УДК 629.423.31

В.Магурчак

ДОСЛІДЖЕННЯ НА МАТЕМАТИЧНІЙ МОДЕЛІ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В ТЯГОВОМУ ПРИВОДІ ЕЛЕКТРОВОЗУ ВЛ11

Науковий керівник – к.т.н., проф. С.Г. Буряковський

Модернізація існуючого рухомого складу є важливою складовою підвищення ефективності роботи залізничного транспорту. Один з шляхів ефективної модернізації - перехід на асинхронну тягу, тобто застосування машин змінного струму замість машин постійного струму. Переваги асинхронного приводу загальновідомі - це більш високий ККД, простота конструкції, більш висока питома потужність і низькі експлуатаційні витрати [1]. Найбільш простим способом дослідження властивостей електроприводів різних типів є математичне моделювання типових режимів їх роботи.

У статті представлені результати моделювання руху електровоза ВЛ11 за прийнятим профілем шляху з тяговими електродвигунами постійного струму типу ТЛ2К і асинхронним типу АД914У1.

Можливості MATLAB Simulink дозволяють змоделювати не тільки математичну модель двигуна, але й зробити візуальне моделювання електромеханічної системи всього електровоза, використовуючи бібліотеку Simpower electronics [2].

На рисунку 1 показана модель реостатного пуску електровозу ВЛ-11. На ній зображені: джерело постійної напруги 3000 В, реостат, вісім з'єднаних послідовно тягових двигунів, блок, що перетворює момент опору по ПТР [3].

У моделі задана маса електровозу 184 т, маса поїзда 5000 т, та профілем колії 2, 4, 2, 0, -2, -4, 0 ‰.

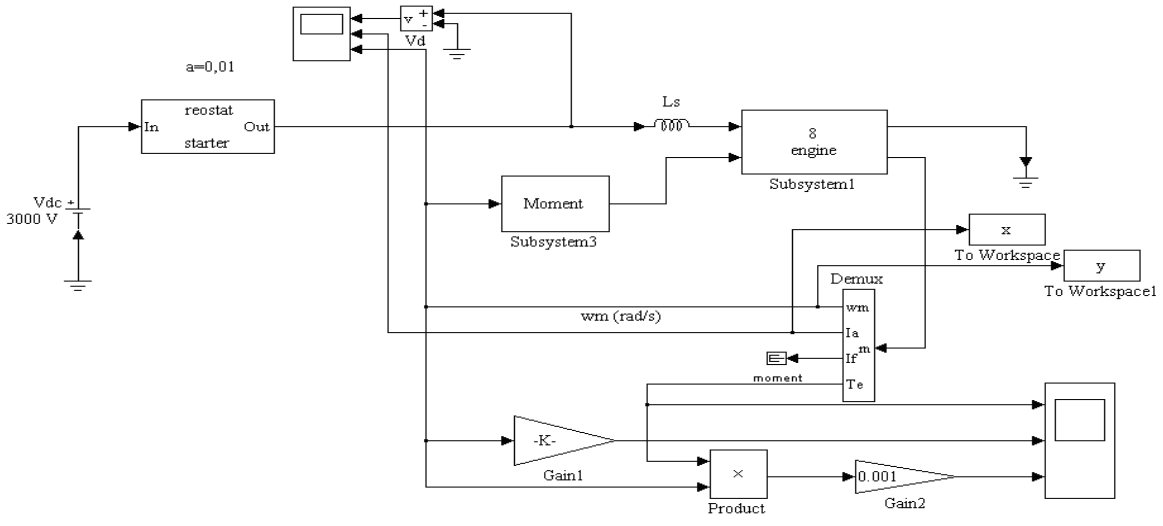


Рисунок 1 – Модель пуску електровозу при контакторно-реостатній системі керування

На рисунках 2 та 3 наведені графіки зміни основних координат електроприводу. Зміни величин мають такий же характер, як й електромеханічна система двигуна при східчастому пуску. У кожен момент перемикання реостата напруга на тягових двигунах стрибкоподібно змінюється, що призводить до різких змін струму й моменту. Такий режим пуску небажаний, тому що при роботі на граничному значенні зчеплення різкі стрибки моменту можуть призвести до боксування [4,5].

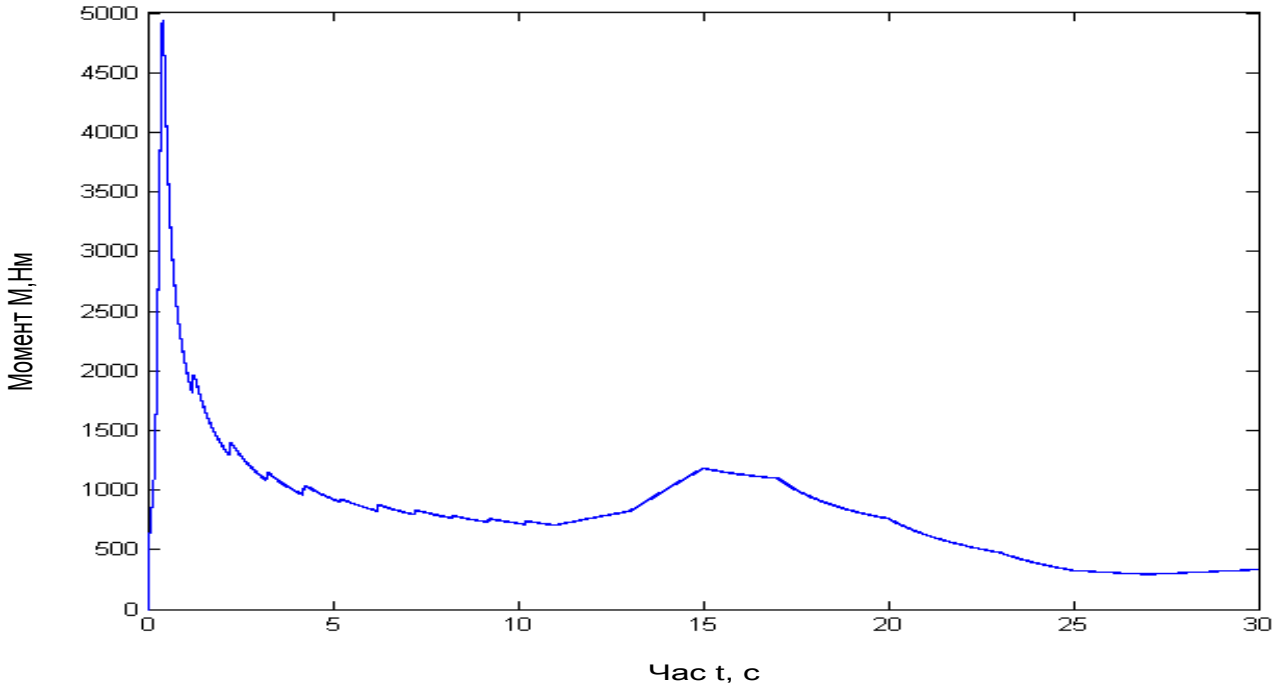


Рисунок 2 – Залежність моменту M від часу t серійного електровозу

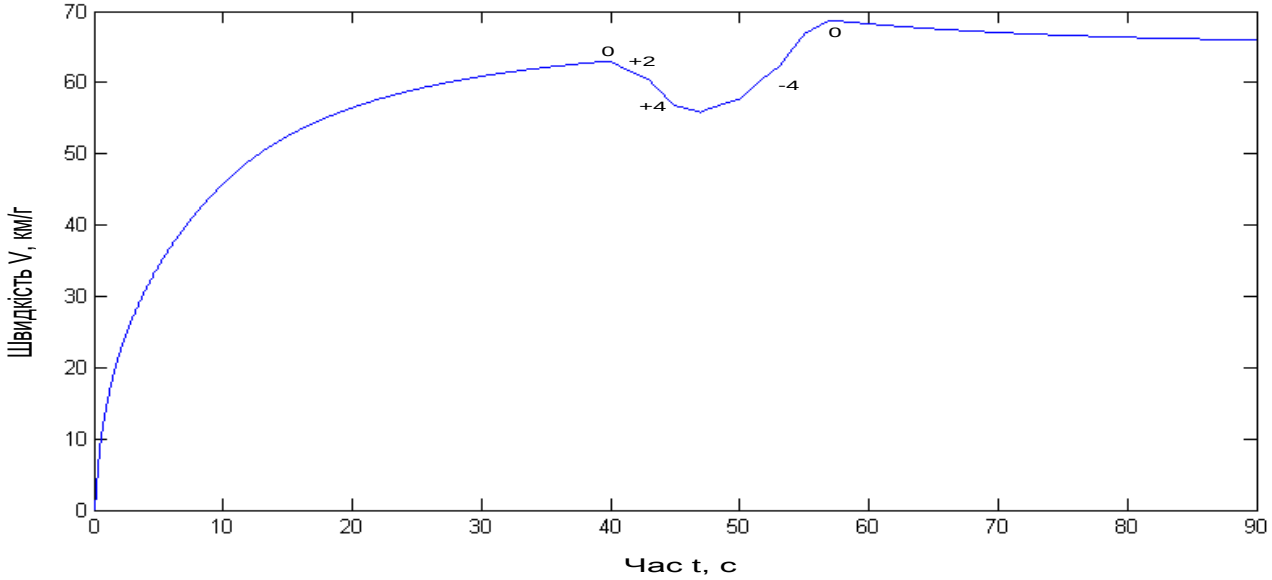


Рисунок 3 – Залежність швидкості V від часу t серійного електровозу

При дослідженні динамічних режимів роботи асинхронних двигунів використовуються двофазні математичні моделі, які адекватно відображають процеси, що, протікають в реальній машині. Найбільш загальною формою

математичного опису двофазних моделей є система диференціальних і алгебраїчних рівнянь:

$$\begin{cases} U_{\alpha s} = \dfrac{d\psi_{\alpha s}}{dt} + r_s \cdot i_{\alpha s} + \psi_{\beta s} \cdot \omega_k \\ U_{\beta s} = \dfrac{d\psi_{\beta s}}{dt} + r_s \cdot i_{\beta s} - \psi_{\alpha s} \cdot \omega_k \\ U_{\alpha r}{}' = \dfrac{d\psi_{\alpha r}}{dt} + r_r{}' \cdot i_{\alpha r}{}' + \psi_{\beta r} \cdot (\omega_k - \omega) \\ U_{\beta r}{}' = \dfrac{d\psi_{\beta r}}{dt} + r_r{}' \cdot i_{\beta r}{}' - \psi_{\alpha r} \cdot (\omega_k - \omega) \\ M = \dfrac{3}{2} L_\mu \cdot A \cdot p \cdot (\psi_{\alpha s} \cdot \psi_{\beta r} - \psi_{\beta s} \cdot \psi_{\alpha r}) \\ M - M_c = (\dfrac{J}{p}) \cdot \dfrac{d\omega}{dt} \\ i_{\alpha s} = A \cdot (\psi_{\alpha s} \cdot L_r{}' - \psi_{\alpha r} \cdot L_\mu) \\ i_{\beta s} = A \cdot (\psi_{\beta s} \cdot L_r{}' - \psi_{\beta r} \cdot L_\mu) \\ i_{\alpha r} = A \cdot (\psi_{\alpha r} \cdot L_r{}' - \psi_{\alpha s} \cdot L_\mu) \\ i_{\beta r} = A \cdot (\psi_{\beta r} \cdot L_r{}' - \psi_{\beta s} \cdot L_\mu) \end{cases} \quad (1)$$

Де ω_k - швидкість обертання координатної ортогональної системи, в якій досліджується двофазна модель, а коефіцієнт А :

$$A = \frac{1}{(L_s \cdot L_r - L_\mu{}^2)}, \quad (2)$$

Для побудови моделі, як і в попередньому розділі, використаний блоковий метод. Проте тут в підсистемі «Ad_914_y1» як блоки реалізується одне з рівнянь системи (1). Таким чином отримаємо дев'ять основних блоків:

1. блок, що моделює проекцію вектора потокозчеплення статора на вісь β
2. блок, що моделює проекцію вектора потокозчеплення статора на вісь α
3. блок, що моделює проекцію вектора потокозчеплення ротора на вісь β
4. блок, що моделює проекцію вектора потокозчеплення ротора на вісь α
5. блок, що моделює проекцію вектора струму статора на вісь β
6. блок, що моделює проекцію вектора струму статора на вісь α
7. блок, що моделює проекцію вектора струму ротора на вісь β
8. блок, що моделює проекцію вектора струму ротора на вісь α
9. блок, що моделює електромагнітний момент на валу ротора.

Щоб спростити читабельність моделі застосовані блоки «goto» і «from», що дозволило прибрати численні лінії зв'язки, що неминуче ускладнюють модель в подібних випадках.

З причини того, що із зміною частоти живлячої напруги згідно формулі

$$L = \frac{X}{\omega}, \tag{3}$$

змінюватимуться значення індуктивностей ротора, статора і намагнічуючого контуру, а отже і решти майже всіх параметрів двигуна, то в моделі застосований розрахунок цих параметрів в підсистемах шляхом відстежування зміни частоти живлячої напруги в перетворювачі частоти. Значення цієї частоти за допомогою блоку «goto» подається у відповідні блоки. За базову частоту узята частота контактної мережі 50Гц. При використанні динамічного гальмування, як відомо, на одну з фаз подається постійна напруга. В цьому випадку частота рівна нулю, що викликає помилку «ділення на нуль». Для уникнення цього спеціальним блоком в перетворювачі при динамічному гальмуванні штучно значення частоти приймається рівним 50 Гц, начебто це було при початковому завданні частоти при ручному розрахунку параметрів моделі.

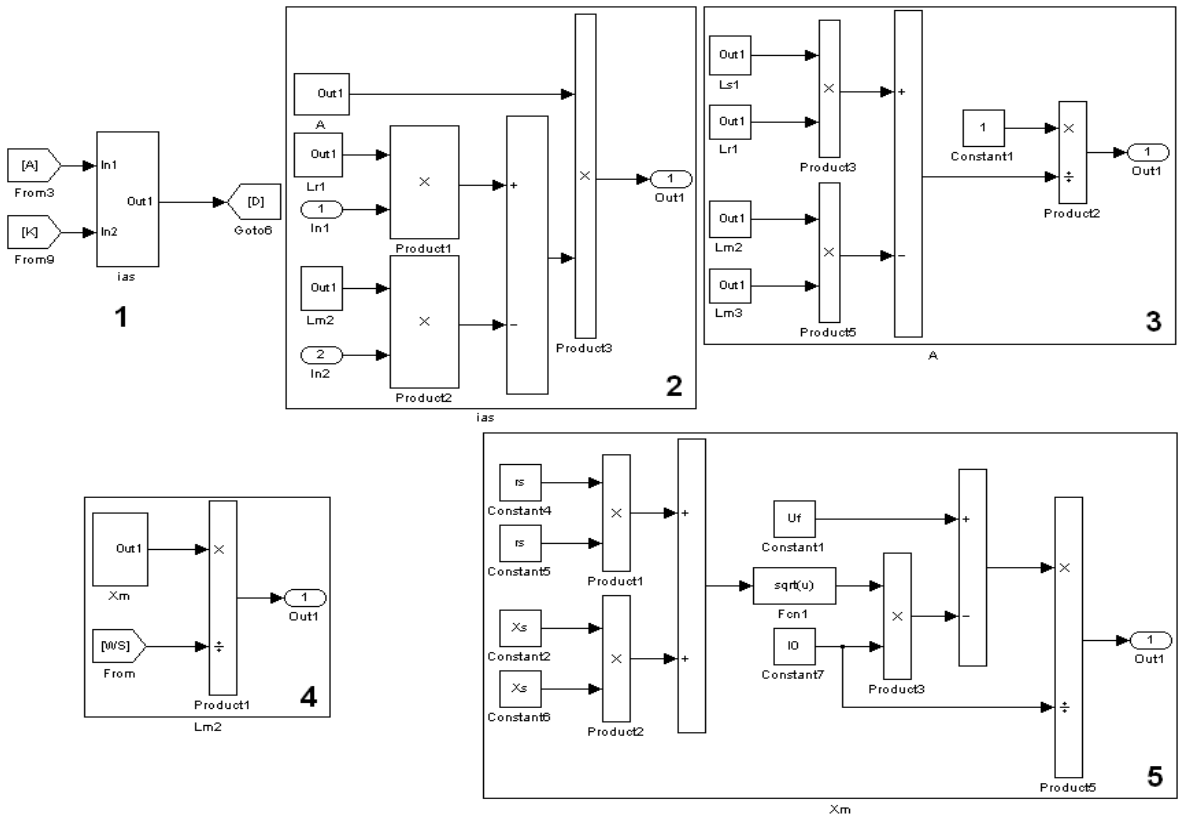


Рисунок 4 - Реалізація проекції вектора струму статора на вісь α

На рисунку 4 показано приклад моделювання блоків, що моделюють проекцію вектора струму статора на вісь α і розгортка блоків, що формують індуктивність намагнічуючого контуру.

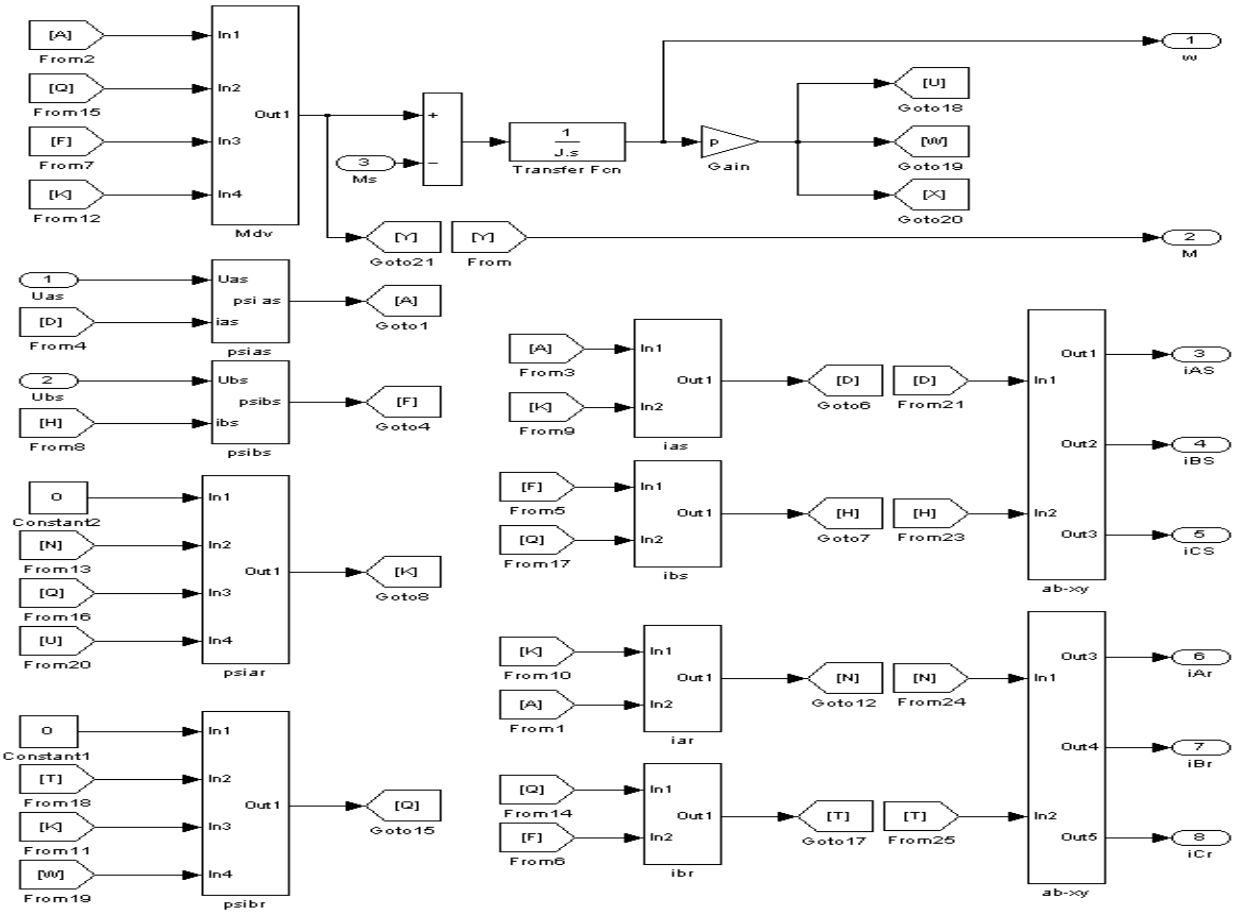
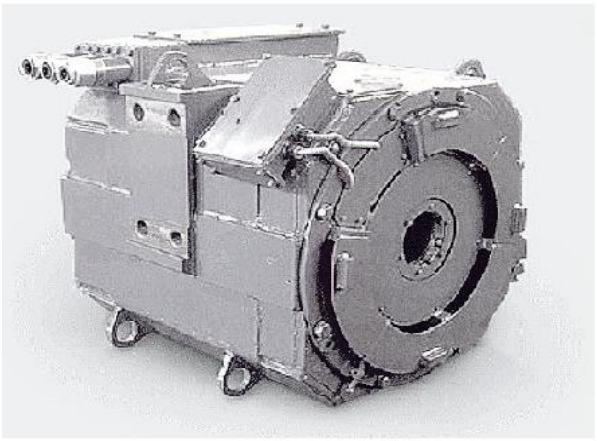
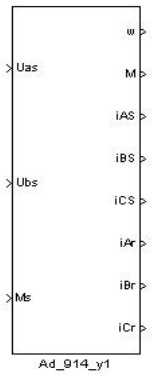


Рисунок 5 - Загальний вид моделі асинхронного двигуна

На рисунку 5 зображено загальний вид моделі асинхронної машини. На рисунку 6 показано загальний вигляд та маска підсистеми двигуна АД914У1.





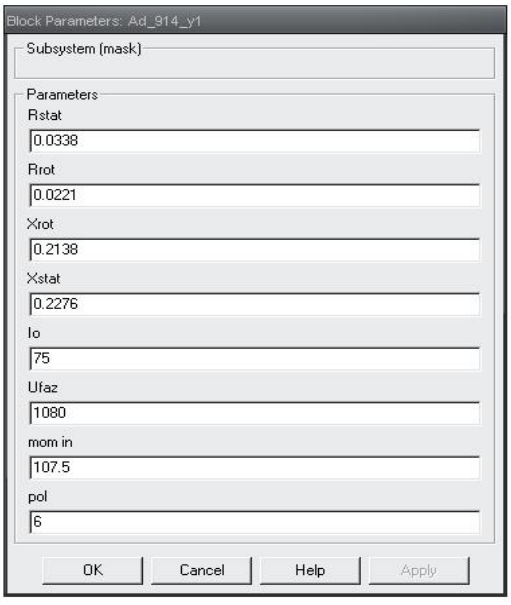


Рисунок 6 - Загальний вигляд та маска двигуна АД914У1 з номінальними параметрами.

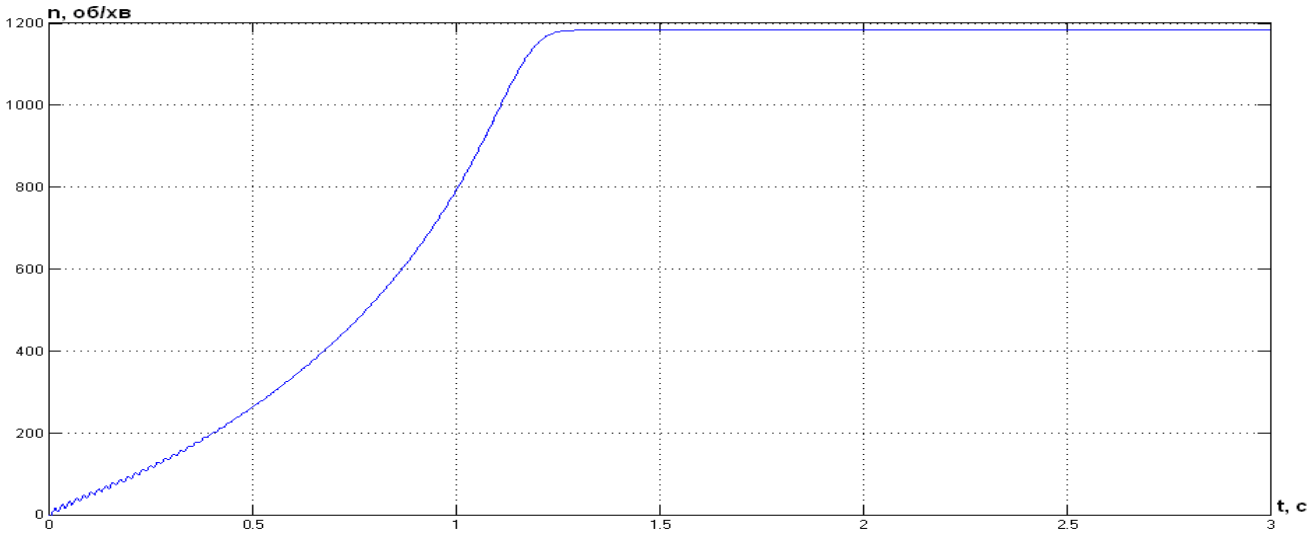


Рисунок 7 - Характеристика швидкості електродвигуна АД914У1

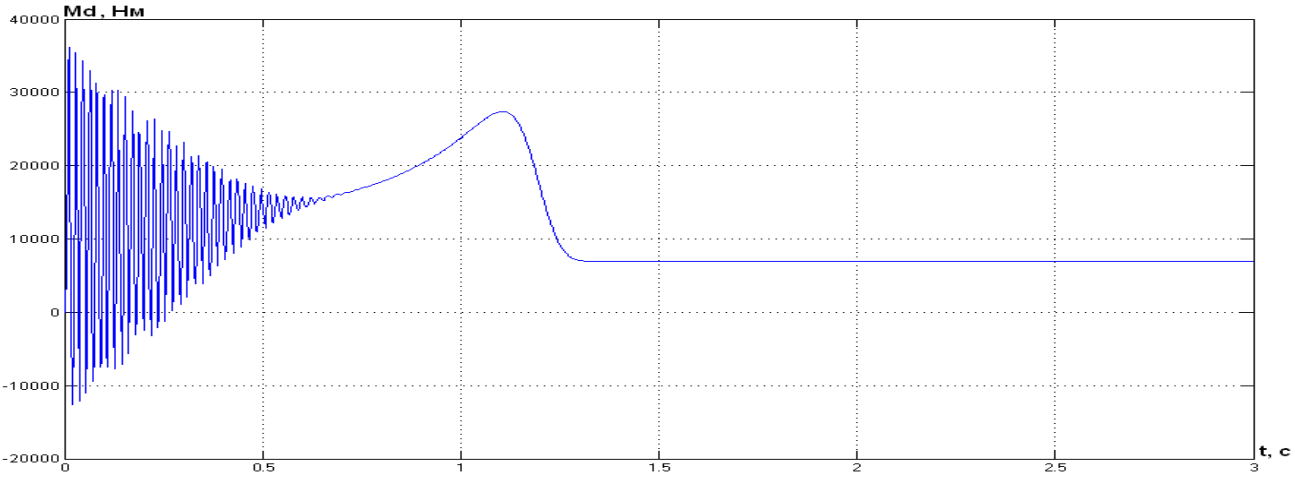


Рисунок 8 - Характеристика моменту електродвигуна АД914У1

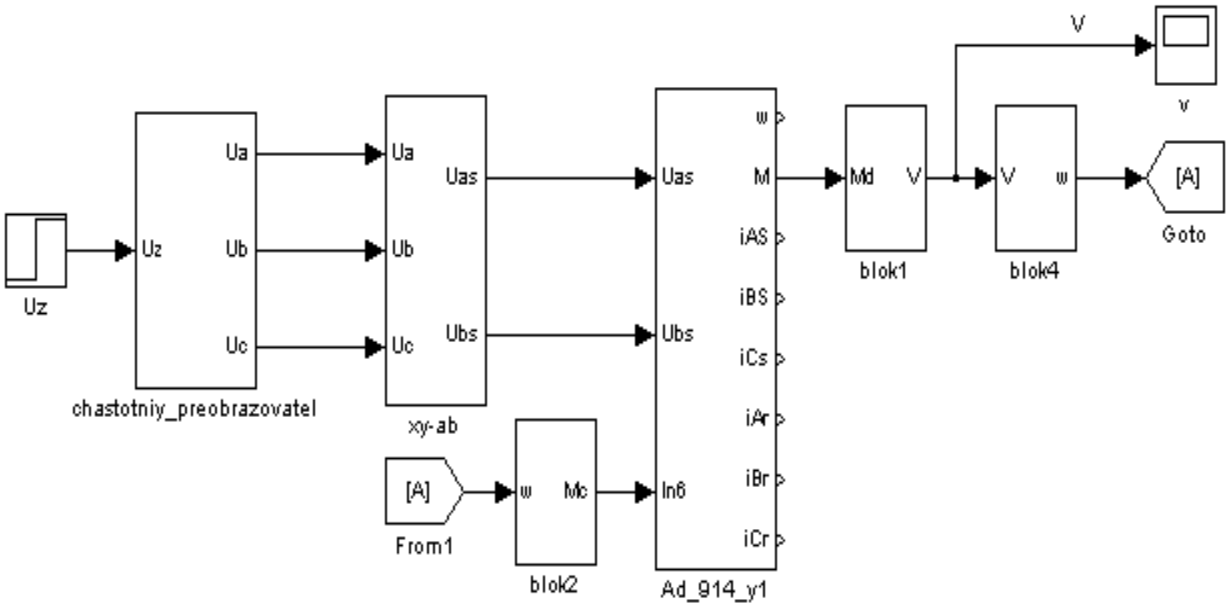


Рисунок 9 - Загальний вигляд моделі поїзда з асинхронним приводом

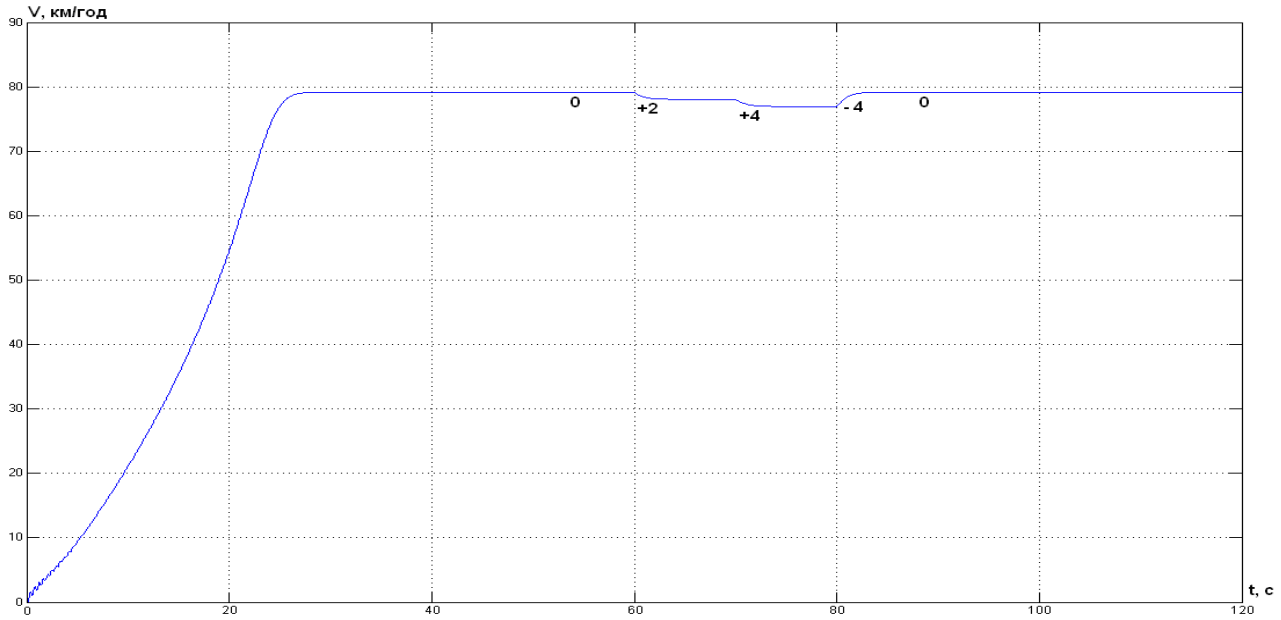


Рисунок 10 - Осцилограма лінійної швидкості поїзда на профілі (0 +2 +4 -4 0)

Із графіків видно, що поїзд обладнаний частотним перетворювачем та асинхронним двигуном, показує кращі швидкісні та тягові характеристики. Поїзд швидше розганяється, а просадка швидкості від профілю не така значна. Таким чином, при застосуванні новітніх елементів в силовій схемі ми отримуємо більш повне використання тягового зусилля, яке в свою чергу приводить до покращення динамічних показників електровозу та скорочення часу руху.

Список літератури

1. Концепція та Програма реструктуризації на залізничному транспорті України. – К.: НАБЛА, 1998. – 145 с.
2. С.Г.Герман-Галкин. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. - СПб.: КОРОНА принт, 2007, 320с.
3. В.Е.Розенфельд Теория электрической тяги – М.:Транспорт,1983 - 328с.
4. Чиликин М.Г. і ін. Основи автоматизованого електроприводу. М.: Енергія, 1974. –567 з.
5. Ключев В.И. Теорія електроприводу: Навчань. для вузів. –М.: Енергоатоміздат, 1985. –560 з.
6. Коновалов Є.В., Козар Л.М. Студентська навчальна звітність. Текстова частина (пояснювальна записка). Загальні вимоги до побудови, викладення та оформлення: Навч. посібник – Харків: УкрДАЗТ, 2004 – 36с.

Ключові слова: тяговий двигун, перетворювач частоти, електромеханічна система, перехідний процес, математична модель.

Анотації

Використання асинхронного тягового електроприводу замість існуючого релейно-контакторного приводу на базі машин постійного струму послідовного збудження забезпечує більш високі динамічні показники роботи системи електровоза і підвищує її загальну ефективність. Математичне моделювання процесів в обох системах наочно показало різницю у величині динамічної просадки швидкості при проходженні ділянок шляху з підйомами і поворотами.

Использование асинхронного тягового электропривода вместо существующего релейно-контакторного привода на базе машин постоянного тока последовательного возбуждения обеспечивает более высокие динамические показатели работы системы электровоза и повышает её общую эффективность. Математическое моделирование процессов в обеих системах наглядно показало разницу в величине динамической просадки скорости при прохождении участков пути с подъемами и поворотами.

The use of asynchronous traction electric drive instead of the existing relay-contactor drive based on series-wound DC machines provides higher dynamic performance of electric system operation and boosts its overall efficiency. Mathematical modeling of processes in both systems clearly showed the difference in the magnitude of dynamic subsidence rate during the passage sections of track with climbs and twists.