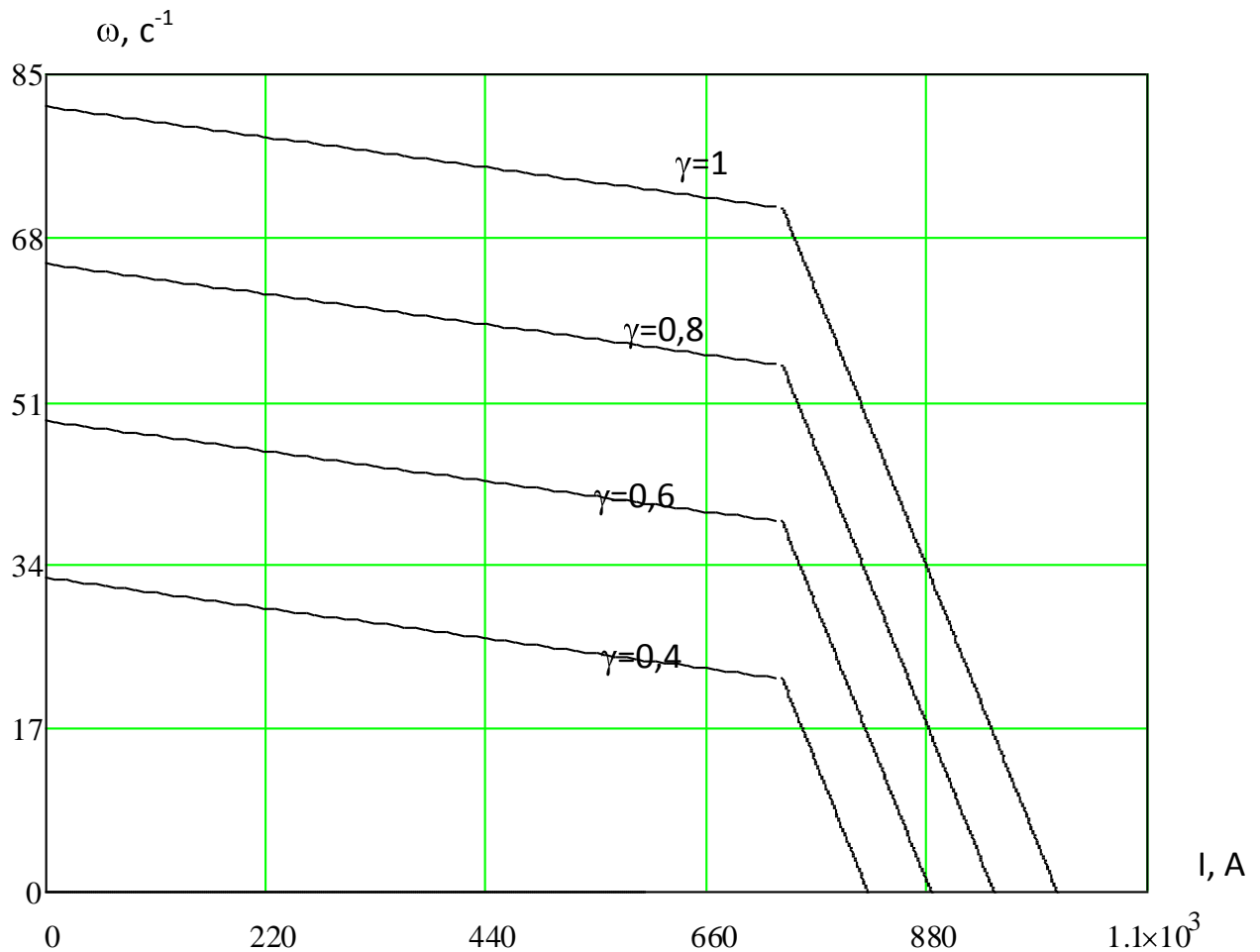


Рис. 1.8. Залежності швидкості від струму при різних фіксованих величинах шпаруватості γ

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Тут формула відображає побудування першої, жорсткої ділянки характеристики. Полога ділянка характеристики будується при введенні в систему керування струмової отсічки величиною $1,5I_n = 735$ А, з такою величиною коефіцієнту зворотного зв'язку за швидкістю, щоб струм уперся при величині $2I_n$, тобто 1010 А.

Розрахунок механічних характеристик системи ШП-Д. Розрахунок провадиться за формулою:

$$M = k\Phi_{нд} \cdot I_A,$$

де використовуються значення I_A , узяті з розрахованих раніше швидкісних характеристик. Відповідно значення швидкості також беруться звідти.

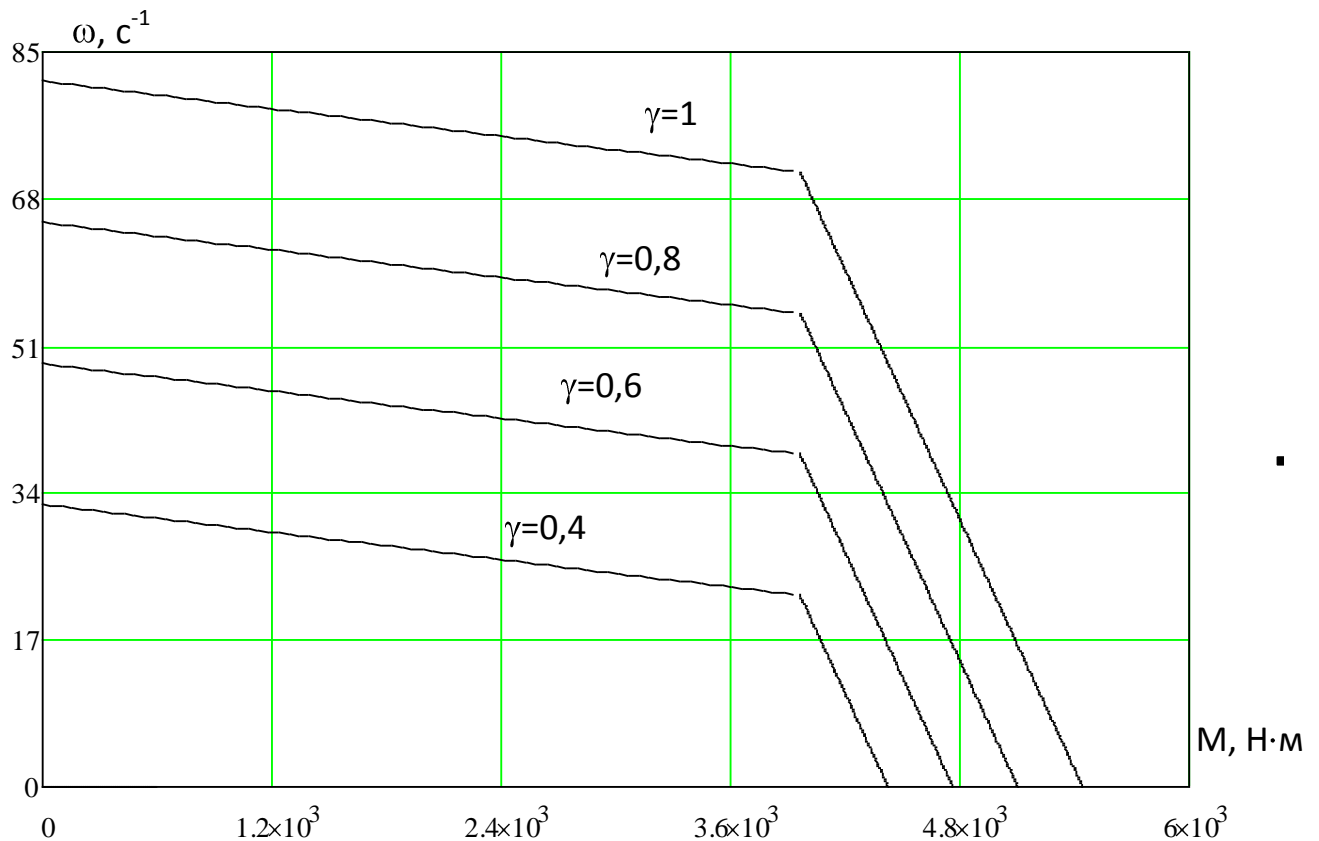


Рис.1.9. Механічні характеристики привода підйому екскаватору при різних значеннях шпаруватості γ : 1, 0,8, 0,6, 0,4

Розрахунок енергетичних характеристик. Розрахунок к.к.д. ЕП підйому робимо відповідно до нижчеподаної формули:

$$\eta = \frac{M \cdot \omega}{M \cdot \omega + I_{я}^2 \cdot R_{\Sigma} + 2 \cdot \Delta U \cdot I_{я}}$$

Графіки результатів розрахунку к.к.д. ЕП підйому екскаватору при різних значеннях шпаруватості ($\gamma = 1, 0.8, 0.6, 0.4$) у функції швидкості представлені нижче.

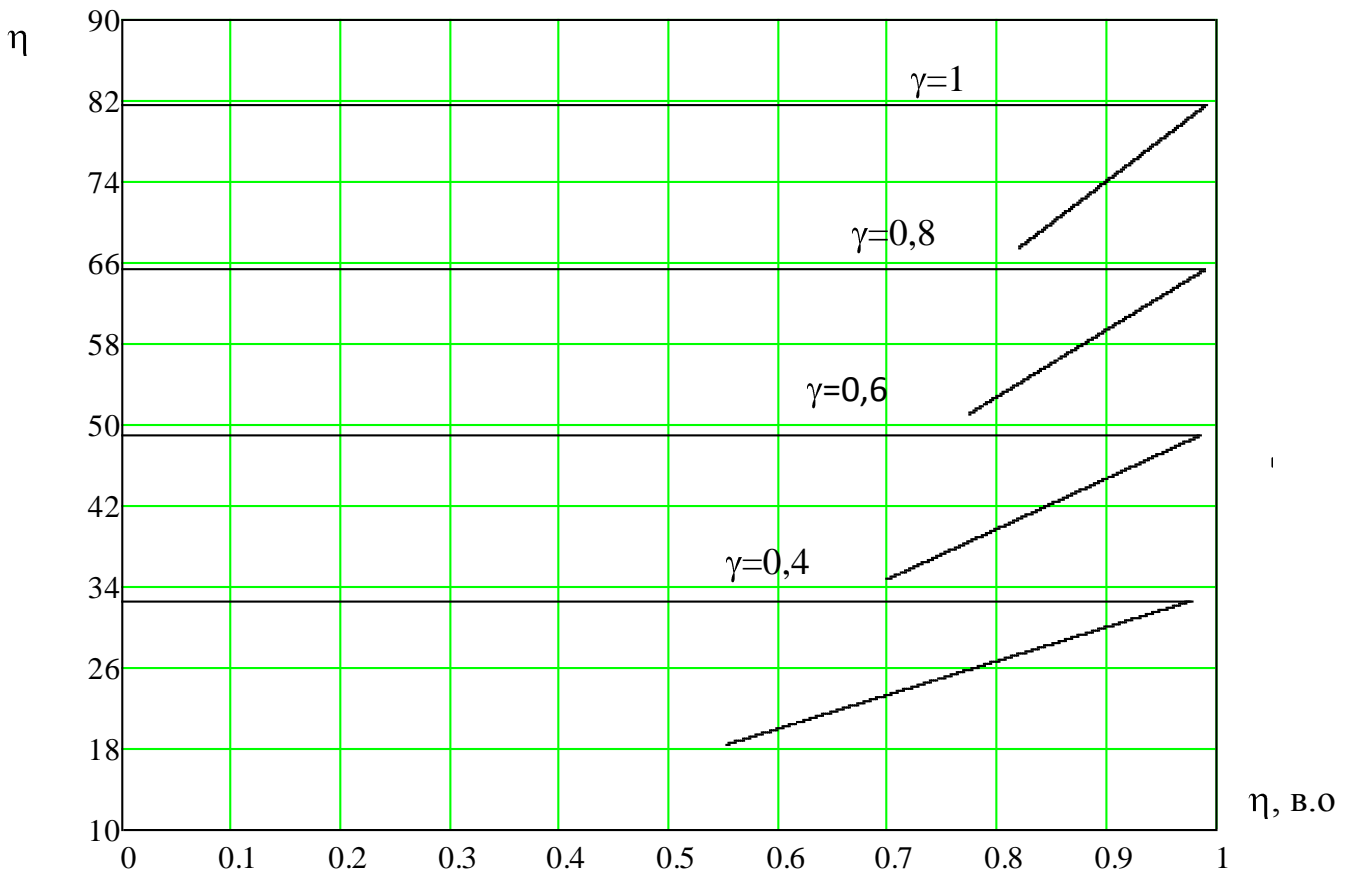


Рис.1.10. Коефіцієнт корисної дії привода при різних значеннях шпаруватості γ у функції швидкості

Результати розрахунку к.к.д. привода підйому екскаватору при різних значеннях шпаруватості ($\gamma = 1, 0.8, 0.6, 0.4$) у функції струму якоря представлені на нижче приведених графіках:

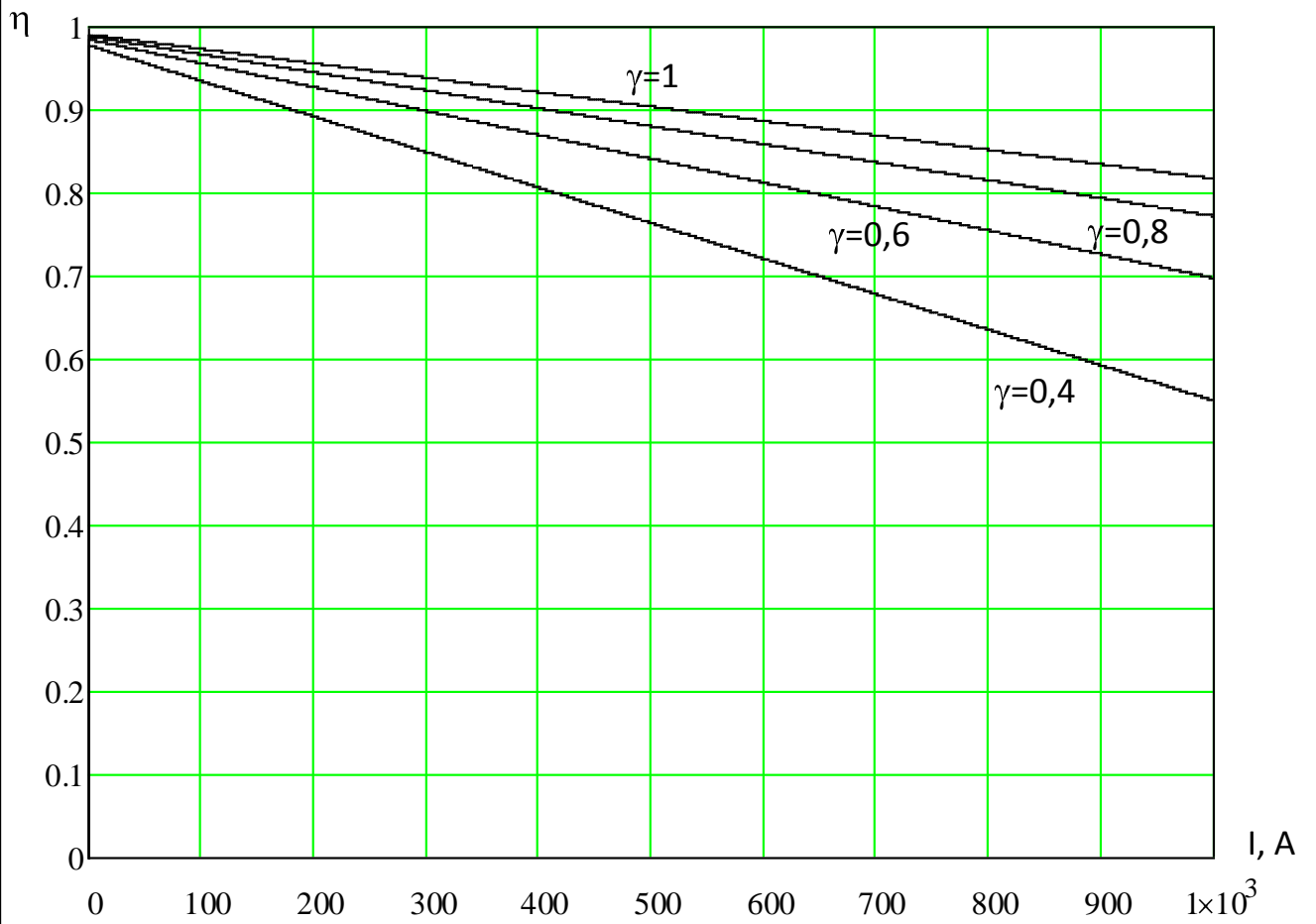


Рис.1.11. Коефіцієнт корисної дії приводу підйому при різних значеннях шпаруватості γ у функції струму

РОЗДІЛ 2. Обґрунтування і розробка системи керування електроприводом

2.1. Обґрунтування і вибір структури системи керування електроприводом

При керуванні ЕП регульована координата повинна якнайліпше відтворювати зміни керованого значення. При цьому часто буває необхідно обмежити одну або декілька проміжних координат (наприклад, швидкість двигуна, його струм при відпрацьовуванні переміщення і тощо). В такому випадку одноконтурна система доповнюється зворотними зв'язками по цих координатах, що вступають у роботу, коли контрольована координата прагне перевищити гранично припустиме значення.

На рис. 2.1, а як раз показаний такий зв'язок, призначений для обмеження напруги $U_{ВНХ1}$ в системі с об'єктом у вигляді інтегруючої і аперіодичної ланок.

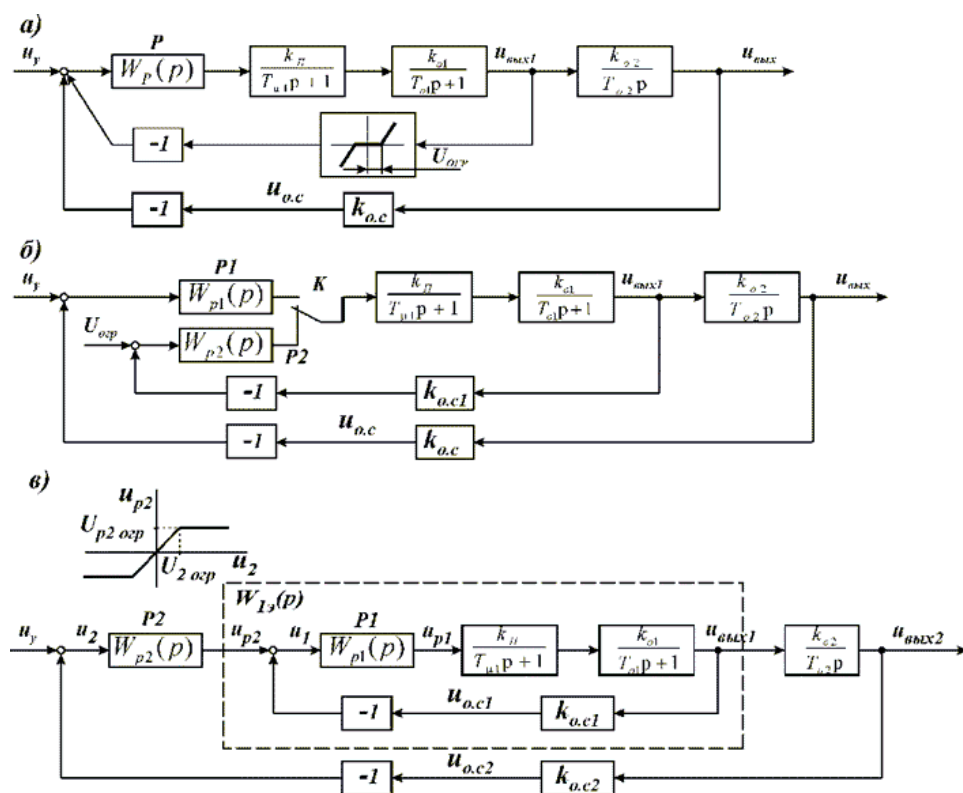


Рис. 2.1. Варіанти систем автоматичного керування

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6			
Змн.	Арк.	№ документа.	Підпис	Дат				
Розробив.	Капінус А.А.				РОЗДІЛ 2. Обґрунтування та розробка системи керування електроприводом.	Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевірів.	Федотов В.О.						32	
Рецензія.						Каф.ЕІ ЕЕМ-20		
Н. Контр.	Федотов В.О.							
Затверд..	Пересунько І.І.							

Завжди, коли $U_{ВИХ1} < U_{ОГР}$, система працює як одноконтурна. При $U_{ВИХ1} > U_{ОГР}$ замикається додатковий зворотний зв'язок. Якщо припустити, що її передаточний коефіцієнт, що обумовлений нахилом робочої частини нелінійної характеристики, є настільки великим, що можна зневажити дією головного зворотного зв'язку в порівнянні з дією додаткового зв'язку, то система перейде в режим, коли сигнал вхідний U_v буде визначати значення сигналу $U_{ВИХ1}$. Недоліком є те, що при регуляторі $P1$ з передаточною функцією $W_p(p)$ повинна забезпечуватися задовільна динаміка при дії обох зворотних зв'язків. Це звичайно призводить до необхідності зменшувати коефіцієнт передачі додаткового зворотного зв'язку, що в свою чергу супроводжується погіршенням якості обмеження проміжної перемінної.

Іноді використовують схему з незалежним регулюванням координат (рис. 2.1, б). Коли проміжна змінна $U_{ВИХ1}$ прагне перевищити граничне значення, логічний перемикаючий пристрій ($ЛПУ$) перемикає ключ K . Контур регулювання вихідний змінної $U_{ВИХ}$ розмикається, а контур регулювання $U_{ВИХ1}$ з регулятором $P2$, навпаки, замикається. Система переходить у режим підтримки сталості проміжної координати, значення якої буде визначатися значенням вхідного сигналу $U_{ОГР}$. Як величина, на яку реагує $ЛПУ$ (на схемі не показане), може використовуватися різниця $U_v - U_{3.3}$. Коли в перехідному процесі вона зменшиться до певного значення, $ЛПУ$ знову замкне головний контур, розімкнувши контур регулювання проміжної координати. Оскільки обидва контури ніколи не працюють спільно, передаточні функції регуляторів $W_{P1}(p)$ і $W_{P2}(p)$ можуть бути обрані з умови оптимального настроювання відповідних контурів.

Недоліком схеми є її ускладнення за рахунок введення $ЛПУ$. Це особливо відчутне, якщо обмеження повинне бути накладене на кілька проміжних координат.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						33
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Найбільше поширення мають у цей час системи, побудовані за принципом підлеглого регулювання, що пояснюється рис. 2.1, в. У системі передбачені два контури регулювання зі своїми регуляторами $P1$ і $P2$, причому вихідна напруга регулятора зовнішнього контуру U_{P2} є керованим значенням для внутрішнього контуру. Вихідна напруга регулятора $P2$ обмежена граничним значенням $U_{P2OГP}$. Оскільки $U_{ВИХ1}$ задається вихідною напругою $P2$, вона не може перевищити значення $U_{P2OГP}$.

Застосовуючи в розглянутій схемі ПІ-регулятор, можна реалізувати стандартне настроювання внутрішнього контуру, швидкодія якого буде визначатися його малою постійною часу $T_{\mu 1}$. При настроюванні на модульний оптимум передаточна функція замкнутого контуру відповідно вийде у вигляді

$$W_{13}(\Phi) \approx \frac{1/k_{3.3.1}}{2T_{\mu 1}^2 \cdot p^2 + 2T_{\mu 1}p + 1}$$

У контурі може бути не одна, а декілька малих постійних часу. Тоді $T_{\mu 1}$ буде являти собою сумарну малу постійну часу контуру, а приведена передаточна функція $W_{13}(\Phi)$ буде описувати замкнутий контур приблизно.

Передаточну функцію

$$W_{H2}(\Phi) \approx W_{13}(\Phi) \cdot \frac{k_{02}}{T_{02}p} \cdot k_{3.3.2}$$

можна тепер розглядати як передаточну функцію незмінної частини нового, зовнішнього контуру, замкнутого через регулятор $P2$, з передаточною функцією $W_{P2}(\Phi)$. Розглядаючи замкнутий внутрішній контур $W_{13}(\Phi)$ як ланку з малою еквівалентною постійною часу, параметри регулятора потрібно вибирати таким чином, щоб виключити вплив еквівалентної постійної часу T_{1e} на динаміку зовнішнього контуру. При розрахунку параметрів регулятора зовнішнього контуру внутрішній замкнутий контур відповідно до викладеного вище можна замінити аперіодичною ланкою з постійною часу

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{13} \Phi \approx \frac{1/k_{3.3.}}{T_{1e}p + 1}$$

При настроюванні внутрішнього контуру на модульний оптимум приймають $T_{1e} = 2T_{\mu 1}$. Якщо свої малі постійні часу є в зовнішньому контурі, то T_{1e} входить до складу сумарної малої постійної часу. Якщо ланки с малими постійними часу включені в ланцюзі зворотних зв'язків і значення цих постійних часу дійсно малі, практично можна не виділяти їх з інших постійних часу.

Розглянутий зовнішній контур може, у свою чергу, виступати як внутрішній стосовно третього контуру і тощо. Такий принцип побудови системи називається *принципом підлеглого регулювання*, тому що робота кожного внутрішнього контуру підлегла зовнішньому контуру.

Два головні достоїнства визначають широке поширення систем підлеглого регулювання.

1. Простота розрахунку і настроювання. Система розбивається на ряд контурів. Кожен контур містить у собі регулятор, за рахунок додання якому певних динамічних властивостей виходять стандартні характеристики. Налаштування в процесі налагодження системи ведуться, починаючи с внутрішнього контуру. Оскільки регулятор має просту передаточну функцію, а якість настроювання може бути легко оцінена за результатами порівняння реакції контуру на стрибок керуючого впливу зі стандартною перехідною характеристикою, налагодження системи виявляється простим.

2. Зручність обмеження граничних значень проміжних координат системи. Оскільки вихідний сигнал регулятора зовнішнього контуру є запропонованим значенням для внутрішнього контуру, обмеження вихідної координати внутрішнього контуру досягається за рахунок обмеження конкретним значенням вихідного сигналу регулятора зовнішнього контуру.

Разом с тим із принципу побудови системи підлеглого регулювання очевидно, що швидкодія кожного зовнішнього контуру буде нижче швидкодії

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відповідного внутрішнього контуру. Дійсно, якщо в першому контурі частота зрізу ЛАЧХ складе $\omega_{CP1} = 1/2T_{\mu1}$, то, навіть при відсутності в зовнішньому контурі інших ланок с малими постійними, крім $W_{13} \phi$, частота зрізу його ЛАЧХ буде $\omega_{CP2} = 1/2T_{1e} = 1/4T_{\mu1}$. Для третього контуру за тих самих умов $\omega_{CP3} = 1/8T_{\mu1}$ і тощо.

Насправді в кожному з контурів можуть бути і свої власні малі постійні часу, внаслідок чого частоти їхнього зрізу будуть ще нижче. Тому системи підлеглого регулювання рідко будуються с числом контурів більше трьох.

Структурна схема замкнутої системи наведена нижче:

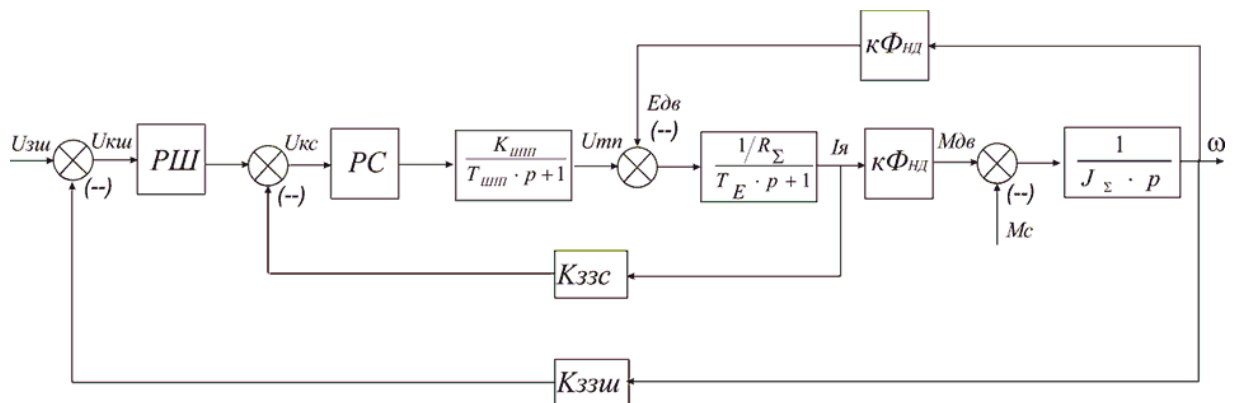


Рис. 2.2. Структурна схема замкнутої системи ШП-Д

2.2. Розрахунок параметрів елементів системи керування електроприводом

Настроювання регулятора струму якоря. Настроювання системи підлеглого регулювання будемо робити від внутрішнього контуру до зовнішнього контуру, тобто послідовно,. На нижньому малюнку представлений внутрішній контур струму якоря.

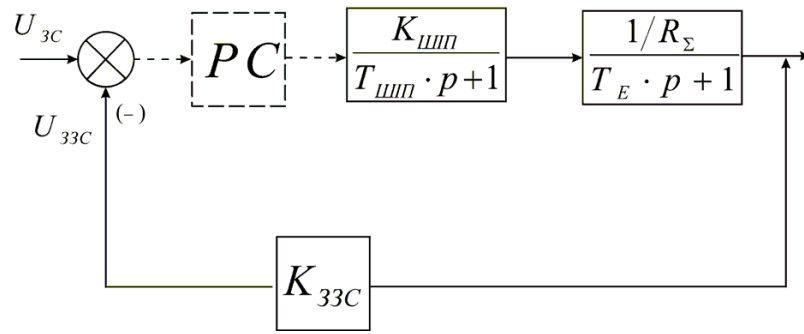


Рис.2.3. Структурна схема контуру струму якоря

Коефіцієнт зворотного зв'язку по струму якоря:

$$K_{33C} = \frac{10}{I_{К.З.}} = \frac{10}{5974} = 0,00167 ,$$

$$\text{де } I_{К.З.} = \frac{U_{НОМ}}{R_{ЕКВ}} = \frac{460}{0,077} = 5974 \text{ А}$$

Налаштування регулятора струму якоря ведуть таким чином. Спочатку одержимо передатну функцію розімкнутого контуру струму (що містить у собі коефіцієнт зворотного зв'язку по струму якоря K_{33C}). Тоді у цьому випадку шукана передатна функція розімкненого контуру:

$$W_{РАЗ(КС)}(p) = \frac{K_{шп}}{T_{шп} \cdot p + 1} \cdot \frac{1/R_{\Sigma}}{T_E \cdot p + 1} \cdot K_{33C}$$

У розглянутому контурі мінімальною постійної часу є постійна часу широтно-імпульсного перетворювача $T_{шп} = 0.001$ с. При правильному побудуванні системи підлеглого регулювання поведження системи повинне описуватися передатною функцією, яка виглядає в такий спосіб:

$$W_{РАЗ(КС)}(p) = K_{шп} \cdot \frac{1/R_{\Sigma}}{T_E \cdot p + 1} \cdot K_{33C} = 44 \cdot \frac{12.987}{0,195 \cdot p + 1} \cdot 0,00167 = \frac{0,954}{0,195 \cdot p + 1} = \frac{ЧС(0)}{ЗН(0)}$$

де $ЧС(0)$ й $ЗН(0)$ - відповідно чисельник і знаменник об'єкта регулювання

Регулятор струму для вихідних параметрів контуру струму повинен буде мати такий вигляд:

$$W_{PC}(p) = \frac{T_E p + 1}{K_{ШП} \cdot 1/R_\Sigma \cdot K_{ЗЗС}} \cdot \frac{1}{2 \cdot T_\mu \cdot p} = \frac{0,195 \cdot p + 1}{0,954} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,001 \cdot p} = 114,169 + \frac{585,48}{p}$$

де T_μ -некомпенсуема постійна часу, прийнята рівною 0,001 с.

Настроювання регулятора швидкості. Методика розрахунку регулятора швидкості майже подібна до методики розрахунку регулятора струму якоря. Контур швидкості, що підлягає оптимізації, виглядає в такий спосіб:

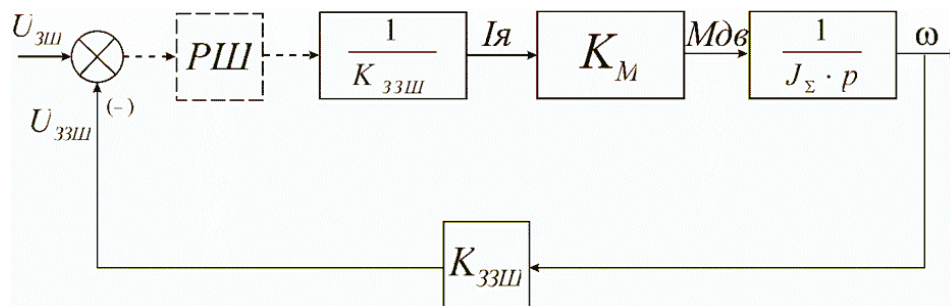


Рис.2.4. Структурна схема контуру швидкості

Коефіцієнт зворотного зв'язку по швидкості розраховується в такий спосіб:

$$K_{ззш} = \frac{10}{1,5 \cdot \omega_{НОМ}} = \frac{10}{1,5 \cdot 78,5} = 0,085$$

Тоді передатна функція розімкнутого контуру швидкості (що включає в себе коефіцієнт зворотного зв'язку по струму якоря $K_{ЗЗС}$):

$$W_{РАЗ(КШ)}(p) = \frac{1}{K_{ЗЗС}} \cdot K_M \cdot \frac{1}{J_\Sigma \cdot p} \cdot K_{ззш} =$$

$$= \frac{1}{0.00167} \cdot 5.39 \cdot \frac{1}{27507 \cdot p} \cdot 0.085 = \frac{1.84}{p} = \frac{УС(0)}{ЗН(0)}$$

Остаточно, ПІ - регулятор швидкості для отриманих параметрів контуру швидкості повинен мати такий вигляд:

$$W_{PI}(p) = \frac{K_{ЗС} \cdot J_{\Sigma} p}{K_M K_{ЗШ}} \cdot \frac{1}{4 \cdot T_{\mu} \cdot p} \cdot \frac{8 \cdot T_{\mu} \cdot p + 1}{8 \cdot T_{\mu} \cdot p} =$$

$$= \frac{p}{1.84} \cdot \frac{1}{4 \cdot 0,001 \cdot p} \cdot \frac{8 \cdot 0,001 \cdot p + 1}{8 \cdot 0,001 \cdot p} = 1.087 + \frac{135.86}{p}$$

Сигнал завдання повинен мати наступну величину:

$$U_3 = \omega_H \cdot K_{ЗШ} = 78,5 \cdot 0,085 = 6,67 \text{ В}$$

2.3. Розробка блок-схеми алгоритмів роботи мікроконтролера

Як відомо, привід повинен здійснювати розгін і гальмування з темпом не більше визначений величини. По-друге, за допомогою контролера зручно здійснювати пряме цифрове керування ключем ШПУ. У третє, екскаватор працює у важких умовах, при його роботі часті раптові стопоріння, що може призводити до великих кидків струму, поки спрацює штатна система струмообмеження трактору за допомогою збудження генератору. Тому на контролер додатково треба накласти функцію швидкодіючого струмообмеження. Природно, у ході прямого цифрового керування ШПІ темп наростання напруги живлення формується за допомогою зміни шпаруватості імпульсів живлення від «0» до «1», при гальмуванні - навпаки.

З урахуванням вищесказаного, а також особливостей мікроконтролерів були спочатку розроблені блок-схеми алгоритмів роботи керуючого мікроконтролера ШПУ.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

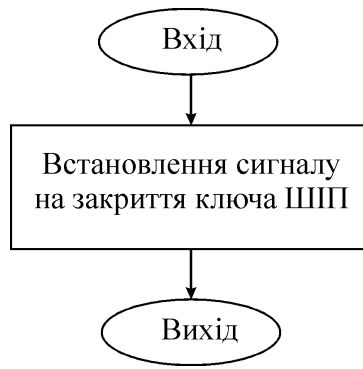


Рис. 2.5. Блок схема обробки переривання від таймеру 1

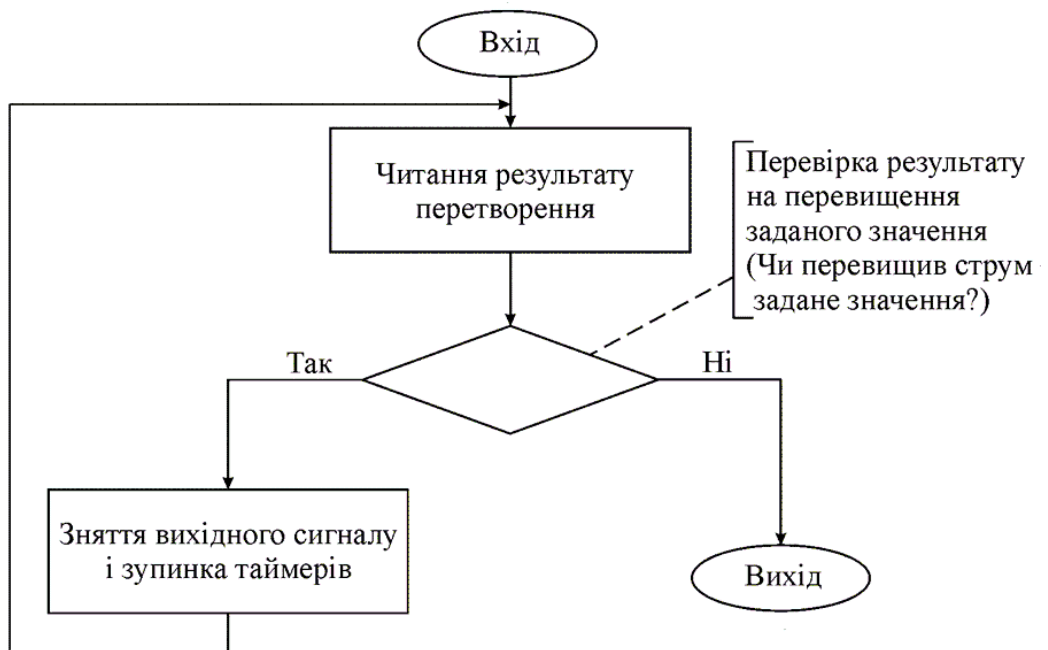


Рис. 2.6. Блок схема обробки зовнішнього переривання по лінії 2

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

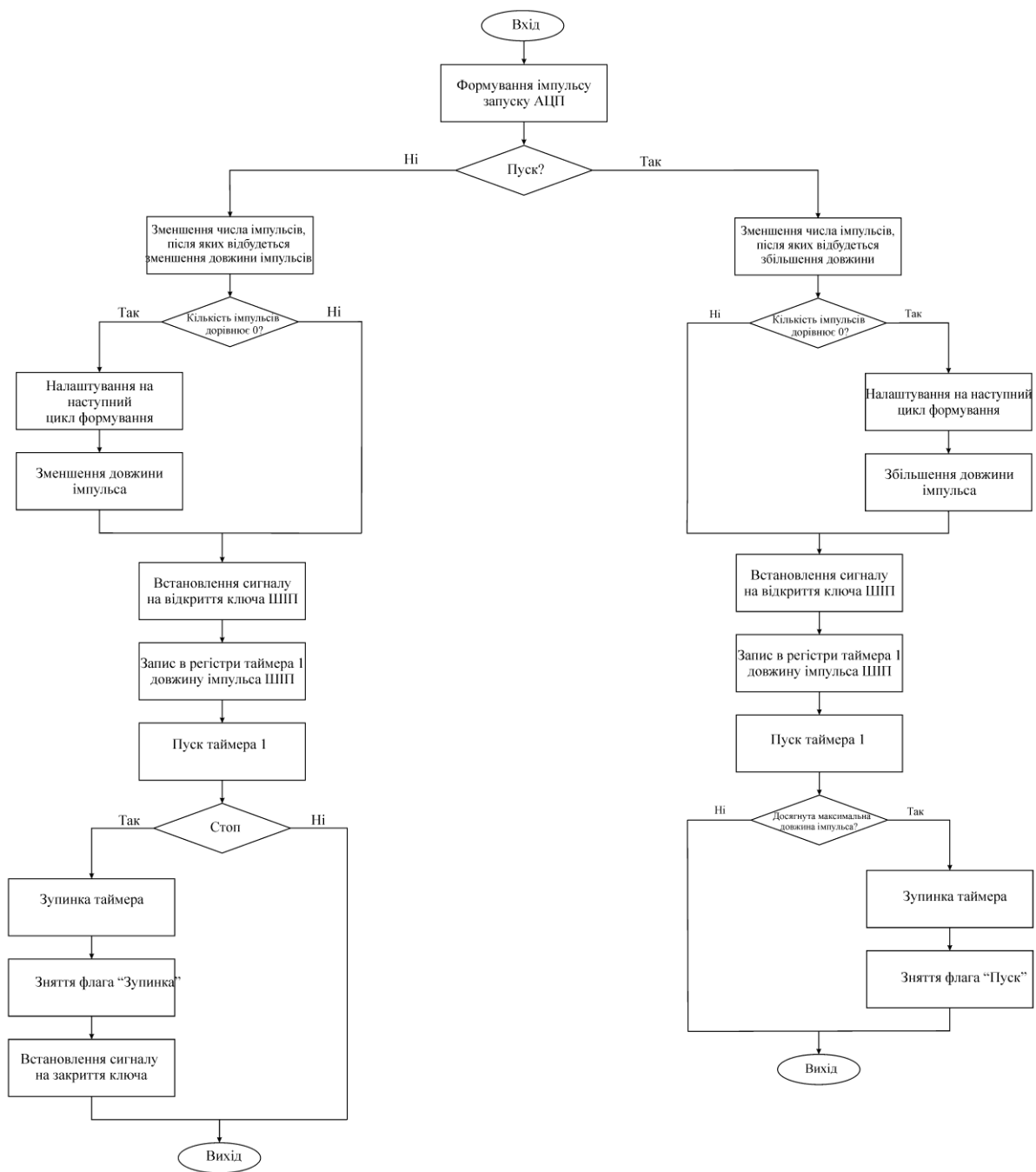


Рис. 2.7. Блок схема обробки переривання від таймеру 2

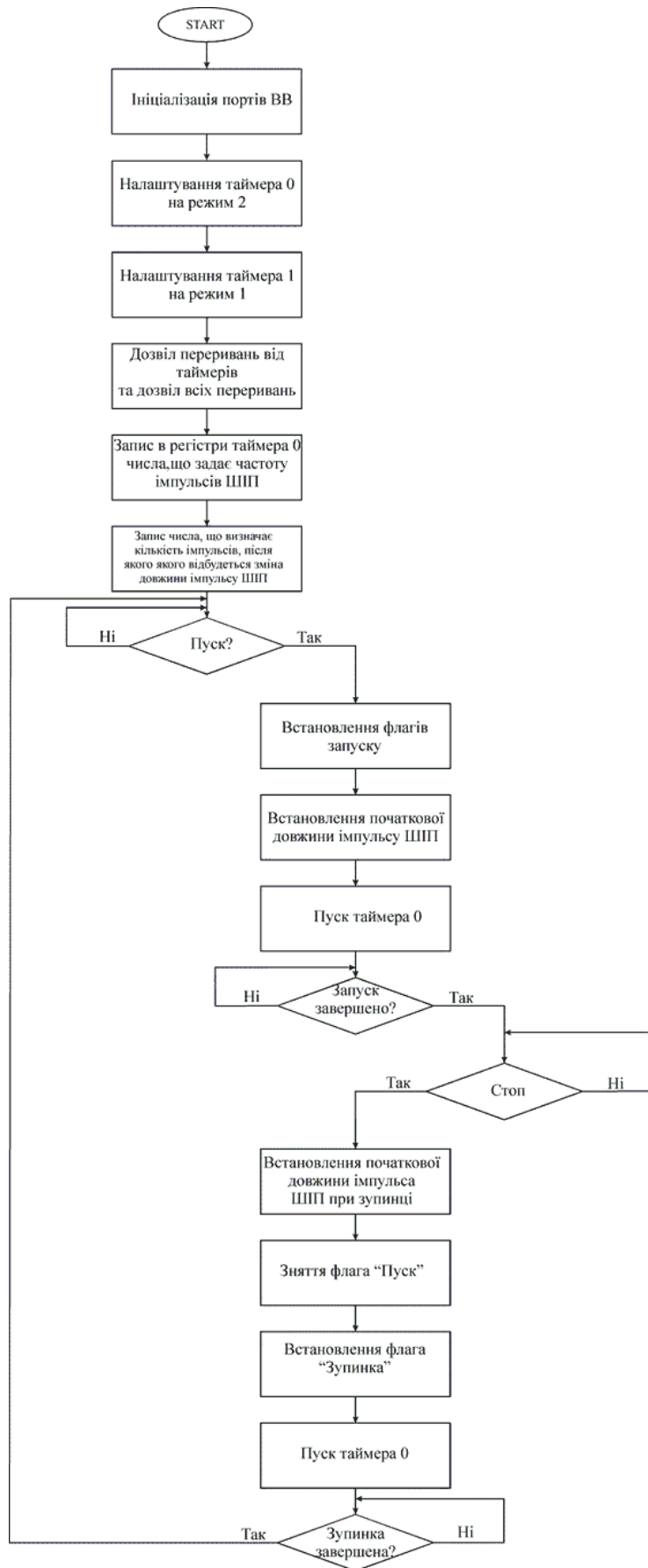


Рис. 2.8. Основна блок схема роботи мікроконтролеру

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2.4. Розробка та налагодження програмного забезпечення мікропроцесорної системи керування електроприводом

Текст програми був написаний за допомогою програми CVAVR, а перевірка й налагодження програми здійснювалося в оболонці Proteus. Загальний вид робочого поля цієї оболонки представлений на рис.2.9.:

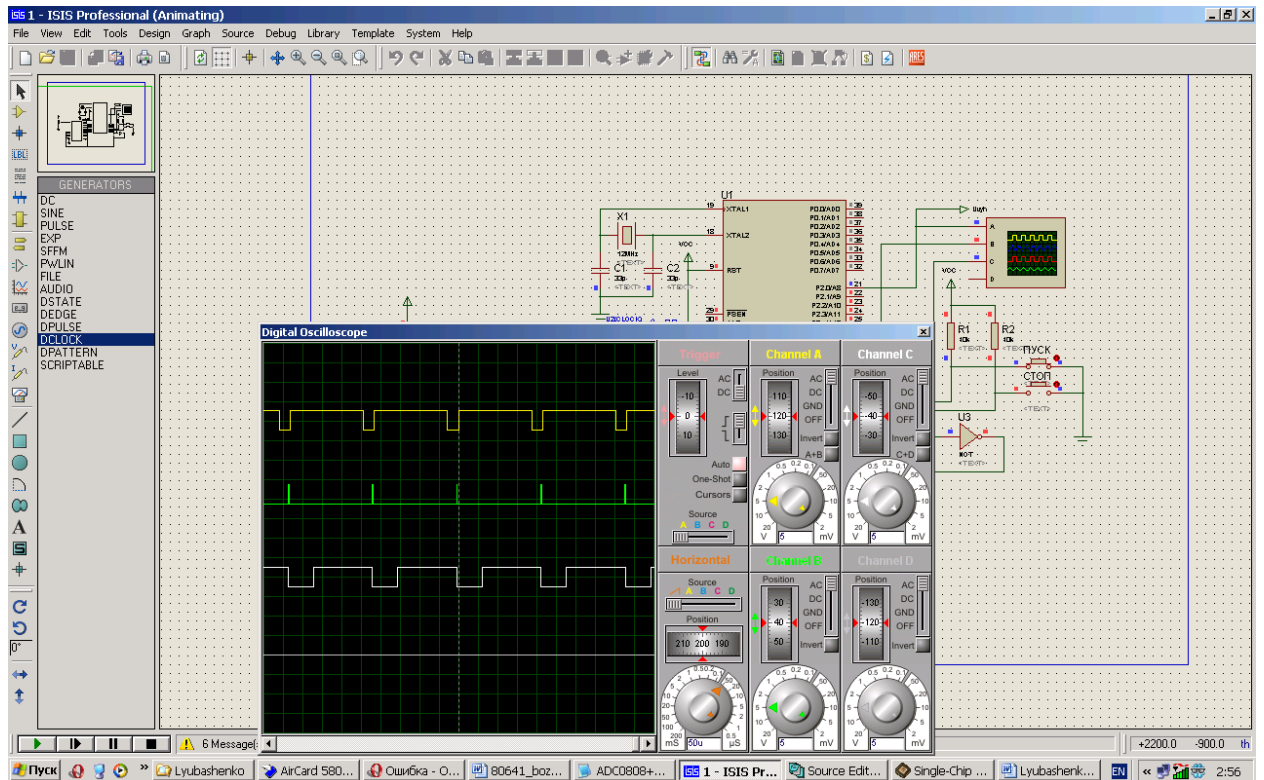


Рис. 2.9. Загальний вид програмної оболонки Proteus

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Схема, зібрана на цьому полі, виглядає так (зі збільшенням):

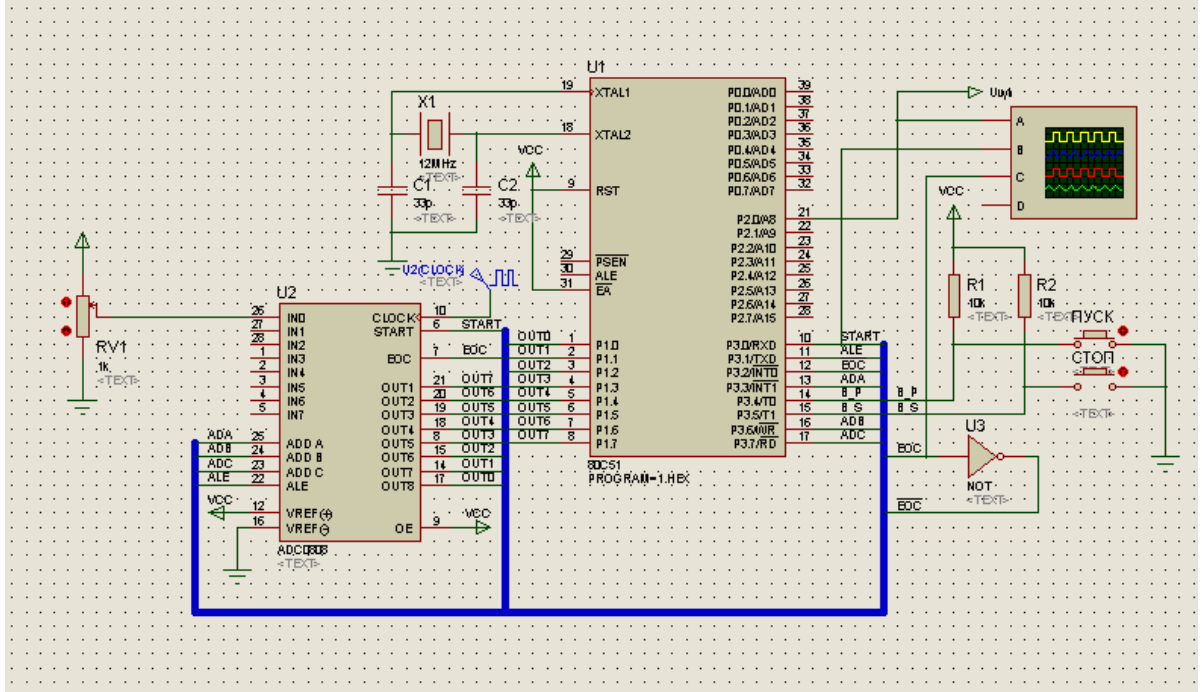


Рис. 2.10. Принципова схема МП-системи керування ШПП трактору

Осцилограф, зображений на цій схемі, розкривається в наступний вид (з більшим збільшенням):

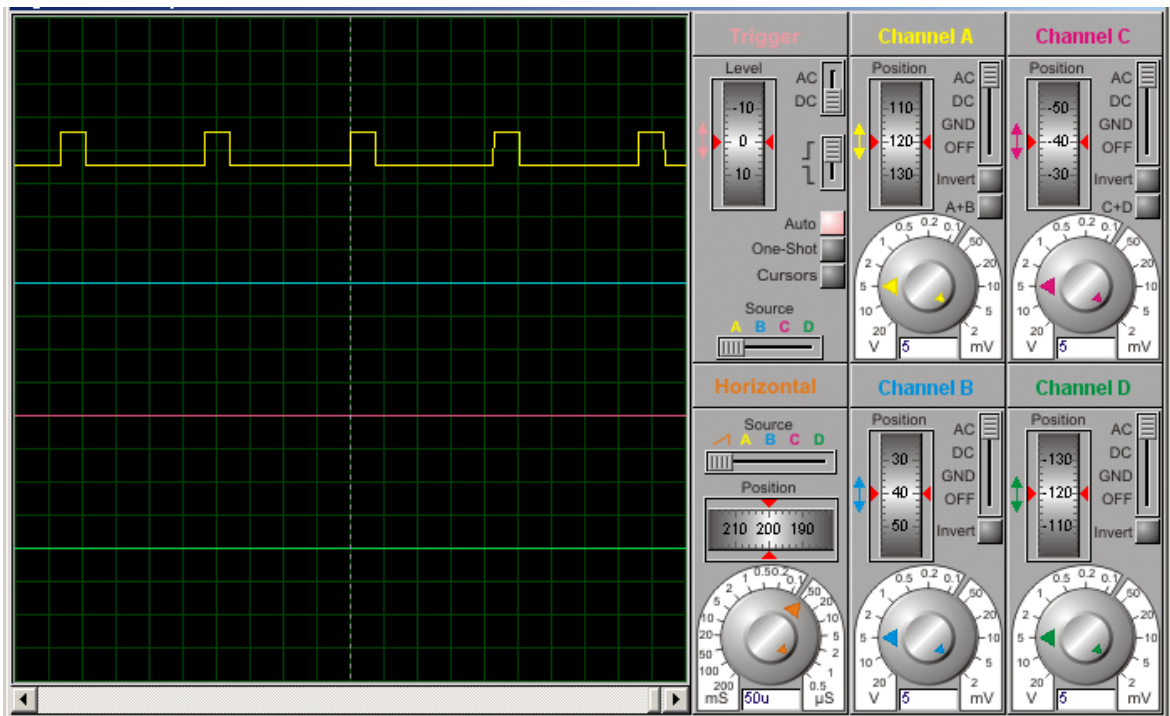


Рис. 2.11. Осцилограф Proteus с сигналами роботи ШПП при розгоні трактору

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

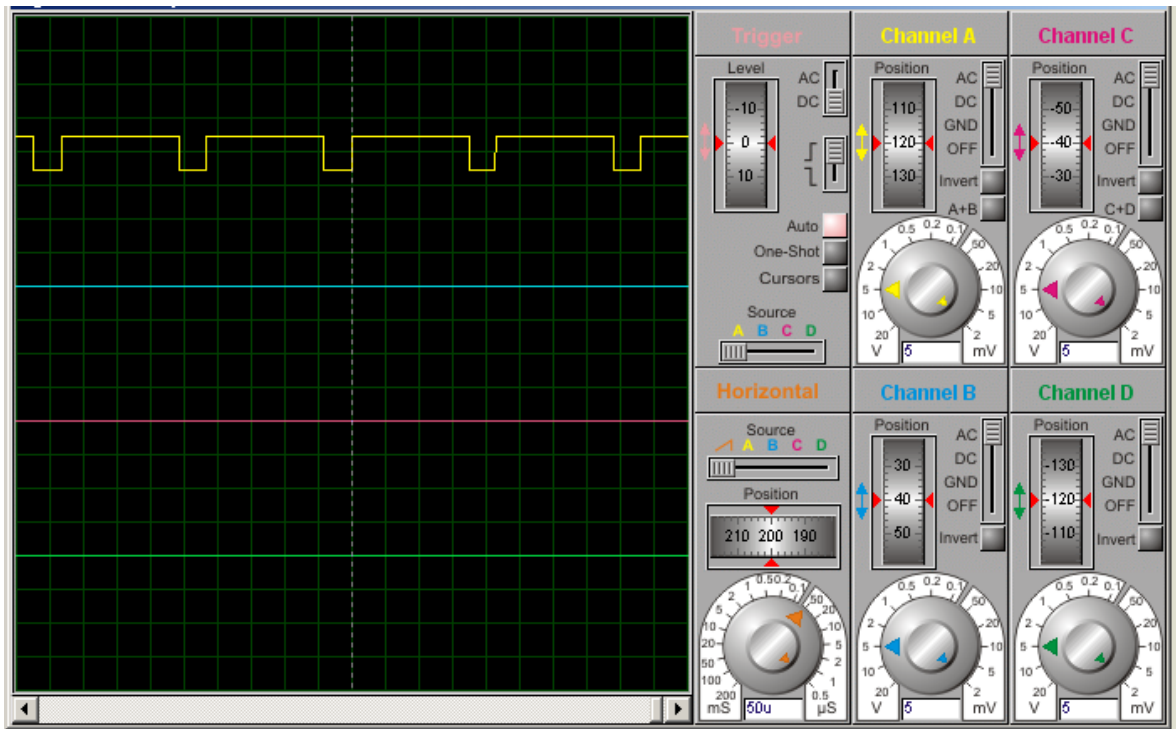


Рис. 2.12. Осцилограф Proteus с сигналами роботи ШІП при гальмуванні приводу

Після остаточного налагодження на Proteus був сформований працездатний листинг програми для роботи мікроконтролера, що здійснює подачу імпульсів на ШІП з метою плавного наростання й спадання напруги на двигуну трактору.

Листинг обчислювальної програми МП-системи

DLIT EQU 10h ;Начальна установка констант

Imax EQU 0FFh

Uvyh EQU P2.0

IN_PUSK EQU P3.4

IN_STOP EQU P3.5

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

START_ADC EQU P3.0

ALE EQU P3.1

ORG 0000h

LJMP START;Перехід на метку старт, необхідної,
;щоб промінути область векторів переривань

ORG 0003h

LJMP INT_0 ;Вектор зовнішнього переривання, перехід на мітку INT_0

ORG 000Bh

LJMP TMR0 ;Вектор переривання таймеру 0, перехід на мітку TMR0

ORG 001Bh

LJMP TMR1 ;Вектор переривання таймеру 1, перехід на мітку TMR1

ORG 0050h

START:

MOV P3,#034h ;Ініціалізація портів вводу-виводу, для P3 5, 4 и 2 лінії на ввід

MOV P2,#0FEh

MOV P1,#0FFh ;для P1 всі лінії на ввід, для P2 лінія 0 на вивід

SETB ALE ;Фіксація каналу аналогового мультиплексу

CLR ALE

MOV TMOD,#12h ; Ініціалізація таймерів

;Таймер 0 працює в режимі 2 (перезавантажуємий

;восьмирозрядний таймер) з внутрішньої синхронізацією

;Таймер 1 працює в режимі 1 (шістнадцятирозрядний таймер)

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

; внутрішньої синхронізацією

SETB IT0 ;Настроювання переривання по лінії 0 на спрацювання по зрізу

SETB EX0 ;Дозвіл зовнішнього переривання по лінії 0

SETB ET0 ; Ініціалізація системи переривань, дозвіл переривання
;от таймеру 0

SETB ET1 ;дозвіл переривання від таймеру 1

SETB EA ;дозвіл всіх переривань

L1:

MOV TL0,#028h ;Записування в регістри таймеру 0 числа, яке задає частоту

MOV TH0,#028h ;імпульсів при пуску та зупинці

MOV R7,#DLIT ; Записування числа імпульсів, після котрих буде збільшення
; тривалості імпульсу

L2: ; Очікування натискання

JB IN_PUSK,L2 ;кнопки "Пуск"

SETB 20h.0 ;Якщо натиснута, то встановлення прапорця "Пуск"

SETB 20h.2 ;Встановлення прапорця "Запуск"

MOV R6,#0FFh ;Встановлення початкової тривалості імпульсу при пуску

SETB TR0 ;Пуск таймера 0

L4:

JB 20h.2,L4 ;Перевірка закінчення процесу запускання

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

L3: ;Очікування натискання

JB IN_STOP,L3 ;кнопки "Стоп"

MOV R6,#048h ;Установка початкової тривалості імпульсу при зупиненні

CLR 20h.0 ;Зняття прапорця "Пуск"

SETB 20h.1 ;Встановлення прапорця "Зупинення"

SETB TR0 ;;Пуск таймеру 0

L5: ;Чекання закінчення

JB 20h.1,L5 ;процесу зупинення

JMP L1 ;Перехід, для можливості наступного запуску двигуна

TMR0: ;Підпрограма обробки переривання от таймеру 0

JNB 20h.0, TMX3 ;Перевірка умови, буде або ні провадитися запуск або зупинення

SETB START_ADC ;Формування імпульсу запуску АЦП

NOP

CLR START_ADC

DJNZ R7,TMX1 ; Якщо запуск, то зменшення числа імпульсів, після котрих ;буде збільшення тривалості імпульсу и перехід на TMX1

MOV R7,# DLIT ;Налагодження на наступний цикл Формування тривалості імпульсу

DEC R6 ; Збільшення тривалості імпульсу

TMX1:

SETB Uvyh ;Встановлення сигналу на відкриття ключа

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

MOV TL1,R6 ;Запис в регістри таймеру 1
 MOV TH1,#0FFh ;тривалості імпульсу ШП
 SETB TR1 ;Пуск таймеру 1
 CJNE R6,#048h,TMX2 ;Якщо досягнута максимальна тривалість імпульсу,
 ;то перехід на TMX2
 CLR TR0 ;Зупинка таймеру 0
 CLR TR1 ;Зупинка таймеру 1
 CLR 20h.2 ;Зняття прапорця "Запуск"

TMX2:

RETI ;Вихід из підпрограми обробки переривання

TMX3:

DJNZ R7,TMX4 ;Якщо зупинка, то зменшення числа імпульсів, після котрих
 ;буде зменшення тривалості імпульсу іи перехід на TMX4
 MOV R7,# DLIT ;Налагоджування на наступний цикл формування тривалості
 імпульсу
 INC R6 ;Зменшення тривалості імпульсу

TMX4:

SETB Uvyh ;Встановлення сигналу на відкриття ключа
 MOV TL1,R6 ;Запис в регістри таймеру 1
 MOV TH1,#0FFh ;тривалості імпульсу ШП
 SETB TR1 ;Пуск таймеру 1
 CJNE R6,#0FFh,TMX5 ;Якщо досягнута мінімальна тривалість імпульсу,
 ;то перехід на TMX5

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

CLR TR0 ;Зупинка таймеру 0
 CLR TR1 ;Зупинка таймеру 1
 CLR Uvyh ;Встановлення сигналу на закриття ключа
 CLR 20h.1 ;Зняття прапорця "Зупинка"

TMX5:

RETI ;Вихід из підпрограми обробки переривання

TMR1: ;Підпрограма обробки переривання від таймеру 1

CLR P1.0 ;Встановлення сигналу на закриття ключа

RETI ;Вихід із підпрограми обробки переривань

INT_0: ; Підпрограма обслуговування зовнішнього переривання по лінії
 0

MOV R5, P1 ; Збереження результатів перетворення сигналу з датчика
 струму

CJNE R5,#Imax,I0 ;Перевірка перевищення сигналу з датчика струму порогового
 значення

CLR TR0 ; Якщо струм перевищив максимальне значення, то відключення

CLR TR1 ;таймерів

CLR Uvyh ; і зняття сигналу управління транзисторами

I0:

RETI ; Повернення із підпрограми обслуговування переривання

END

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

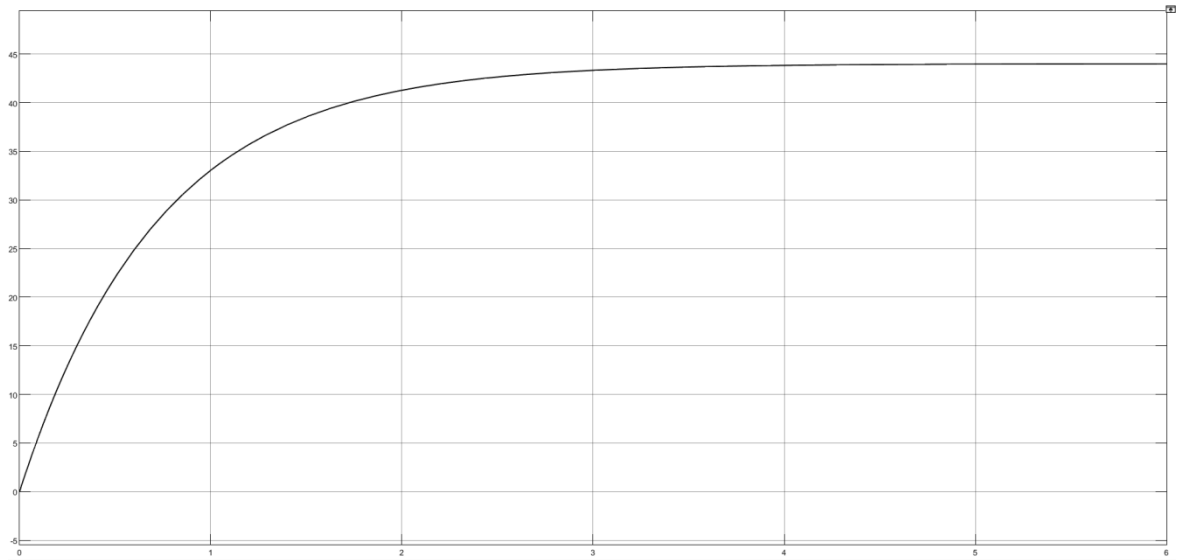


Рис. 3.3. Графік коефіцієнту підсилення генератора

Нижче приведений графік струму:

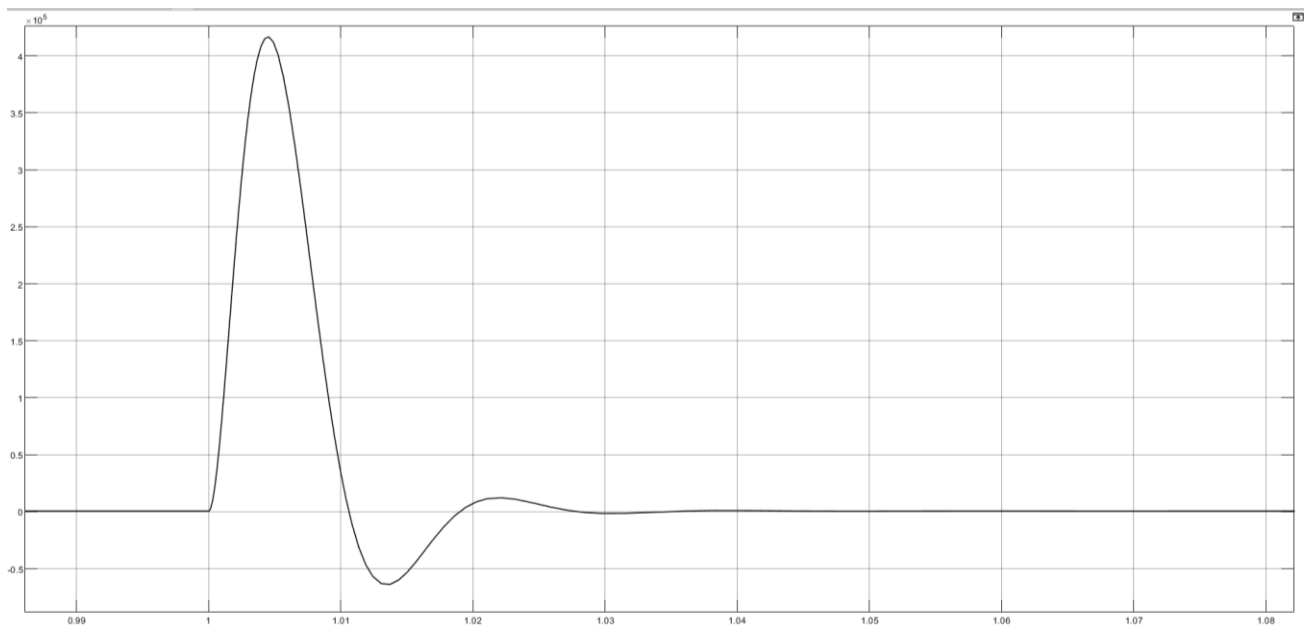


Рис. 3.4. Графік зміни струму при прикладанні ступінчастого впливу

Видно, що для того, щоб відпрацьовувати зміну швидкості згідно технічним вимогам, струму приводу приходиться досягати неприпустимих величин – десятків тисяч ампер, що, до цього ж, неможливо завдяки обмеженості потужності джерела живлення. Для обмеження великих струмів або використовують задатчик інтенсивності на вході усієї системи ЕП, або

обмежують струм за допомогою обрізання вихідного сигналу регулятора швидкості. Ми обираємо інший варіант, схема для моделювання цього варіанту наведена нижче:

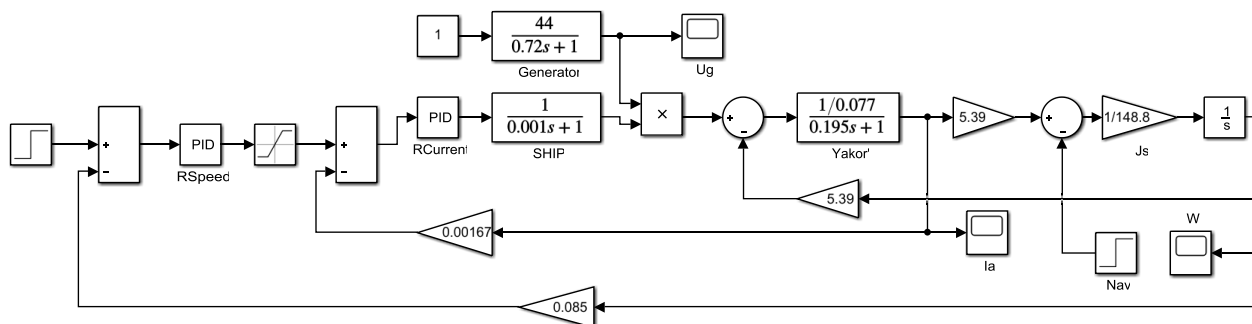


Рис. 3.5. Схема моделі для дослідження процесів зі струмообмеженням

Величина налагодження блоку Saturation обрана такою, щоб струм на усьому протязі розгону не перевищував максимально припустимого значення 1000 А. У блоці Saturation прописані значення номінального сигналу завдання системи ЕП – 1.67 В.

Нижче наведені результати моделювання на модифікованій моделі системи ЕП:

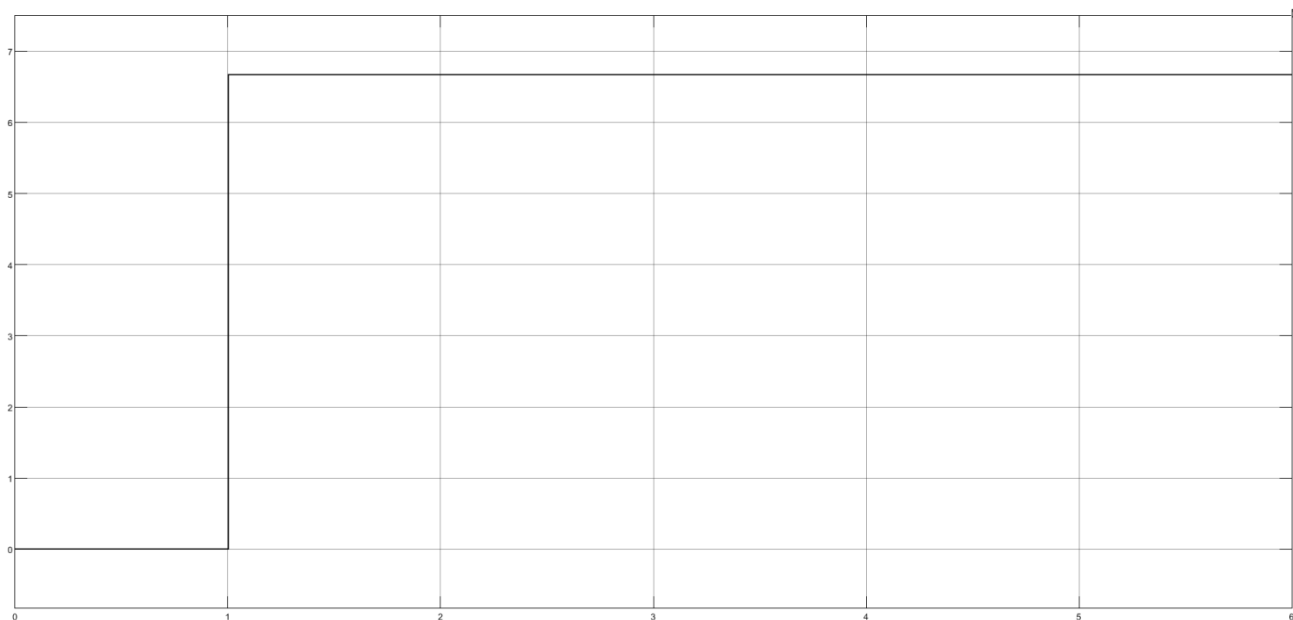


Рис. 3.6. Сигнал завдання у контурі швидкості

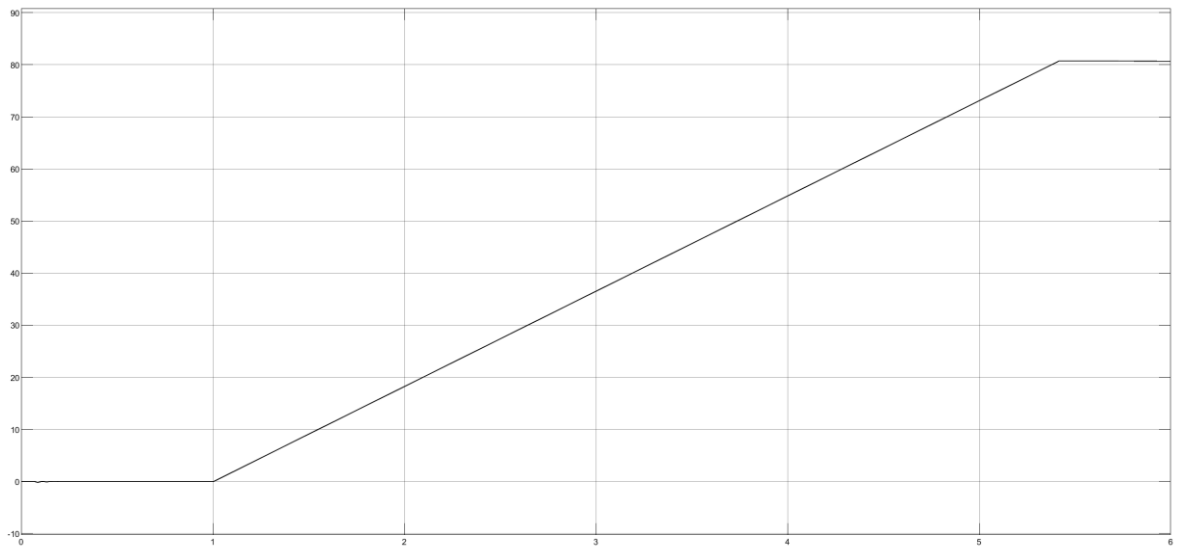


Рис.3.7. Графік швидкості при пуску СЕП із струмообмеженням

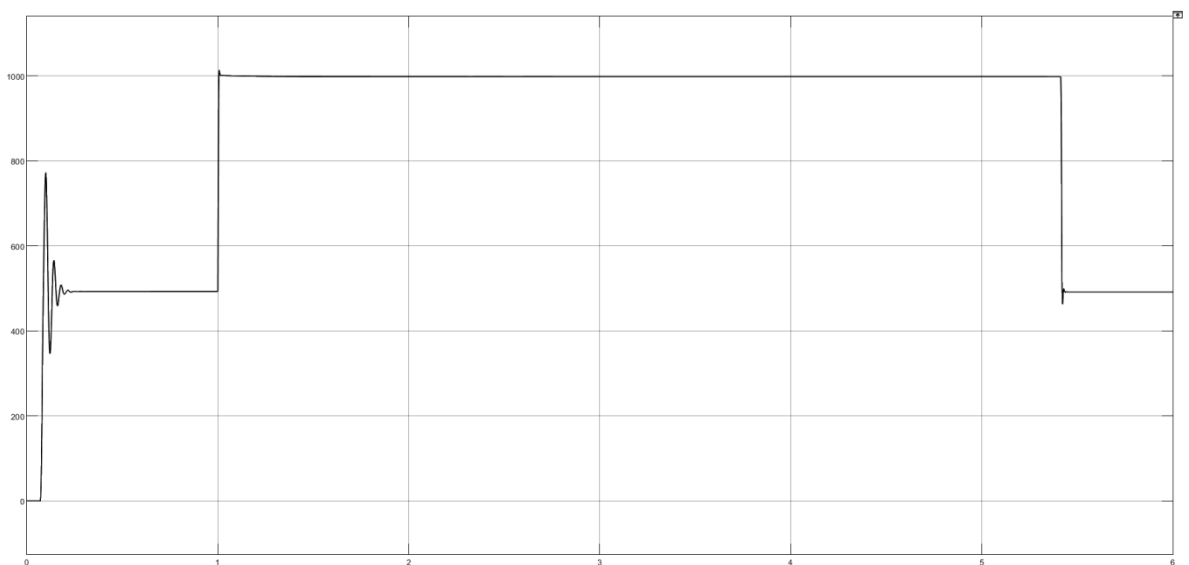


Рис.3.8. Графік струму якоря при пуску СЕП із струмообмеженням

Видно, що струм при пуску не перевищує гранично припустимого значення. Графік швидкості має задовільний вид, тому що ударне прикладання навантаження не призводить до короткочасного динамічного відхилення швидкості, а також статичне падіння швидкості відсутнє.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

3.2. Аналіз якісних показників розробленої системи керування

При правильному настроюванні системи підлеглого регулювання час регулювання в контурі швидкості повинен скласти за нормативами $t_1 = 6.2 \cdot T_{\mu} = 6.2 \cdot 0.001 = 0.0062$ с, а перерегулювання σ повинне бути дорівнювати 43 % від сталого значення вихідної величини контуру швидкості. З рис. 3.2 видно, що перерегулювання та час перехідного процесу хоча й не відповідають заданим, але усе одно задовільні.

Тобто з графіків видно, що регулятори швидкості та струму розраховані правильно. На цьому ж графіку видно, що ударне відхилення швидкості в момент часу 1.05 секунди, коли був стрибком прикладений номінальний момент навантаження, маже не виникає, що говорить про нормальну роботу ПІ-регулятора швидкості, який повинен, як відомо, підтримувати астатизм системи.

Взагалі показники динаміки системи приводу є такими, що задовольняють вимогам к динамічним режимам екскаваторних електроприводів.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

В першому розділі надана інформація про кар'єрний екскаватор ЕКГ-5, приведені загальний вигляд механізму підйому, кінематична схема приводу підйому, розглянуті вимоги до електропривода. На основі аналізу вимог до електроприводів механізму підйому кар'єрного екскаватору нами була обрана система ШПП-Д, зі збереженням попередньої системи приводу Г-Д, з метою підвищення надійності роботи. Обрана система ЕП дозволяє забезпечити необхідні режими роботи механізму підйому, високий ККД та прийнятну жорсткість статичних характеристик. Проведений розрахунок потужності приводного двигуна. Складена схема заміщення та розраховано її параметри, побудовані статичні та енергетичні характеристики системи ШПП-Д.

У другому розділі проведено роботи з розробки системи керування приводом механізму підйому екскаватору. Прийнята двохконтурна система підлеглого керування як найбільш простіша у налазці. Обрано датчики і розраховано регулятори аналогової системи. Також надано МП - варіант керування ШПП-Д приводу підйому на базі мікроконтролера Atmega8. Даний контролер володіє розвиненою периферією, тому його ресурсів вистачає для виконання обчислювальних завдань підлеглого регулювання.

Перехідні процеси контурі струму без струмообмеження задовольняють показникам перехідних процесів в системах підлеглого керування, але мають неприпустимі значення пускових струмів двигунів у порівнянні із заданими. Замкнена система ЕП ШПП-Д дозволяє значно підвищити швидкодію та жорсткість статичних характеристик. Час перехідного процесу пуску за швидкістю не має особливого значення в умовах технологічного процесу копання породи. Таким чином, обрана та

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

розрахована система ШП-Д механізму підйому екскаватору повністю задовольняє завданням, поставленим в рамках виконання випускової роботи.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Екскаватор // Термінологічний словник-довідник з будівництва та архітектури / Р. А. Шмиг, В. М. Боярчук, І. М. Добрянський, В. М. Барабаш ; за заг. ред. Р. А. Шмига. — Львів, 2010. — С. 87
2. Вантух З.З., Здобицький А.Я., Кузенко Д.В. // Одноківшеві екскаватори / . 147 стор. Рік випуску: 2019.
3. Чулков Н.Н., Чулков А.Н. Расчет приводов карьерных машин. – М.: Машиностроение. – 1979. – 104 с.
4. Вольдек А.И. Электрические машины. – Л.: Энергия, 1978. – 831с.
5. Бернас С., Цек З. Математические модели элементов электроэнергетических систем: Пер. с польск.- М.: Энергоиздат, 1982.-312с.
6. Башарин А.В., Постников Ю.В. Примеры расчета автоматизированного электропривода на ЭВМ: Учебное пособие для вузов.-3-е изд.- Л.:Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990.-512с.
7. Котлярчук В.А., Гончаров А.Ф. Электроснабжение экскаваторов. – М.: Недра, 1980. – 173 с.
8. Вуль Ю. Я., Ключев В.И., Седаков Л. В. Наладка электроприводов экскаваторов. Изд. 2, перераб. и доп. М., «Недра», 1975. 312 с.

					ЕТФ. КНУ.РБ.141.24.303-6	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		