

УДК 622.6

В.М. ГОНЧАРОВА (магістрант), **М.В. Чашко** (канд. техн. наук),
С.М. ЗІНОВ'ЄВ (канд. техн. наук, доц.)
Красноармійський індустріальний інститут
Державного вищого навчального закладу
«Донецький національний технічний університет»
Vika0920@email.ua

МОДЕЛЮВАННЯ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РУДНИКОВОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ

Застосування в шахтах і рудниках асинхронних двигунів з фазним ротором обмежене правилами безпеки. Найбільшого поширення набули рудникові електровози з двигунами постійного струму з послідовним збудженням та контактно-резисторною системою управління. Сучасний стан розвитку систем управління дозволяє створювати різноманітні механічні характеристики.

Розглянуті питання можливого застосування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в системі електроприводу рудникового акумуляторного електровозу. Запропоновані функціональна та структурні схеми системи управління асинхронним приводом шахтного електровозу. Виконана реалізація моделі асинхронного електроприводу в середовищі імітаційного моделювання MatLab/Simulink. Приведені результати моделювання системи електроприводу з асинхронним двигуном. Управління приводом змодельоване чотирьохпозиційним контролером, а зворотний зв'язок – за моментом опору. Особливу увагу було приділено питанням формування механічних характеристик асинхронного електроприводу шахтного електровозу. Розроблена структурна схема моделі асинхронного привода дозволяє отримати спектр механічних характеристик наближену до механічної характеристики двигуна постійного струму з послідовним збудженням.

Ключові слова: *рудниковий електровоз, асинхронний двигун, механічні характеристики, управління частотою, імітаційне моделювання, контролер, частота обертання, напруга живлення.*

Актуальність. На даний час на шахтах України застосовується велика кількість акумуляторних та контактних рудникових електровозів. У якості приводних двигунів застосовуються двигуни постійного струму з послідовним збудженням та контактно-резисторною системою управління тому, що для більшості шахт правила безпеки забороняють застосування асинхронного двигуна з фазним ротором. Даний тип електроприводу має як переваги, так і недоліки, які значно знижують ефективність роботи електроприводу. Тому перспективним є застосування асинхронного електроприводу [3].

Постановка проблеми. Найбільш простою електричною машиною серед тих, які застосовуються в промисловості, є асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Він компактний, має малу масу на одиницю потужності та простий у використанні. Тому актуальною задачею є впровадження асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором в систему електроприводу рудникових електровозів. Однак асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором мають доволі жорстку природну характеристику, яка не дозволяє при звичайній схемі включення регулювати швидкість обертання ротору.

Аналіз попередніх досліджень. За принципом своєї дії, асинхронний двигун у звичайній схемі включення не допускає регулювання швидкості його обертання. Найбільшого поширення набув частотний спосіб регулювання швидкості. Проте застосування його в системі електроприводу шахтного електровозу має свої особливості, які пов'язані з механічними характеристиками асинхронного двигуна (рис 1) [3].

Більшість досліджень, які присвячені регулюванню асинхронним приводом пропонують застосовувати частотні та векторні системи управління.

Принципи частотного керування асинхронним двигуном були сформульовані російським академіком М.П. Костенко в 1925 році. Він вперше описав спосіб пов'язаного зміни амплітуди і частоти напруги статора в залежності від необхідного моменту. Подальшим кроком у розвитку теорії та практики управління двигуном стало векторне управління. Його математична основа – диференціальні рівняння, які описують електричну машину однаково коректно і в динаміці, і в статичі [1].

Момент при векторному керуванні отримують за допомогою управління амплітудою і миттєвої фазою вектору струму статора або вектору статорної напруги.

В динаміці векторне управління, на відміну від частотного, дає можливість будувати високо динамічні прецизійні електроприводи змінного струму, які забезпечують найвищу точність і швидкість регулювання.

Використані у якості приводу двигуни постійного струму з послідовним збудженням мають механічну характеристику, яка добре відповідає вимогам до приводу рудникових електровозів. Отже, розроблені функціональна та структурна схеми повинні дозволити таке управління асинхронним двигуном з короткозамкненим ротором, яке дозволить створити механічну характеристику, наближену до характеристики двигуна постійного струму з послідовним збудженням [2].

Мета роботи – розробити та обґрунтувати систему управління асинхронного приводу рудникового електровозу.

Матеріали дослідження. У трифазних асинхронних двигунів найбільш перспективним способом плавного регулювання є зміна частоти напруги живлення. При цьому слід зазначити, що для найкращого застосування двигуна, зміна частоти повинна супроводжуватися зміною амплітуди напруги живлення. Пояснюється це тим, що при незмінній амплітуді напруги і регулюванні частоти буде змінюватися магнітний потік машини. Зменшення частоти викличе збільшення магнітного потоку, що може призвести до насичення магнітопровода, різкого зростання намагнічуючого струму і перегріву як сталі, так і обмоток статора. Збільшення частоти призводить до зменшення магнітного потоку, що при постійному статичному моменту викличе зростання струму в роторі і, відповідно, перегрів ротора [1].

Функціональна схема асинхронного приводу шахтного електровозу представлена на рис 1.



Рисунок 1 – Функціональна схема асинхронного приводу шахтного електровозу.

Функціональна схема включає в себе:

- асинхронний двигун з короткозамкненим ротором, який перетворює електричну енергію джерела в механічну енергію обертання ротору;
- джерело електричного живлення, який перетворює напругу постійного струму акумулятора в трифазну напругу змінного струму, кероване за амплітудою і частотою;
- пристрій завдання частоти обертання, яке виробляє сигнал $\omega = \frac{P}{M}$, необхідного для забезпечення режиму роботи приводу з постійною потужністю;

- пристрій завдання значення напруги, яке виробляє сигнал $\frac{U}{\sqrt{\omega}} = const$, необхідного для забезпечення обертаючого моменту при змінній частоті обертання;
- контролер, за допомогою якого машиніст електровозу задає бажану швидкість руху.

Функціонування схеми асинхронного приводу полягає в наступному: машиніст електровозу задає бажану швидкість руху, яка реалізується частотою обертання двигуна. Частота обертання залежить від положення контролера и моменту опору обертанню (M_c) – вона зворотно пропорційна моменту, так що потужність, яку розвиває двигун, є величиною постійною.

Напруга живлення двигуна пропорційна квадратному кореню частоти обертання під час руху електровозу і номінальна для двигуна під час пуску із нерухомого стану.

Описаний асинхронний привод був змодельований в середовищі імітаційного моделювання MatLab / Simulink. Схема моделі представлена на рис 2.

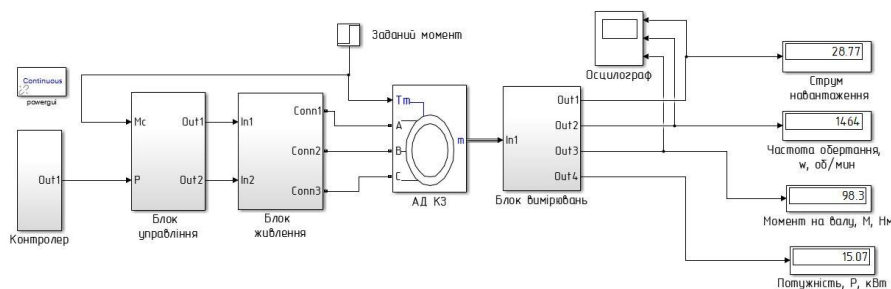


Рисунок 2 – Структурна схема моделі асинхронного привода

Схема складається з наступних складових частин:

- блок асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, параметри якого представлено на рис 3;
- блок живлення, який подає на двигун напругу керованої частоти і амплітуди;
- блок управління – здійснює регулювання частоти в функції моменту і напруги в функції частоти;
- блок вимірювань – відображає вимірювані величини, згідно з одиницями, передбаченими ГОСТом;
- осцилограф та дисплеї – призначені для відображення результатів моделювання.

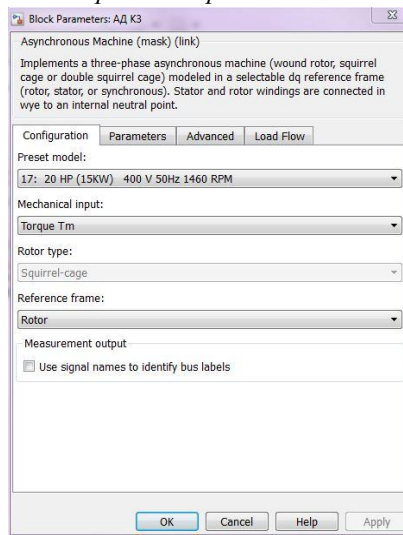


Рисунок 3 – Параметри блоку асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором»

Розглянемо більш докладно блоки управління та живлення. Контролер (рис 4, а) призначений для розрахунку значень зовнішніх характеристик привода та складається із ключів Manual Switch. Кожен із ключів задає зовнішню характеристику привода, залежність швидкості від моменту. Таким чином, побічно задається швидкість, з якою при певному моменту опору рухається електровоз. На вході ключів значення потужності – добуток моменту на частоту обертання. Для обраного двигуна потужністю 15 кВт, номінальний момент складає 100 Нм, номінальна частота обертання 314 рад/с, так що в залежності від положення контролера потужність привода складає $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, 1 від номінальної потужності двигуна P_f .

Контролер (рис 4, б) призначений для моделювання перехідних процесів під управлінням двигуном електровоза з контролера. Через проміжки часу на вхід подається значення потужності, яке складає $\frac{1}{4}$ номінальної потужності двигуна P_f , та через чотири кроки встановлюється значення потужності P_f , як показано на рис 8.

Блок управління (рис 5) призначений для формування залежності частоти обертання від моменту опору і залежності напруги від частоти. Перша із вказаних залежностей забезпечує режим роботи двигуна з постійною потужністю $P = \omega M = const$, друга – змінення напруги в функції частоти $\frac{U}{\omega^{-2}} = const$, необхідної для асинхронного двигуна в такому режимі.

Блок живлення (рис 6) складається з джерел напруги Controlled Voltage Source у кількості трьох елементів, один на кожен фазу. Керуючі ними елементи Sive Wave Function, які створюють на виході джерел синусоїдальну напругу, здвигнуті по фазі на $(2\pi/3)$ радіан, з амплітудою, яка дорівнює 1. В результаті, на виході блоку живлення отримуємо трифазну напругу, яка керується за амплітудою та частотою.

Блок вимірювань (рис 7) виконує функції перетворення значень. В результаті функціонування цього блоку дисплеї, які підключені до виходу блоку, представляють перетворені значення у відповідних одиницях виміру.

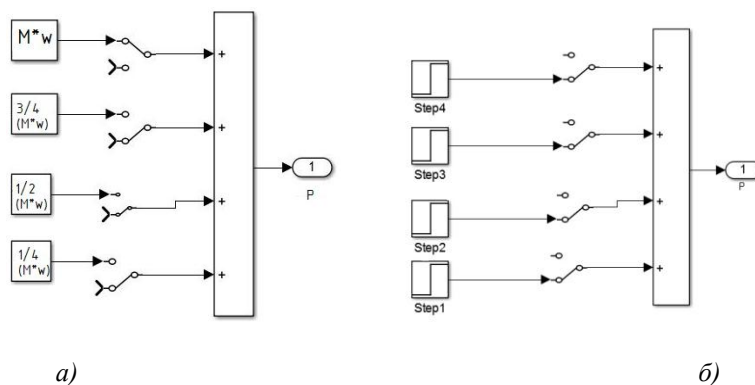


Рисунок 4 – Схема контролеру

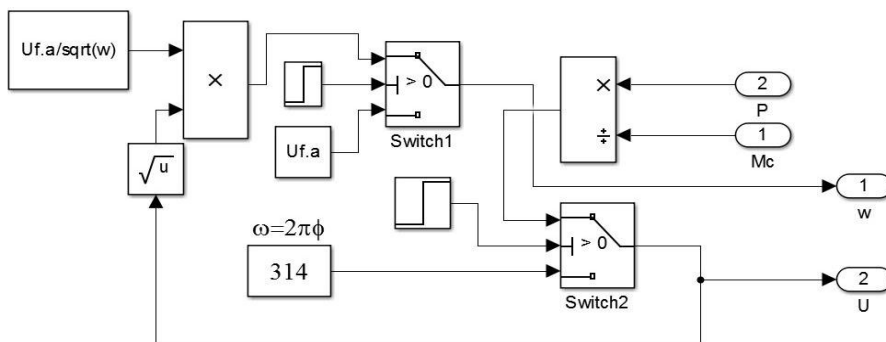


Рисунок 5 – Схема блока управління.

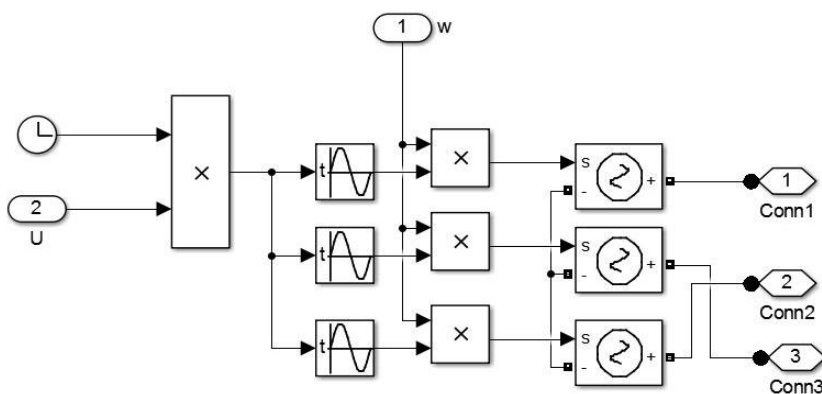


Рисунок 6 – Схема блоку живлення

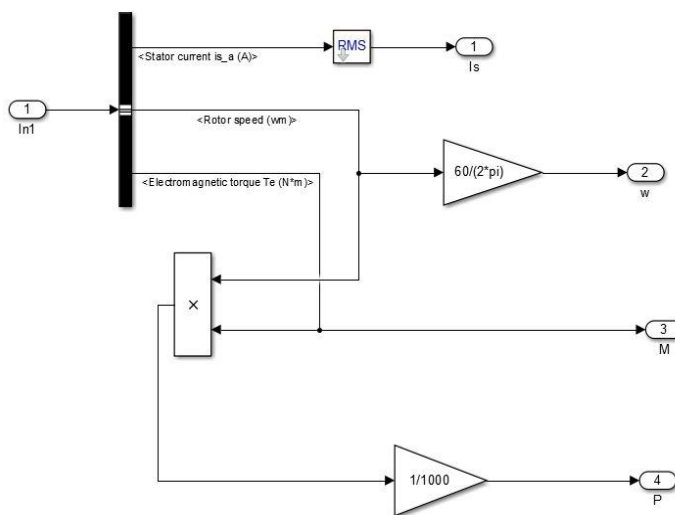


Рисунок 7 – Схема блоку вимірювань.

Результати моделювання, які були виведені на осцилограф, представлені на рис 8.

При моделюванні задавалися значення моменту та положення контролеру, при цьому значення напруги та частоти обертання розраховуються автоматично, у відповідності функціональних блоків Simulink. З метою дослідження моделі асинхронного привоу, були отримані зовнішні характеристики привоу при різних положеннях контролеру та при різних значеннях моменту. Отримані значення приведені в таблиці 1.

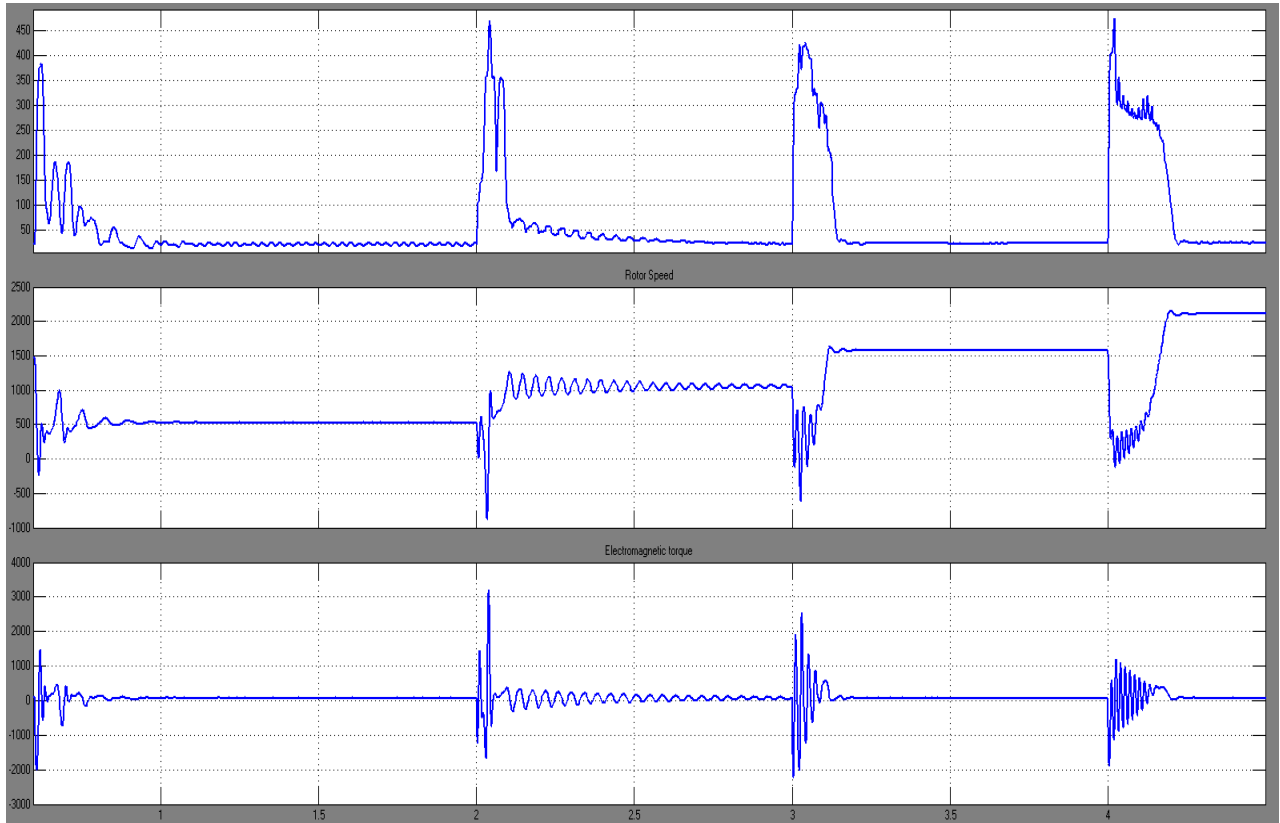


Рисунок 8 – Результати моделювання.

Таблиця 1 – Розрахункові значення зовнішніх характеристик привода.

P, кВт	M, Нм	I, А	ω, об/мин
15	250	47,6	560
	200	39,4	713
	180	38,5	796
	150	29	952
	120	29,3	1214
	100	28,5	1464
	80	26,5	1839
	60	21,8	2463
11	250	49	418
	200	36	533
	180	30,5	599
	150	32,6	723
	120	28	907
	100	24,8	1100
	80	22,5	1380
	60	19,7	1948
7,5	250	48	280
	200	21	359
	180	23,6	401
	150	28	483
	120	28	604
3,75	100	25	732
	80	24,2	912
	60	19,5	1233
	250	53,4	140
	200	33	179
180	20,8	198,5	
150	22,3	240	

	120	35,7	303
	100	18,4	368
	80	27	458
	60	21	613

За результатом розрахованих значень характеристик приводу, буди побудовані механічні характеристики, які наведені на рис 9.

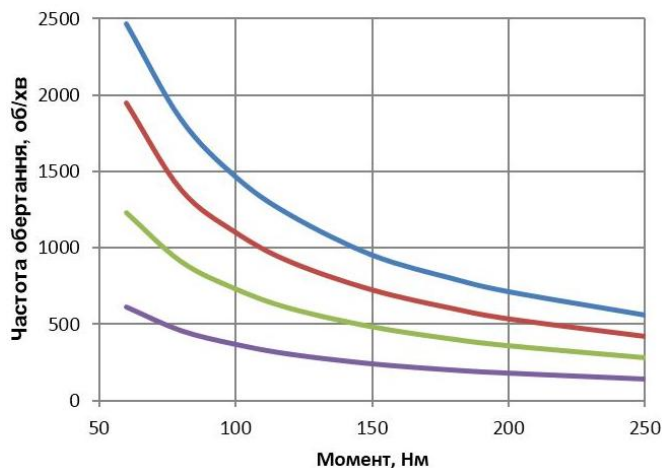


Рисунок 9 – Схема механічних характеристик

Отримані механічні характеристики змодельованого асинхронного приводу є подібними до механічних характеристик двигуна постійного струму, які є найбільш сприятливі для умов роботи шахтного електровозу.

Висновки. Запропонована схеми системи управління дозволяє створювати "дбайливе" енергоспоживання від акумуляторної батареї, точне застосування потужності двигуна, и найголовніше – отримати механічні характеристики асинхронного двигуна, побічних механічним характеристикам двигуна постійного струму, які є раціональними з точки зору управління для рудникових електровозів. Більш детальне опрацювання застосовуваних в схемі модулів дозволить розширити область моделювання або служить основою для розробок систем безконтакторного управління шахтним електровозом. Подальшим напрямом дослідження є удосконалення схеми системи управління асинхронним приводом з метою зменшення коливальних явищ, які притаманні механічним характеристикам асинхронного двигуна.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Калачев Ю. Н. Векторное регулирование (заметки практика) [Электронный ресурс]: Векторное регулирование URL: http://www.privod-news.ru/docs/Vector_Kalachev.
2. Регулирование скорости трехфазного асинхронного двигателя изменением частоты напряжения питания [Электронный ресурс]: Разработка и производство сервоприводов, бесколлекторных и вентильных двигателей, движитель (трастер) для телеуправляемого необитаемого подводного аппарата (ТНПА, ROV) URL: <http://servomotors.ru/>
3. Волков Д. В., Сташинов Ю. П. К вопросу о применении асинхронного частотно-регулируемого привода на рудничном электровозе. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М., 2005. – № 11. – С. 314-318.

REFERENCES

1. Kalachev, Y Vector regulation (practician's note) [An electronic resource]: Vector regulation of URL: http://www.privod-news.ru/docs/Vector_Kalachev.
2. Regulation of speed of the three-phase asynchronous engine change of frequency of supply voltage [An electronic resource]: Development and production of servo-drivers, the brushless and valve engines, the propeller (traster) for the remotely piloted URL uninhabited submersible (TNPA, ROV): <http://servomotors.ru/>
3. Volkov, D. and Stashinov Y. To a question of use of the asynchronous frequency and adjustable drive on a miner electric locomotive.//Mountain information and analytical bulletin. – M, 2005. – No. 11. – Page 314-318.

Надійшла до редколегії: 01.12.2015

Рецензент: Синков В.Г.

V. HONCHAROVA, M. CHASHKO, S. ZINOVYEV

Krasnoarmiysk Industrial Institute of State Higher Education Establishnent “Donetsk National Technical University”

Modeling of a mine electric locomotive asynchronous drive

Application in mines and mines of asynchronous engines with a phase rotor is limited by safety rules. Miner electric locomotives with direct current motor with consecutive excitation gained the greatest distribution. The modern level of development of control systems allows creating various mechanical characteristics.

The questions of possible use of the asynchronous engine with a short-circuited rotor in system of the electric drive of a miner accumulator electric locomotive are considered. Functional and block diagrams of a control system of the asynchronous drive of a mine electric locomotive are offered. The model realization of the asynchronous electric drive in the environment of imitating modeling of MatLab/Simulink is accomplished. The results of modeling of system of the electric drive with the asynchronous engine are given. The control of the drive is simulated by the four-position controler, and feedback - on resistance moment. The special attention is focused to questions of formation of mechanical characteristics of the asynchronous electric drive of a mine electric locomotive. The block diagram of the model of the asynchronous drive is developed. It allows receiving a range of mechanical characteristics approached to the mechanical characteristic of the direct current motor with consecutive excitation.

Key words: mine electric locomotive, induction motor, speed-torque characteristic, frequency control, simulation modeling, rotation frequency, source voltage.