

Міністерство освіти і науки України

Криворізький національний університет

Електротехнічний факультет

Пояснювальна записка

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

ТЕМА РОБОТИ:

**Розробка системи прямого керування моментом тягового асинхронного
двигуна рудникового електровоза**

Виконав: студент групи ЕЕМ-21-1

Дмитро ГЛАДУН

Керівник випускної роботи _____

к.т.н., доц. Ігор СІНЧУК

Нормо контролер _____

к.т.н., доц. Ігор СІНЧУК

Декан ЕТФ _____

к.т.н., доц. Владислав ФЕДОТОВ

Гарант освітньої програми _____

к.т.н., доц. Ігор ПЕРЕСУНЬКО

Кривий Рір 2025 р.

Криворізький національний університет

Факультет: електротехнічний

Освітній рівень: бакалавр

Спеціальність: 141 - Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ

ГЛАДУН Дмитро Євгенійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи: Розробка системи прямого керування моментом тягового
асинхронного двигуна рудникового електровоза

1. Термін подання студентом роботи: 16 червня 2025 р.
2. Мета та завдання кваліфікаційної роботи: Метою є розробка системи
прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна рудникового
електровоза.
3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити) I.
Аналіз режимів роботи рудникового електровозу; II. Система прямого
керування моментом; III. Дослідження режимів роботи рудникового
електровозу з тяговим асинхронним двигуном та системою прямого
керування моментом.
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових
креслень) I. Загальна структура рудникового потягу; II. Розрахункова модель
рудникового потягу; III. Діаграма руху рудникового потягу; IV. Графік
струмових навантажень; V. Схема реалізації системи прямого керування
моментом; VI. Перехідні процеси.

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ім'я, прізвище консультанта	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
I	Ігор СІНЧУК		
II	Ігор СІНЧУК		
III	Ігор СІНЧУК		

6. Календарний план

№	Етапи роботи	Термін
1	Дослідження режимів роботи рудникового потягу	15.05.25
2	Дослідження режимів роботи електромеханічної системи рудникового потяга	17.05.25
3	Загальна характеристика системи прямого керування моментом	21.05.25
4	Структура тягової електромеханічної системи потягу	26.05.25
5	Розробка моделі для дослідження режимів роботи рудникового електровозу	31.05.25
6	Дослідження режимів роботи рудникового електровозу	10.06.25
7	Аналіз графіків перехідних процесів	14.06.25

Дата видання завдання 12.05.2025 р.

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Дмитро ГЛАДУН
(Ім'я, прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Ігор СІНЧУК
(Ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до випускової атестаційної роботи бакалавра на тему: «Розробка системи прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровоза»

39 с., 16 рис., 8 літературних джерел

У першому розділі було проведено аналіз режимів роботи системи керування рудниковим електровозом. Було розглянуто елементи які складають його структуру. Також зазначено що у якості базової структури електромеханічного обладнання рудникового електровозу використовуються двигуни постійного струму. Було запропоновано базову структуру електромеханічної системи рудникового електровозу модернізувати шляхом заміни встановлених двигунів постійного струму на тягові асинхронні двигуни. Також було зазначено що тяговий асинхронний електропривод відрізняється своєю економічністю та стійкістю у динамічних режимах роботи.

У другому розділі було представлено структурну схему тягового електроприводу рудникового електровозу. Також були розраховані елементи електромеханічної системи які складають структуру тягового електроприводу рудникового електровозу. У якості джерела живлення тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу було запропоновано використовувати перетворювач частоти. Також було запропоновано регулювання напруги живлення тягового асинхронного двигуна виконувати за методом прямого керування моментом. Було запропоновано декілька варіантів розбудови системи керування перетворювачем за методом просторово-векторної модуляції.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У третьому розділі була представлена розроблена модель для дослідження перехідних процесів у тяговому асинхронному електроприводі рудникового електровозу. Для поліпшення якісних показників перехідних процесів у тяговому асинхронному електроприводі рудникового електровозу було запропоновано використовувати регулятори струму кутової швидкості та потокозчеплення. Замкнена система керування дозволила значно підвищити якість перехідних процесів у тяговому асинхронному електроприводі рудникового електровозу.

РУДНИКОВИЙ ЕЛЕКТРОВОЗ, ТЯГОВИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД, ПРЯМЕ
КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ, ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ РУДНИКОВОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ ...	9
1.1. Дослідження режимів роботи рудникового потягу	9
1.2. Дослідження режимів роботи електромеханічної системи рудникового потяга.....	14
Розділ 2. СИСТЕМА ПРЯМОГО КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ	18
2.1. Загальна характеристика системи прямого керування моментом	18
2.2. Структура тягової електромеханічної системи потягу	21
Розділ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ РУДНИКОВОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ З ТЯГОВИМ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ ТА СИСТЕМОЮ ПРЯМОГО КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ	26
3.1. Розробка моделі для дослідження режимів роботи рудникового електровозу з тяговим асинхронним двигуном та системою прямого керування моментом	26
3.2. Дослідження режимів роботи рудникового електровозу з тяговим асинхронним двигуном та системою прямого керування моментом	33
3.3. Аналіз графіків перехідних процесів у динамічних режимів роботи тягового електроприводу рудникового електровозу	36
Висновки	37

Вступ

Рудникові електровози є одними з основних видів підземного транспорту. Отже від їх ефективного функціонування залежить підвищення якості виконання електровозного відкочування.

Процес електровозного відкочування містить ділянки завантаження та розвантаження вагонеток а також маневрові ділянки та ділянки руху із сталою швидкістю. На маневрових ділянках а також на ділянках завантаження та розвантаження рудникові електровози працюють у режимі пуску та гальмування. Такі режими є важкими та призводять до виникнення ударних навантажень на валу електричних двигунів.

Для підвищення швидкості маневрових робіт необхідно підвищити якість перехідних процесів та унеможливити наявність ударних значень моменту на валу електричної машини.

Двигуни постійного струму з релейно-контактною системою керування не можуть забезпечити належну якість перехідних процесів. Тому для підвищення якості перехідних процесів у тяговому електроприводі рудникових електровозів пропонується заміна тягових електричних двигунів постійного струму асинхронними двигунами.

Така модернізація електромеханічного обладнання рудникового електровозу дозволить підвищити його експлуатаційні характеристики та забезпечити належні показники якості перехідних процесів у тяговому електроприводі для унеможливлення виникнення ударних навантажень на валу тягового асинхронного двигуна запропоновано використовувати систему прямого керування моментом асинхронного електроприводу.

Для визначення ефективності впровадження модернізації тягової електромеханічної системи рудникового електровозу буде проведено

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

дослідження режимів роботи рудникового електровозу при проведенні маневрових робіт з складом завантажених вагонеток.

Основним завданням практичного дослідження є забезпечення якомога більшої швидкодії при виконанні маневрових робіт. Також була розглянута можливість автоматизації процесів пуску та гальмування рудникового електровозу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 1. АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ РУДНИКОВОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ

1.1. Дослідження режимів роботи рудникового потягу

Розглянемо технологічні особливості рудникового відкочування. Рудниковий потяг має у своєму складі вагонетки та приводиться до руху рудниковим електровозом.

Рудникові вагонетки мають спеціальну конструкцію.

Вони призначені для транспортування корисних копалин. Корисні копалини завантажуються у вагонетки які потім спрямовуються до місця розвантаження.

Завдяки спеціальному виконанню розвантаженням вагонеток виконується автоматично.

Електровоз має просто довести рухомий склад з вагонетками до місця розвантаження.

Розвантаження вагонеток виконується у автоматичному режимі за допомогою спеціальних перекидачів.

Для здійснення розвантаження вагонеток у автоматичному режимі їх зчепні пристрої виконані спеціальної форми.

Це дозволяє обертати завантажену вагонетку навколо своєї вісі.

Представимо структуру рудникового потягу який складається з рудникового електровозу та декількох вагонеток.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Розділ 1	Лім.	Лист	Листів
Розробив	Гладун Д.Є.						9	9
Перевірів	Сінчук І.О.							
Реценз.								
Н. Контр.	Сінчук І.О.							
Затвердив	Пересунько І.І.				КНУ ЕЕМ-21-1			

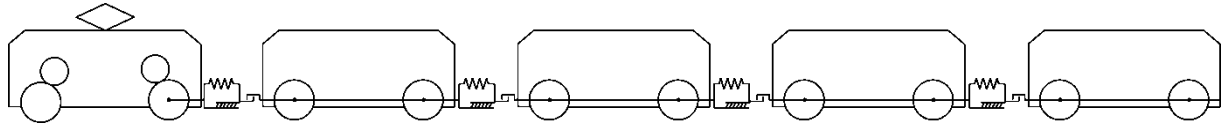


Рис. 1.1. Рудниковий потяг

Виконаємо розрахунок технічних характеристик рудникового потягу.

$$m_{\text{ЭЛ}} \cdot \frac{dV_{\text{ЭЛ}}}{dt} = F_{\text{ДВ}} - F_{\text{СТ1}} - F_{\text{У1}} - F_{\text{ТР1}} \quad (1.1.)$$

$$m_{\text{БК}} \cdot \frac{dV_{\text{БК}}}{dt} = F_{\text{У(K+1)}} - F_{\text{СТK}} - F_{\text{УK}} - F_{\text{ТРK}} \quad (1.2.)$$

$$F_{\text{У1...УK}} = \begin{cases} C \cdot \left(\Delta L_K - \frac{\delta_K}{2} \right); \Delta L_K > \delta_K; \\ 0; & |\Delta L_K| \leq \delta_K; \\ C \cdot \left(\Delta L_K + \frac{\delta_K}{2} \right); \Delta L_K < -\delta_K. \end{cases} + F_{\text{БГ1...K}} \quad (1.3)$$

$$F_{\text{БГ1}} = \beta \cdot (V_{\text{ЭЛ}} - V_{\text{Б2}}) \quad (1.4)$$

$$F_{\text{БГK}} = \beta \cdot (V_{\text{БК}} - V_{\text{Б(K-1)}}) \quad (1.5)$$

$$F_{\text{ТРK}} = F_{\text{МАХ}} \cdot (V_{\text{БК}} + 1)^{-1} \quad (1.6)$$

$$\frac{d\Delta L_K}{dt} = V_{\text{БК}} - V_{\text{Б(K-1)}} \quad (1.7)$$

На основі представлених розрахунків виконаємо розробку моделі електромеханічної системи рудникового потягу що складається з рудникового електровозу та восьми вагонеток.

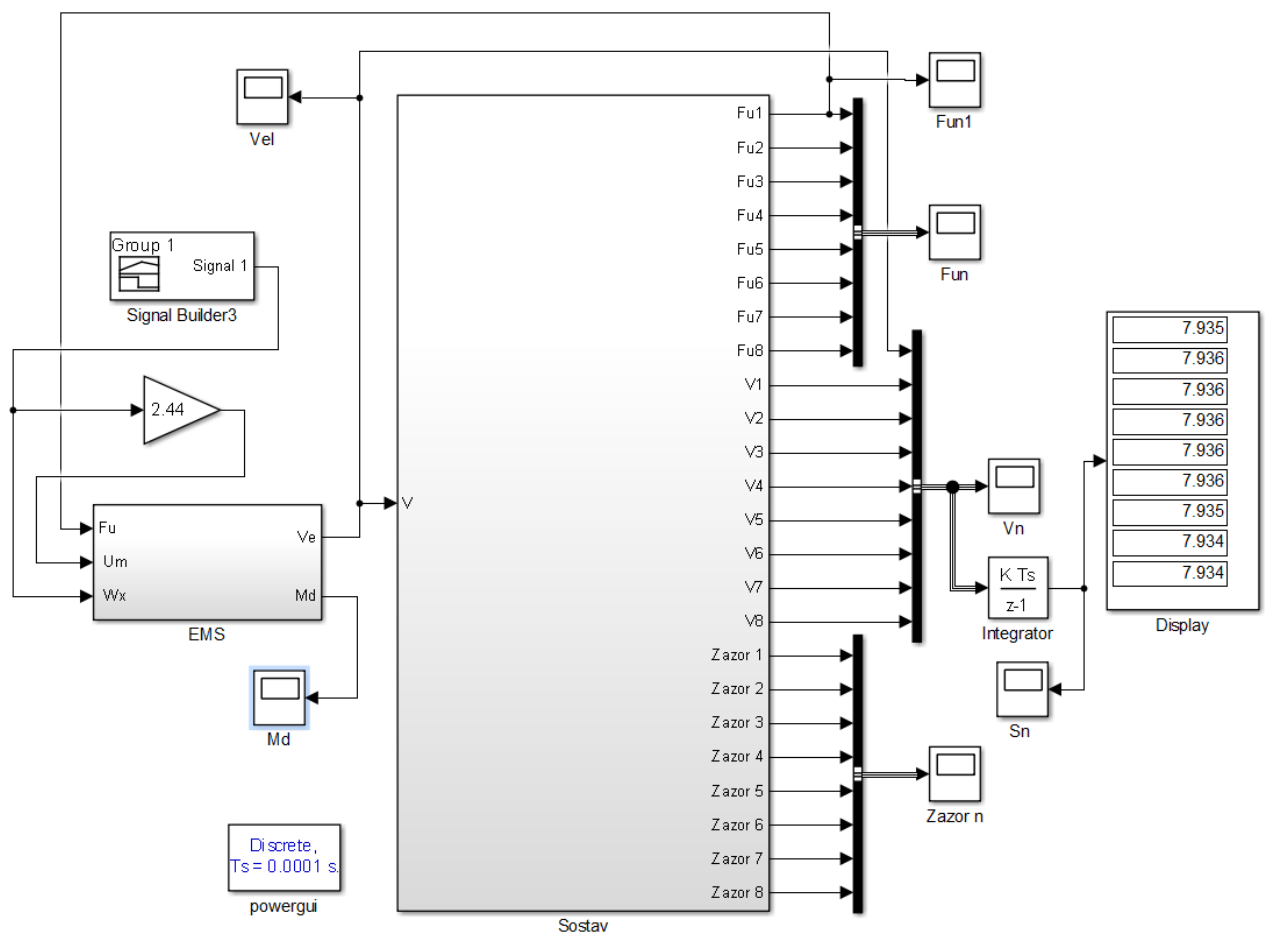


Рис. 1.2. Розрахункова модель

Розглянемо більш детально окремі складові елементи математичної моделі електромеханічної системи рудникового потягу що складається з рудникового електровозу та восьми вагонеток.

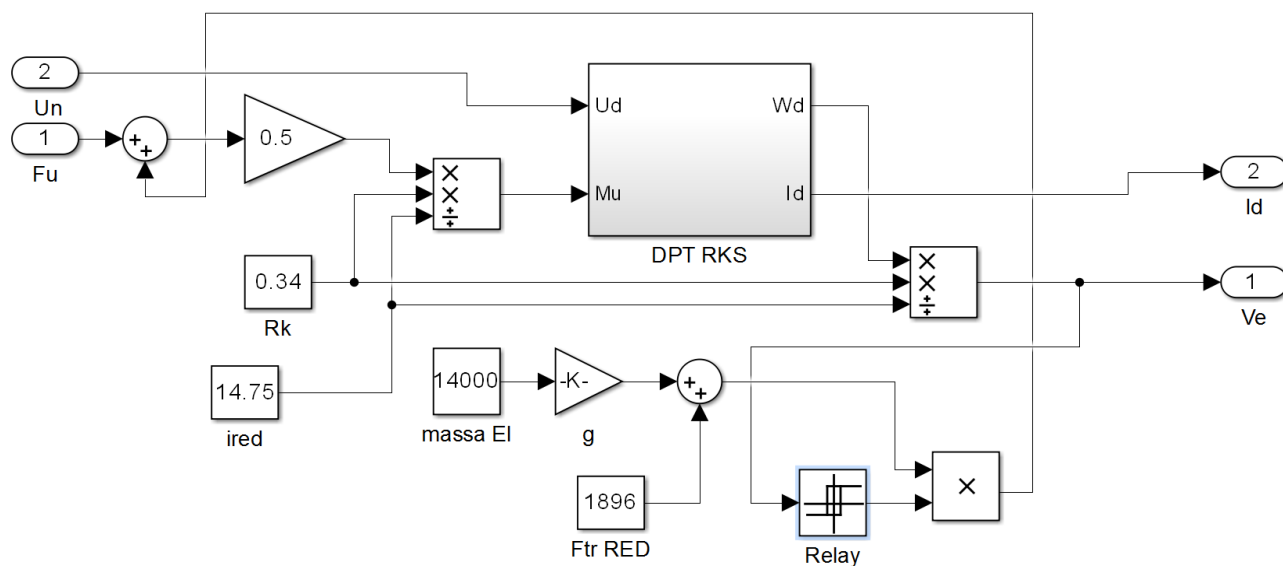


Рис. 1.3. Складові розрахункової моделі

До структури моделі тягової електромеханічної системи з одного боку входять тягові електричні двигуни рудникового електровозу які створюють тягове зусилля та статичні навантаження з іншого боку які створюють вагонетки рудникового потягу.

Математична модель рудникового потягу розбудовується з врахуванням параметрів механічної частини вагонеток та рудникового електровозу.

Математична модель рудникового електровозу відображає сигнал завдання швидкості руху потяга та відповідно до помилки що складається при відхиленні фактичної швидкості потяга від заданої виконує її коригування. На значення статичного моменту навантаження який надходить з боку вагонеток впливає жорсткість їх зчіпних пристроїв.

Наведено також блок динамічного зусилля який формує статичне навантаження що надходить від вагонеток у складі рудникового потягу.

Динамічні зусилля при взаємодії з статичним навантаженням утворюють силу тяги значення якої розраховується за рівнянням динаміки тягового електроприводу рудникового електровозу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.2. Дослідження режимів роботи електромеханічної системи рудникового потяга

Розглянемо процес створення динамічного моменту при переміщенні вагонеток рудникового потягу.

Модель тягової електромеханічної системи рудникового електровозу відтворює задану діаграму руху вагонеток рудникового потягу.

При цьому за вказаною діаграмою руху відбувається зміна швидкості рудникового електровозу.

Процес руху містить ділянку розгону та майже одразу уповільнення. Процес зміни швидкості руху рудникового електровозу забезпечується завдяки зміні напруги живлення тягових електричних двигунів.

При цьому кожному рівню напруги живлення буде відповідати певна кутова швидкість тягових електричних двигунів. Час однієї маневрової операції складає приблизно 20 секунд.

Проведемо дослідження описаного процесу руху рудникового потягу який складається з восьми вагонеток які рухає рудниковий електровоз. Для проведення дослідження процесу руху рудникового потягу скористаємося розробленою моделлю рудникового електровозу.

У структурі моделі рудникового електровозу можна виділити тягову електромеханічну систему яка складається з тягових електричних двигунів керування якими здійснюється зміною напруги живлення.

При цьому контролюються значення струму, магнітного потоку та кутової швидкості тягових електричних двигунів. При цьому виконується аналіз роботи тягової електромеханічної системи рудникового електровозу у режимах пуску та гальмування відповідно до діаграми руху рудникового

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

потягу. Також при цьому виконується контроль тягового та гальмівного зусилля рудникового електровозу.

Наведемо графік отриманої за допомогою математичної моделі діаграми руху рудникового потягу.

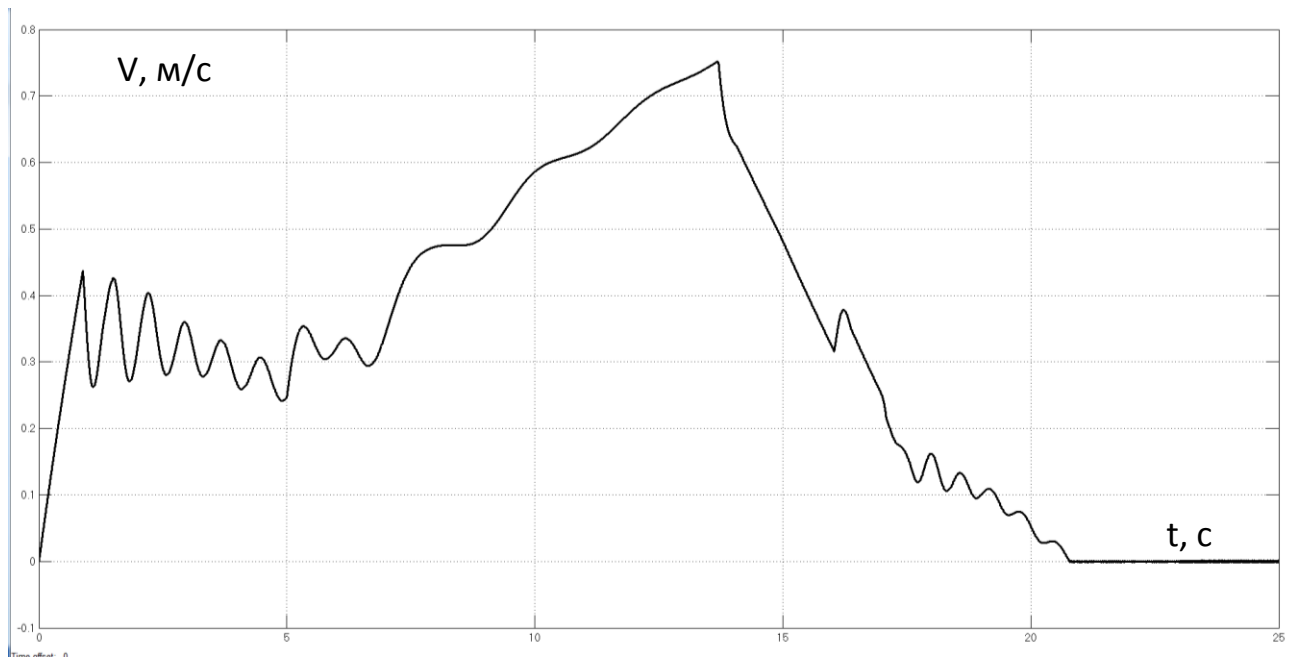


Рис. 1.4. Графік діаграми руху рудникового потягу

На діаграмі руху рудникового потягу як вже зазначалось раніше можна бачити ділянку пуску та ділянку гальмування яка має слідкувати безпосередньо за першою.

Також представимо струмові навантаження у тяговому електроприводів рудникового електровозу при виконанні заданої діаграми руху рудникового потягу.

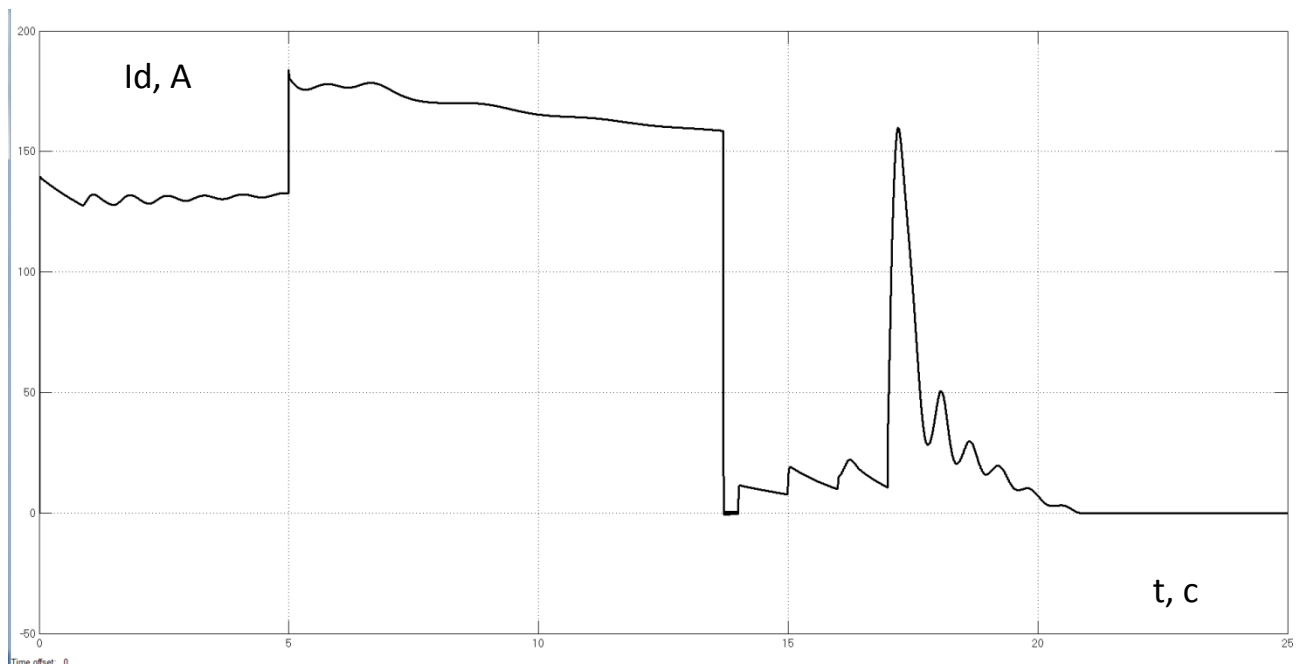


Рис. 1.5. Графік струмових навантажень

Розглянемо більш детальну графіки перехідних процесів за швидкістю руху рудникового потягу та струмом тягового електроприводу рудникового електровозу. На 14 секунді відбувається перехід з режиму пуску на режим гальмування. При цьому спостерігається значне збільшення струму тягових електричних двигунів.

Слід зазначити що відповідно до діаграми руху при цьому процесі відбувається переміщення рудникового потягу на дистанцію 8 м.

З графіків перехідних процесів за струмом тягового електроприводу рудникового електровозу можна спостерігати значне збільшення динамічного навантаження та виникнення можливості створення динамічних ударів на валу електричних машин.

Математичне моделювання динамічних режимів рудникового електровозу при русі за заданою діаграмою руху рудникового потягу виконувалось при повністю завантажених вагонетках.

Найбільш критичною ділянкою на діаграмі руху рудникового потягу є ділянка переходу з режиму пуску електричних двигунів рудникового електровозу до режиму їх гальмування.

Виходячи з позиції швидкоплинності цього процесу він потребує автоматизації.

При цьому завданням автоматизації буде виступати унеможливлення виникнення ударних динамічних навантажень на електромеханічну систему рудникового електровозу.

Процес автоматизації динамічних режимів у електромеханічній системі рудникового електровоза можна виконати при модернізації застарілої релейно-контактної системи керування та заміні її на сучасну систему з тяговими асинхронними двигунами при живленні їх від перетворювача частоти.

Для можливості контролю параметрів тягового зусилля рудникового електровозу систему керування його тяговим електроприводом зручно виконувати за методом прямого керування моментом.

Система прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу дозволить не тільки контролювати поточне значення тягового зусилля рудникового електровозу але й ідентифікувати параметри силової частини тягової електромеханічної системи.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розділ 2. СИСТЕМА ПРЯМОГО КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ

2.1. Загальна характеристика системи прямого керування моментом

Розглянемо структуру системи прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

Такий підхід є новим для електроприводу рудникового електровозу, оскільки зазвичай на таких системах використовується електропривод постійного струму.

До бази системи прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна можна покласти рівняння електромагнітного моменту асинхронної машини.

При живленні асинхронної машини від тягового інвертора може бути сформовано вісім просторових векторів.

Ці вісім просторових векторів складають базис структури прямого векторного керування моментом тягового асинхронного двигуна.

Перший та останній вектори є нульовими оскільки відповідають режиму короткого замикання асинхронної машини.

З електричних рівнянь у статорі асинхронної машини визначається взаємозв'язок між вектором напруги та вектором потокозчеплення електричного двигуна.

Розглянемо векторну діаграму тягового асинхронного електроприводу рудникового електровозу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02			
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат				
Розробив	Гладун Д.Є.				Розділ 2	Літ.	Лист	Листів
Перевірів	Сінчук І.О.						18	8
Реценз.								
Н. Контр.	Сінчук І.О.							
Затвердив	Пересунько І.І.					КНУ ЕЕМ-21-1		

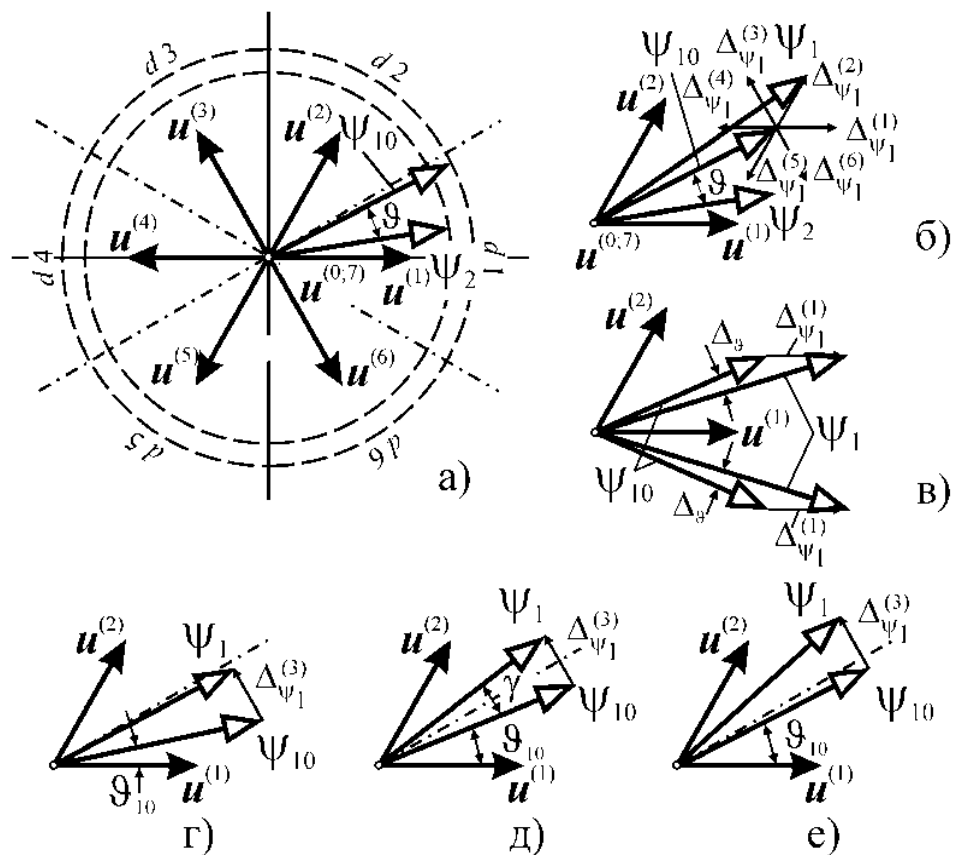


Рис. 2.1. Векторна діаграма системи прямого керування моментом

Векторна діаграма тягового електроприводу рудникового електровозу з асинхронними двигунами показує зміну стану векторів при формуванні тяговим інвертором базового вектору.

У загальному випадку формування будь-якого базового вектору буде відповідати вершинам правильного шестикутника.

При цьому у просторі вектори утворюють фігуру з центром у векторі початкового значення.

При допущенні що електромагнітна стала часу у обмотці ротором у декілька разів відрізняється від значення електромагнітної сталої часу у обмотці статора можна знайти між комутаційний інтервал для якого можна

буде стверджувати що потокозчеплення ротору тягового інвертора буде залишатись практично незмінним.

Отже слід обрати базовий вектор який буде формуватись тяговим інвертором та визначатись як зміною модульного значення статора так й кутом між проекціями вектором зчеплення.

Таким чином можна буде визначити необхідні значення проекції вектору електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.2. Структура тягової електро механічної системи потягу

Розглянемо алгоритми роботи методу прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

На початковому етапі необхідно визначити складові векторів потокозчеплення статора тягового асинхронного двигуна та складові електромагнітного моменту асинхронної машини.

Після цього необхідно визначити модуль вектору потоку зчеплення та провести порівняння його із сигналом завдання.

Таку ж само операцію слід провести з вектором електромагнітного моменту асинхронної машини.

При отриманні сигналу помилки відбувається регулювання зазначених проекцій векторів потокозчеплення та електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна.

$$d_{\psi} = \begin{cases} +1 \leftarrow |\psi_1|^* - |\psi_1| > +\Delta_{\psi} \\ -1 \leftarrow |\psi_1|^* - |\psi_1| < -\Delta_{\psi} \end{cases},$$

Для керування значеннями проекції вектору потокозчеплення та вектору моменту тягового асинхронного двигуна доцільно використовувати релейні регулятори.

$$d_m = \begin{cases} +1 \leftarrow m^* - m > +\Delta_m \\ 0 \leftarrow |m^* - m| < \Delta_0 \\ -1 \leftarrow m^* - m < -\Delta_m \end{cases}.$$

Сигнал помилки буде відповідати знаку збільшення або зменшенням проекції векторів.

За сигналами проекцій визначається базове положення векторів потоку зчеплення та електромагнітного моменту.

При цьому визначається необхідний сектор положення вектору напруги тягового інвертору.

Відповідно до сектору положення вектору напруги тягового інвертору визначається комбінація стану напівпровідникових елементів тягового інвертору.

Таким чином мінімізується відхилення величини заданих проекцій векторів потокозчеплення та електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна.

Таким чином електромагнітний момент тягового асинхронного двигуна буде знаходитись у межах допустимих відхилень від заданого значення.

Для мінімізації помилки вибір базових векторів величини проекцій вектору електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна має знаходитись у секторі вектору потокозчеплення.

Розглянемо схему реалізації системи прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

Система містить канали керування частотою обертання тягового асинхронного двигуна та модулем його потокозчеплення.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Таким чином при пуску та гальмування рудникового електровозу буде обмежено прискорення та кутова швидкість тягових електричних двигунів.

Також у системі керування запроваджено можливість обмеження струмів тягового інвертору для зменшення перерегулювання на виході задатчика інтенсивності.

Розглянемо функціональну схему системи прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

У контурі регулювання частоти обертання використовується пропорційно-інтегральний регулятор який формує сигнал завдання електромагнітного моменту який обмежується нелінійністю у зоні насичення сталі електричної машини.

Адаптивний спостерігач виконує функцію ідентифікації значень поточозчеплення статора та ротора тягового асинхронного двигуна. Для

ідентифікації значень потокозчеплення статора та ротора тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу використовуються базові заздалегідь розраховані значення струму та напруги.

Після чого виконується визначенням проекцій векторів струму та напруги статора тягової електромеханічної системи рудникового електровозу.

Після цього визначається сектор положення вектору потоку зчеплення тягового асинхронного двигуна.

У диференційних рівняннях складених для частоти обертання та електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу використовуються середньозважені інтервали дискретності які визначаються за методом кінцевих різнісних рівнянь.

Після чого сигнал завдання вектору електромагнітного моменту та сигнали завдання проекції вектору потоку зчеплення тягового асинхронного двигуна порівнюються з дійсними значеннями та за представленими виразами формуються сигнали помилок які надходять на входи відповідних релейних регуляторів.

При цьому ширина петлі гістерезису формує допустимі відхилення зазначених величин електромагнітного моменту та потоку зчеплення тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

Після чого тяговий інвертор формує відповідні комбінації напівпровідникових елементів та здійснює керування частотою їх комутації.

Для зменшення помилки визначення проекції вектору потокозчеплення тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу використовується попереднє визначення значення активного опору обмотки статора електричної машини.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для підвищення працездатності системи прямого керування електромагнітним моментом тягового асинхронного двигуна на рудниковому електровозі розглядається можливість проводити вимірювання у процесі його роботи.

Також слід зазначити що для більш ефективного зменшення помилки визначення проекції вектору потокозчеплення тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу використовується визначення також значення індуктивного опору обмотки статора електричної машини.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ ТА СИСТЕМОЮ ПРЯМОГО КЕРУВАННЯ МОМЕНТОМ

3.1. Розробка моделі для дослідження режимів роботи рудникового електровозу з тяговим асинхронним двигуном та системою прямого керування моментом

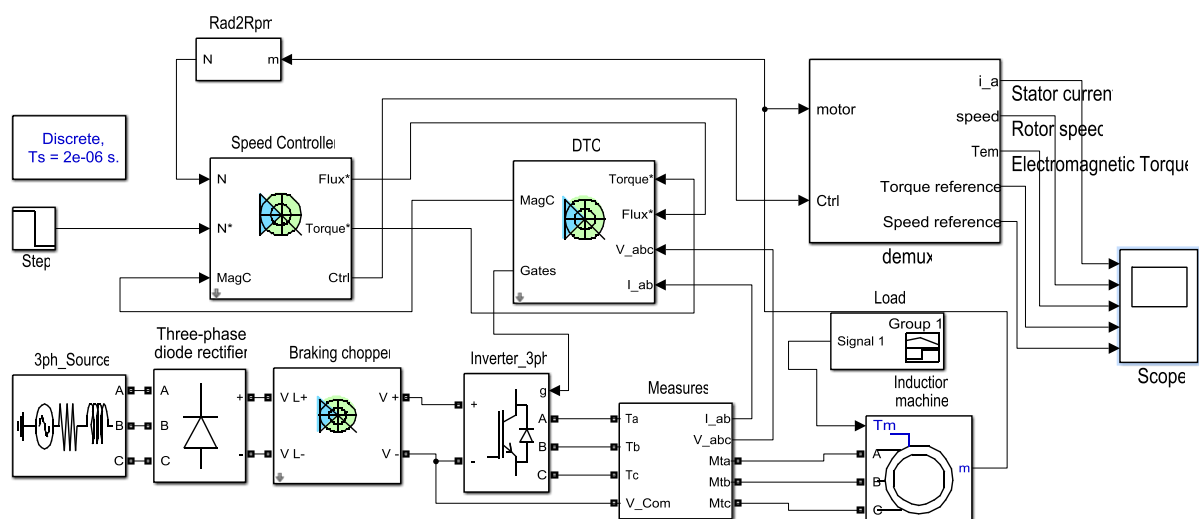


Рис. 3.1. Модель для дослідження режимів роботи рудникового електровозу з тяговим асинхронним двигуном та системою прямого керування моментом

Розглянемо перехідні процеси при роботі тягового електроприводу рудникового електровозу з керуванням за методом прямого керування електромагнітним моментом тягового асинхронного двигуна.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02						
Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Розділ 3			Літ.	Лист	Листів	
Розробив	Гладун Д.Є.									26	11
Перевірів	Сінчук І.О.										
Реценз.								КНУ ЕЕМ-21-1			
Н. Контр.	Сінчук І.О.										
Затвердив	Пересунько І.І.										

Систему електроприводу складають тяговий асинхронний двигун джерело живлення тяговий інвертор та елементи системи керування та захисту.

Система керування містить задавачі сигналів а також регулятори струму, потокозчеплення та частоти обертання тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу. Також до системи керування входить блок прямого керування моментом та датчики зворотного зв'язку. Тяговий інвертор представлено розосередженою дволанковою схемою.

Розглянемо структуру блоку регулювання частоти обертання тяговим асинхронним двигуном рудникового електровозу.

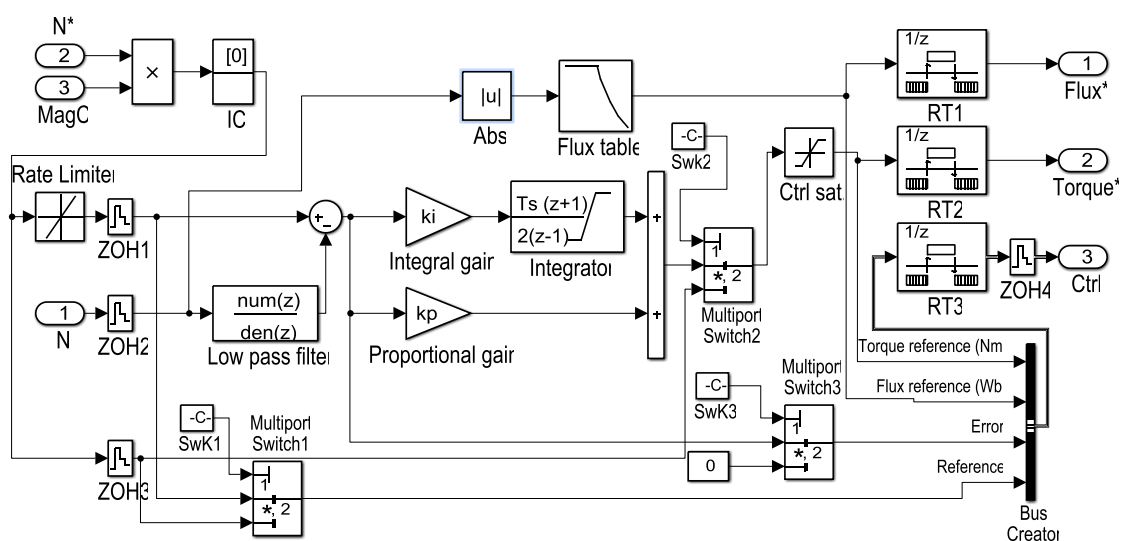


Рис. 3.2. Структура блоку регулювання частоти обертання тяговим асинхронним двигуном рудникового електровозу

У якості вхідного сигналу до блоку регулювання частоти обертання тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу надходять задане та поточне значення швидкості руху рудникового електровозу. Після обробки сигналів значення помилки потрапляє на вхід регулятора частоти обертання,

після чого далі за структурою схеми. Вихідним сигналом блоку регулювання частоти обертання тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу є сигнал завдання на визначення проекцій вектору потокозчеплення асинхронної машини.

Значення завдання на визначення проекцій вектору потокозчеплення порівнюється із поточними значеннями проекції вектору потокозчеплення тягового асинхронного двигуна а сигнал помилки потрапляє до пропорційно-інтегрального регулятора потокозчеплення.

Сигнал з виходу пропорційно-інтегрального регулятора потокозчеплення потрапляє на вхід формування завдання проекції вектору електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

У структурі математичної моделі містяться характеристики електромеханічної системи а також номінальні параметри тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

Номінальне значення частоти обертання тягового асинхронного двигуна а також номінальні значення струмом та напруги статора електричної машини використовуються для розв'язку диференціальних рівнянь тягової електромеханічної системи рудникового електровозу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

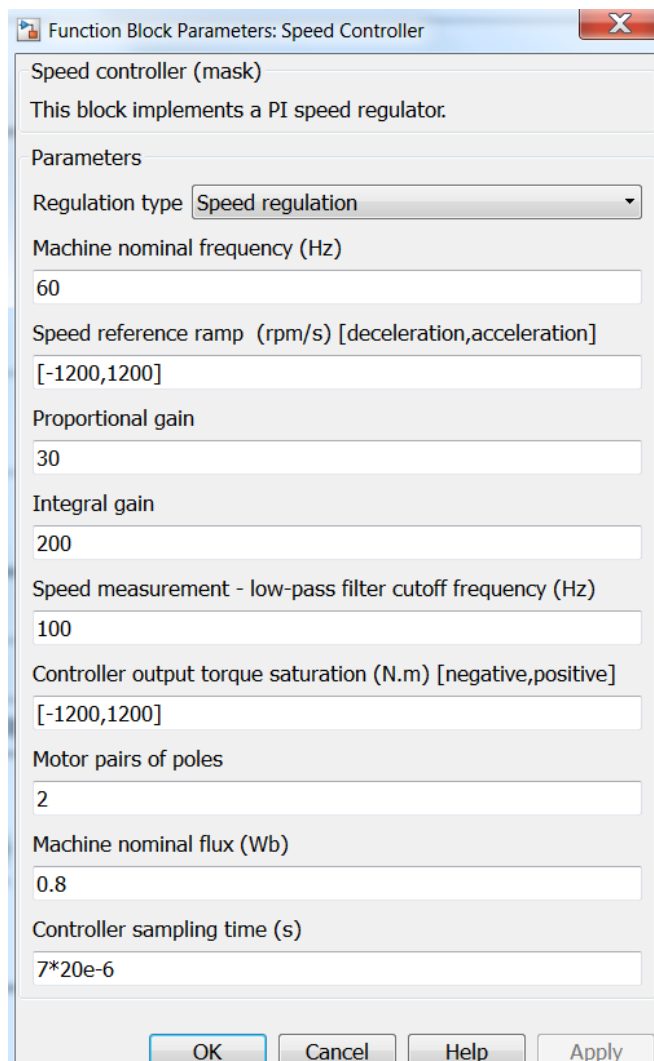


Рис. 3.3. Налаштування структури моделі для дослідження режимів роботи рудникового електровозу з тяговим асинхронним двигуном та системою прямого керування моментом

Представимо структуру блоку прямого керування електромагнітним моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

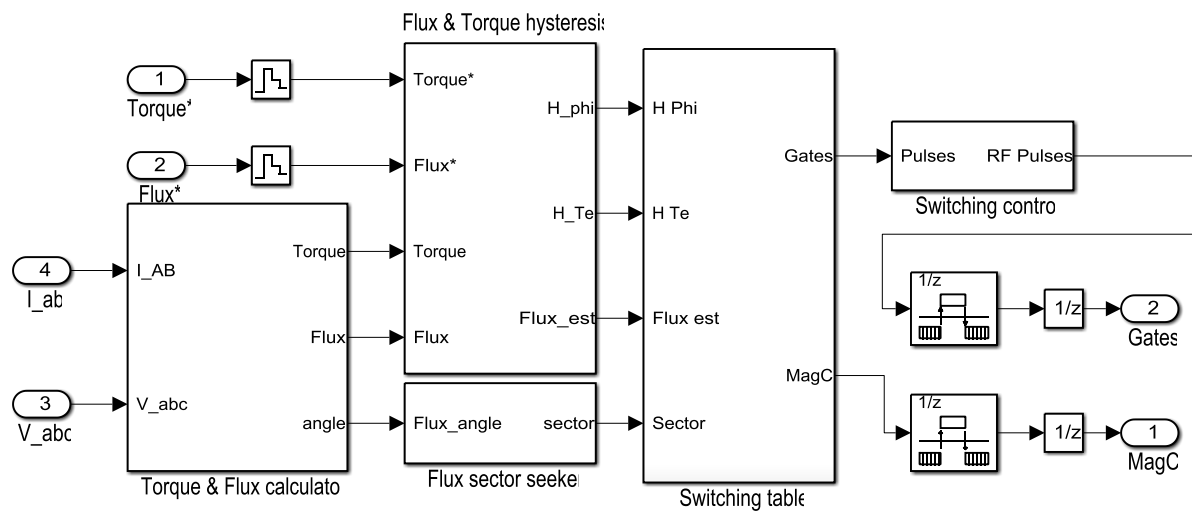


Рис. 3.4. Структуру блоку прямого керування електромагнітним моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу

У представленій структурі виконується розрахунок сигналів струму та напруги на обмотці статора тягового асинхронного двигуна. За розрахованими сигналами визначаються проекції вектору електромагнітного моменту а також вектору потокозчеплення. Після чого формуються сигнали керування напівпровідниковими елементами тягового інвертору які утворюють один з можливих восьми базових векторів.

Представимо структуру формування проекцій вектору потокозчеплення та електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

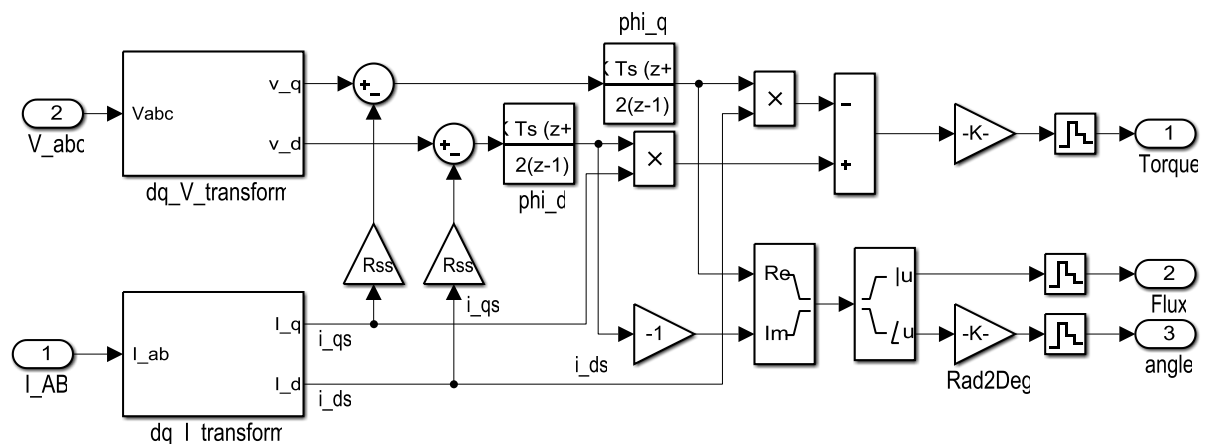


Рис. 3.5. Структура формування проєкцій вектору потокозчеплення та електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу

Складемо систему рівнянь за якою будемо визначати проєкції векторів потокозчеплення та електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

$$U_q = \frac{2}{3} \cdot \left(U_a - \frac{1}{2} U_b - \frac{1}{2} U_c \right)$$

$$U_d = \frac{2}{3} \cdot \left(U_a - \frac{\sqrt{3}}{2} U_b - \frac{\sqrt{3}}{2} U_c \right)$$

$$\psi_d = \int_0^t (U_d - R_{ss} \cdot i_d) dt$$

$$\psi_q = \int_0^t (U_q - R_{ss} \cdot i_q) dt$$

$$\theta_c = \arctg \frac{\psi_d}{\psi_q}$$

$$M_e = \frac{3}{2} \cdot p_{II} \cdot (\psi_d \cdot i_q - \psi_q \cdot i_d)$$

3.2. Дослідження режимів роботи рудникового електровозу з тяговим асинхронним двигуном та системою прямого керування моментом

Проведемо дослідження електромагнітних перехідних процесів при здійсненні прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу.

Динаміку електромагнітних процесів при роботі рудникового електровозу будемо виконувати за діаграмою руху рудникового потягу.

Таким чином електромеханічна система рудникового електровозу має виконати пуск та розгін тягового асинхронного двигуна а потім його зупинку.

При цьому необхідно стабілізувати швидкість руху рудникового електровозу та обмежити значення динамічної складової електромагнітного моменту тягового асинхронного двигуна.

Результати моделювання режимів роботи тягового електроприводу рудникового електровозу проілюструємо у вигляді графіків перехідних процесів у тяговій електромеханічній системі.

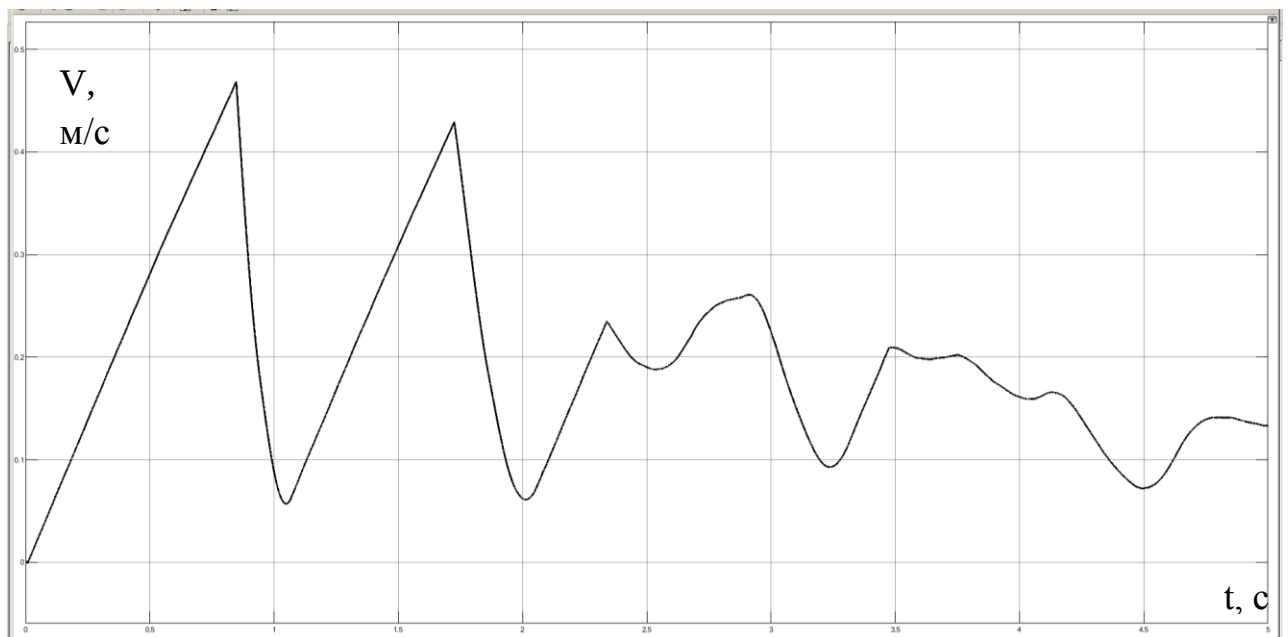


Рис. 3.6. Перехідні процеси у контурі швидкості рудникового електровозу при відсутності регулятора

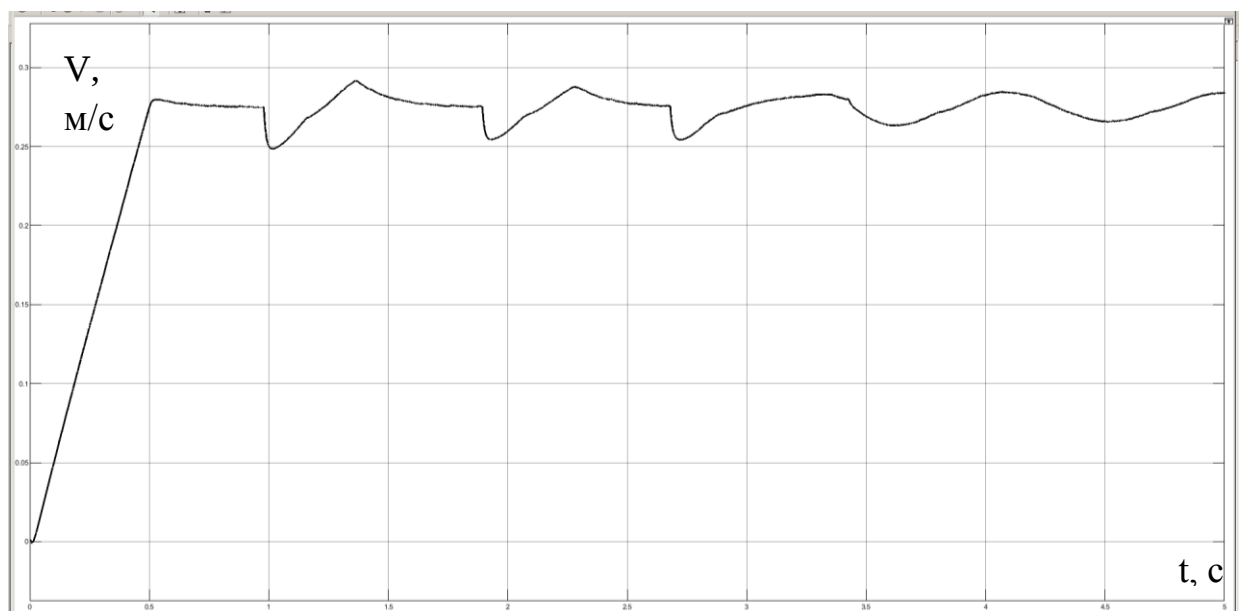


Рис. 3.7. Перехідні процеси у контурі швидкості рудникового електровозу з регулятором

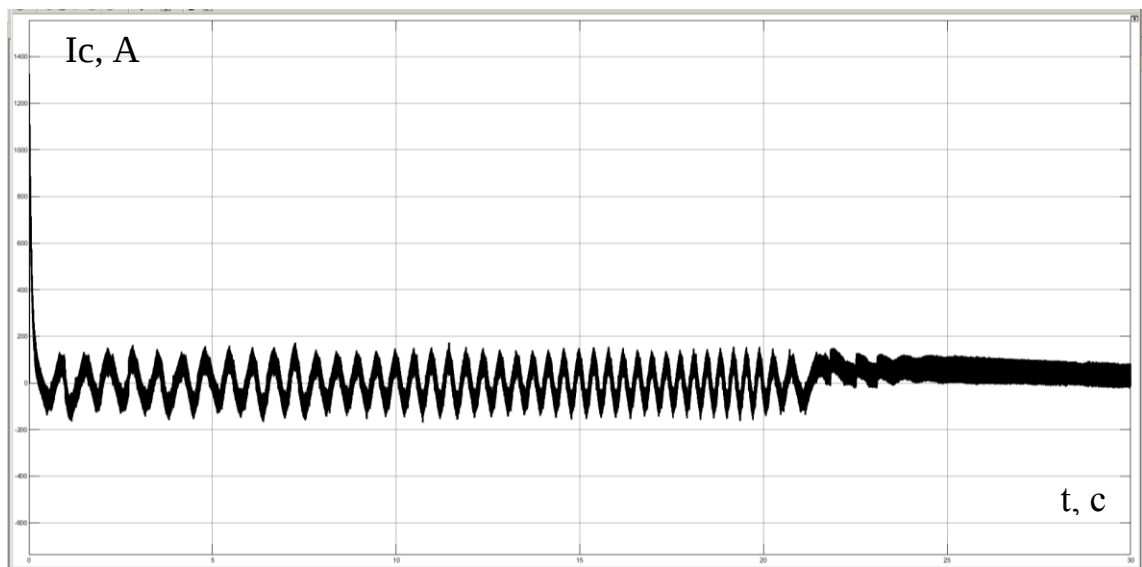


Рис. 3.8. Перехідні процеси у контурі струму електромеханічної системи рудникового електровозу

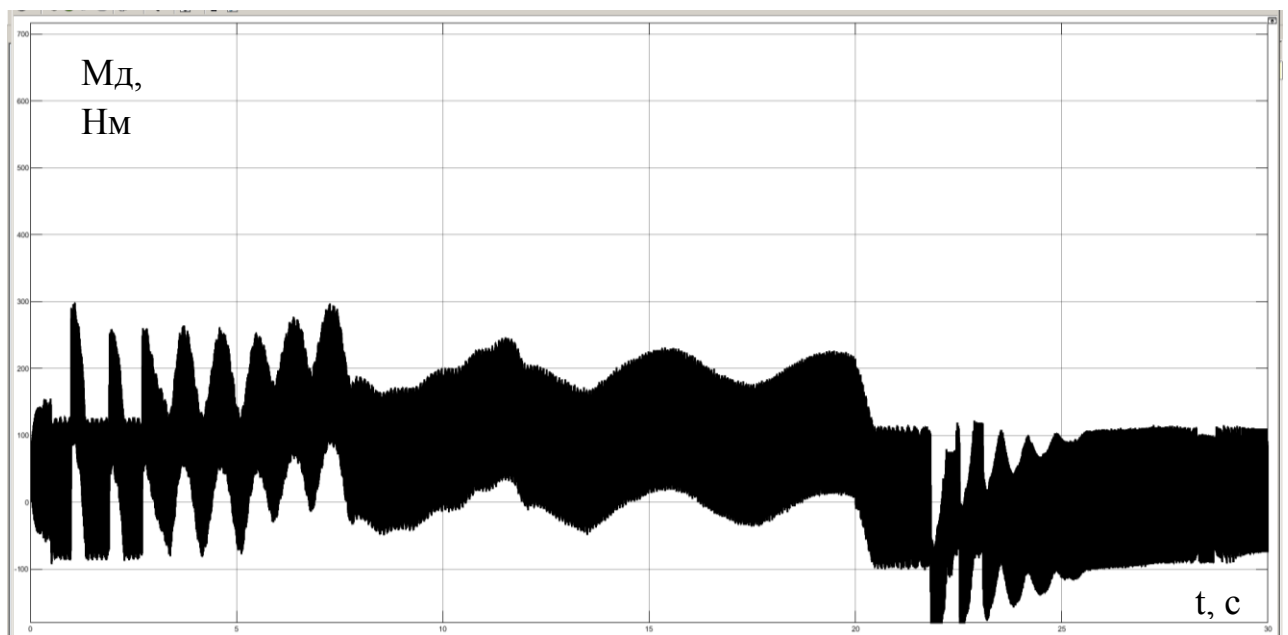


Рис. 3.9. Перехідні процеси у контурі моменту електромеханічної системи рудникового електровозу

3.3. Аналіз графіків перехідних процесів у динамічних режимів роботи тягового електроприводу рудникового електровозу

Аналіз графіків перехідних процесів у динамічних режимів роботи тягового електроприводу рудникового електровозу при прямому керуванні моментом тягового асинхронного двигуна показує що якість перехідних процесів при зміні параметрів тягової електромеханічної системи рудникового електровозу залишається високою.

Слід зазначити що система прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу відрізняється високою швидкодією та точністю регулювання параметрів електромагнітного моменту.

Також можна бачити що при прямому керуванні моментом тягового асинхронного двигуна поліпшується пускові та гальмівні характеристики рудникового електровозу.

При застосуванні системи прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна можна виконувати пуск та гальмування рудникового електровозу із заданим прискоренням та уповільненням.

Також слід зазначити що система прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна дозволяє змінювати параметри та налаштуванням регуляторів у процесі руху рудникового електровозу.

Отже система прямого керування моментом тягового асинхронного двигуна може бути рекомендована до впровадження на рудниковому електровозі.

Висновки

У першому розділі було проведено аналіз режимів роботи системи керування рудниковим електровозом.

Було розглянуто елементи які складають його структуру.

Також зазначено що у якості базової структури електромеханічного обладнання рудникового електровозу використовуються двигуни постійного струму.

Було запропоновано базову структуру електромеханічної системи рудникового електровозу модернізувати шляхом заміни встановлених двигунів постійного струму на тягові асинхронні двигуни.

Також було зазначено що тяговий асинхронний електропривод відрізняється своєю економічністю та стійкістю у динамічних режимах роботи.

У другому розділі було представлено структурну схему тягового електроприводу рудникового електровозу.

Також були розраховані елементи електромеханічної системи які складають структуру тягового електроприводу рудникового електровозу.

У якості джерела живлення тягового асинхронного двигуна рудникового електровозу було запропоновано використовувати перетворювач частоти.

Також було запропоновано регулювання напруги живлення тягового асинхронного двигуна виконувати за методом прямого керування моментом.

Було запропоновано декілька варіантів розбудови системи керування перетворювачем за методом просторово-векторної модуляції.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У третьому розділі була представлена розроблена модель для дослідження перехідних процесів у тяговому асинхронному електроприводі рудникового електровозу.

Для поліпшення якісних показників перехідних процесів у тяговому асинхронному електроприводі рудникового електровозу було запропоновано використовувати регулятори струму кутової швидкості та потокозчеплення.

Замкнена система керування дозволила значно підвищити якість перехідних процесів у тяговому асинхронному електроприводі рудникового електровозу.

					ЕТФ.КНУ.РБ.141.25.248-02	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		