

наявності надійної вхідної інформації стосовно графіків первинного струму, величин допустимих рівнів напруг і статистики розмикань вторинних обмоток ТС.

2. Запропонована принципова схема обмеження перенапруг на виводах вторинної обмотки трансформатора струму, конкретна реалізація якої потребує додаткових досліджень, аналізу та конкретних практичних пропозицій щодо її виготовлення.

1. Бачурин Н.И. Трансформаторы тока: расчеты и конструкции. – М.; Л.: Энергия, 1964. – 376 с. 2. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. – 4-е изд., доп. – М.: Высш. шк., 1972. – 368 с. 3. Кошмидер А. Перенапряжения на вторичных обмотках трансформаторов тока при насыщении сердечника // Электромеханика. – 1972. – № 5. – С. 503–506. 4. Нормативний документ. СОУ-Н МПЕ 40.1.35.301:2004. Перевірка трансформаторів струму, які використовуються в системах релейного захисту. Інструкція. – К., 2005. – 71 с. 5. Патент на корисну модель № 49392. Спосіб захисту трансформатора струму від перенапруг / А.В. Журахівський, А.Я. Яцейко, М.М. Смігуровська, В.Я. Вінтонюк. – Опубл. 26.04.2010 р. Бюл. № 8. – 4 с. 6. Стогний Б.С. Анализ и расчет переходных режимов работы трансформаторов тока. – К.: Наук. думка, 1972.

УДК 612.335.43 – 501.72

Л. Карплюк, Б. Панченко

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра ЕАП

## ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЧАСТОТНОКЕРОВАНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДЛЯ ТЯГОВИХ МЕХАНІЗМІВ

© Карплюк Л., Панченко Б., 2012

**Проаналізовано побудову електромеханічної системи тягового електропривода. Наведено результати дослідження. Результати можуть бути використані під час розроблення тягових електроприводів.**

**Ключові слова:** *тяговий електропривід, система керування, паралельне ввімкнення регуляторів.*

**The control system of drive electric trains has been analysed. The conclusions have been drawn from the results of the research. The result may be used during the designing electric drives.**

**Key word:** *train electric drive, control system, parallel connect of regulator.*

### Постановка задачі

Сучасні засоби електротранспорту отримують живлення від контактної електричної мережі постійного струму. Електричну енергію можна подавати ззовні або від внутрішнього джерела енергії – акумуляторних батарей, автономної енергетичної установки з первинним дизельним або газотурбінним двигуном та генератором електричної енергії.

Основними вимогами до системи електропривода є забезпечення регулювання оператором та стабілізацію системою керування рівня споживання потужності електроприводом в усталених режимах та регулювання моментів тягових двигунів у динамічних режимах, стабілізація швидкості руху в маневрових режимах. При цьому величина цих параметрів не повинна перевищувати допустимих для електричного та механічного обладнання максимальних значень.

Тобто необхідно формувати характеристики з регулюванням швидкості і моменту, а також споживання заданого значення потужності в ustalених режимах.

### **Аналіз останніх досліджень**

Сьогодні в нашій країні на електротранспорті експлуатують переважно електроприводи з двигунами постійного струму послідовного та змішаного збудження. Перевагою таких двигунів є забезпечення природними властивостями двигунів тягової характеристики, тобто характеристики з постійною віддачею потужності ( $P_{дв} = M \cdot \omega$ ). Для керування такими двигунами застосовують реостатно-контакторні системи регулювання. У нових розробках використовують тягові електроприводи з тиристорно-імпульсними системами керування з двигунами постійного струму. Тиристорно-імпульсна система керування має істотні переваги перед реостатною: економія електроенергії (до 25 % для тролейбусів), плавне безступінчасте регулювання швидкості, електричне гальмування практично до швидкості зупинки, вищу керованість транспортним засобом. Основним недоліком електроприводів з такими двигунами є наявність тягових двигунів з колекторами, необхідність перекомутації силового кола при переході з тягових в гальмівні режими роботи.

Найбільш перспективним для електротранспорту є електроприводи з імпульсним керуванням двигунами змінного струму. Досягнення в галузі напівпровідникової техніки, мікроелектроніки, цифрових систем керування і на цій основі – в галузі автоматизованого електропривода створили реальну основу для впровадження керованого електропривода змінного струму в електротранспорті. Сучасні промислові частотно керовані асинхронні електроприводи зі скалярним та векторним способами формування вихідних напруг, вентильні двигуни на базі синхронних машин дозволяють отримати високі енергетичні та масогабаритні показники, формувати механічні характеристики з широким діапазоном регулювання швидкості під час регулювання частоти вихідної напруги як догори, так і донизу від номінальної. Задачу формування тягових механічних характеристик таких електроприводів необхідно реалізувати системою керування.

У відомих системах керування транспортними електроприводами [1–3] керуючими впливами, які задає оператор, є сигнали завдання величини частоти або напруги живлення привідного двигуна. У частотно-керованому тяговому електроприводі виділяють три основні режими стабілізації параметрів двигунів: моменту, потужності та напруги. Система автоматичного регулювання забезпечує ці режими роботи електропривода, реалізацію характеристик, за максимальною та частковою віддачею потужності. Тягові характеристики формуються за допомогою функціональних перетворювачів, які повинні реалізувати необхідні для роботи електропривода закони керування: забезпечення співвідношення  $U/f$ , регулювання з постійним моментом на валу двигуна, потужністю чи напругою що підводяться до двигуна.

### **Задачі досліджень**

Перетворювачі частотно-керованих асинхронних електроприводів загальнопромислового призначення, як правило, реалізують задане співвідношення  $U/f$  та обмеження вихідної напруги інвертора у разі перевищення частоти номінального для двигуна значення. Задача системи керування тяговим електроприводом – формувати характеристики з регульованою віддачею потужності та регульованим максимальним моментом, стабілізацією повзучих швидкостей. Дослідження регульованих властивостей системи, яка забезпечить виконання наведених вище вимог пропонується в цій роботі.

### **Виклад основного матеріалу**

Вимогу одночасного регулювання кількох параметрів може задовольняти система з паралельним вмиканням регуляторів. Дослідження показників керованості електропривода з двигуном постійного струму послідовного збудження, який живиться від тиристорного широтно-імпульсного перетворювача з паралельно ввімкненими регуляторами струму та швидкості [4] показали, що така система забезпечує діапазон регулювання швидкості з стабільними характеристиками в зоні

робочих швидкостей із одночасним обмеженням моментів допустимим значенням у режимах пуску, гальмування та режимах обмеження перевантажень. Для частотно-регульованого асинхронного електропривода пропонується застосувати систему регулювання з паралельно ввімкненими регуляторами моменту та потужності [5]. Така система забезпечує необхідні характеристики без значного ускладнення алгоритмів керування частотного перетворювача шляхом введення функціональних перетворювачів, як це має місце в [3]. Для стабілізації повзучих швидкостей пропонується доповнити цю систему ще одним, паралельно ввімкненим контуром швидкості.

Структурна схема системи електропривода наведена на рис. 1. Тяговий асинхронний двигун АД живиться від перетворювача частоти ТПЧ. Механічні характеристики формуються регуляторами швидкості РШ, моменту РМ і потужності РП. На регулятори швидкості і моменту, відповідно РШ і РМ, заведено від'ємні зворотні зв'язки за швидкістю з давача швидкості ТГ і моментом з давача моменту ДМ. Зворотний зв'язок, заведений на регулятор потужності РП, подається від давача потужності, вихідний сигнал якого отримано шляхом перемноження координат електромагнітного моменту  $M$  та швидкості  $\omega$  привідного двигуна. Ділянку обмеження моменту формує регулятор РМ. Регулятор РП забезпечує стабілізацію віддаваної електроприводом потужності. Сигнал завдання  $U_3$  пропорційний натиску ходової педалі. Оскільки сигнал подається одночасно на всі контури регулювання, то пропорційно сигналові завдання будуть збільшуватися і швидкість, максимальний момент і потужність електропривода. Пристрій вибору меншого з сигналів керування ПВ розпізнає та вмикає необхідний режим регулювання.

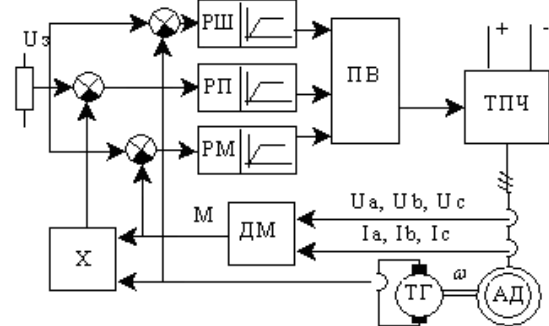


Рис. 1. Структурна схема електропривода

Серійні промислові асинхронні двигуни не оснащені давачами, котрі можуть безпосередньо вимірювати момент. На практиці для спостереження цієї координати використовуються естиматори і спостерігачі. Поточні значення електромагнітного моменту вираховуються за вимірними сигналами давачів напруг і струмів живлення АД як векторний добуток векторів потоку  $\vec{\Phi}_1$  і струму статора  $\vec{I}_1$  [6]:

$$M = k \dot{\vec{\Phi}}_1 \wedge \dot{\vec{I}}_1 = k \operatorname{Im}(\dot{\vec{\Phi}}_1^* \dot{\vec{I}}_1), \quad (1)$$

де вектор потоку визначається інтегруванням з рівняння

$$\dot{\vec{\Phi}}_1 = \int \left( \vec{U}_1 - R_1 \dot{\vec{I}}_1 \right) dt \quad (2)$$

Проведені дослідження математичної моделі тягового електропривода транспортного засобу з параметрами тролейбуса ЛАЗ з наведеною вище системою керування. У математичній моделі (рис. 2) використано модель асинхронного DTC електропривода з двигуном ЕД139 (132 кВт, 380 В, 137.6А 965 об/хв).

Виконані дослідження показали що тяговий електропривід з паралельно ввімкненими регуляторами формує механічні характеристики (рис. 3) з регульованими максимальним моментом та віддачею потужності. Характеристика з ділянкою стабілізації швидкості формується при відповідному повзучій швидкості сигналові завдання. На рис. 4 показані осцилограми перехідних процесів моменту  $M(t)$ , швидкості  $\omega(t)$  та потужності  $P(t)$  при збільшенні амплітуди стрибкоподібної напруги завдання на вхід запропонованої системи електропривода та зміні моменту навантаження  $M_C(t)$ .

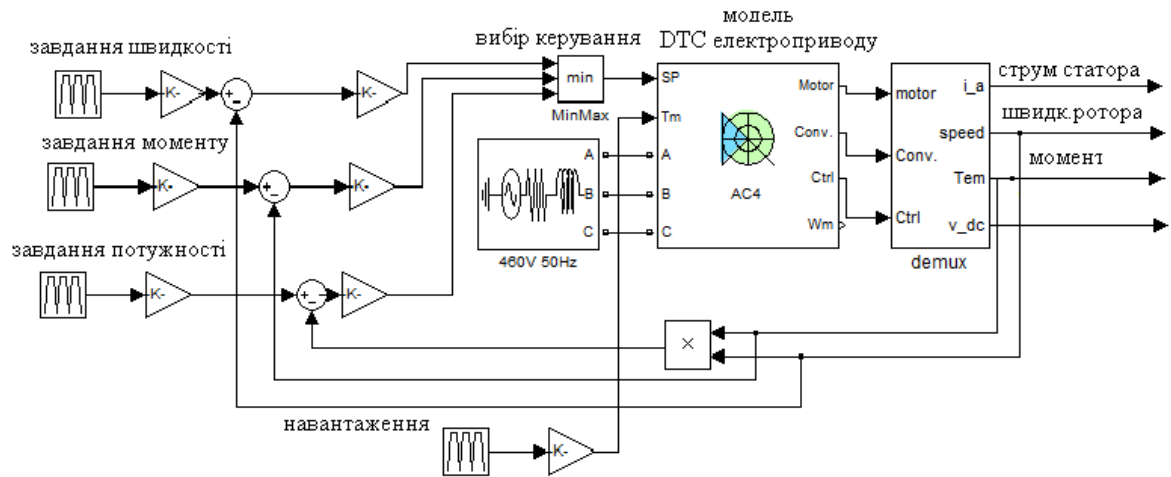


Рис. 2. Схема моделі тягового електропривода

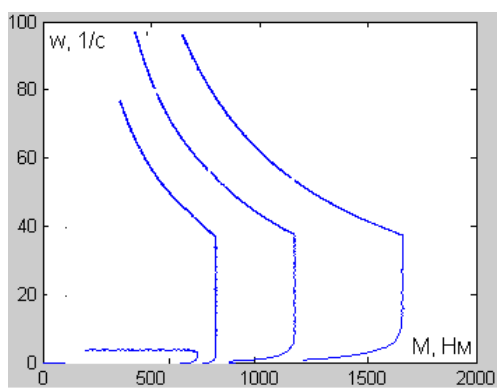


Рис. 3. Механічні характеристики системи електропривода

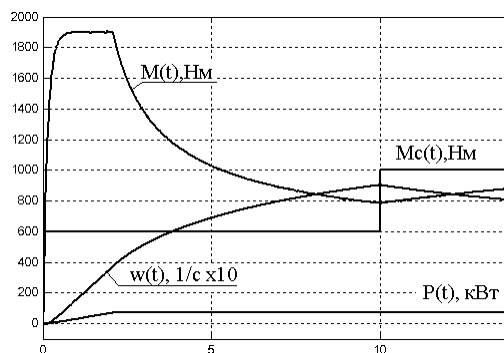
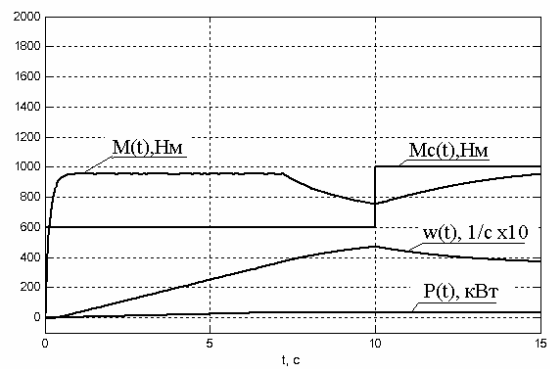
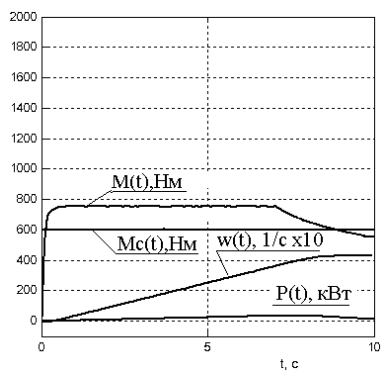


Рис. 4. Перехідні процеси в системі електропривода

## Висновки

1. Запропонована система частотно-керованого асинхронного електропривода формує статичні тягові характеристики з обмеженням максимального моменту без застосування функціональних перетворювачів
2. Дослідження шляхом математичного моделювання показали задовільну якість перехідних процесів регульованих координат при пуску та накиді навантаження в розробленій системі електропривода.

1. Лисовская И.С. Выбор характеристик регулирования асинхронного двигателя троллейбуса / И.С. Лисовская, В.К. Миледин, Б.Н. Начинкин // *Электротехническая промышленность. Сер. Тяговое и подъемно транспортное оборудование.*—1980.—Вып. 5[71].—С. 8. 2. Ефремов И.С. Перспективы применения асинхронного электропривода на городском транспорте / И.С. Ефремов., Л.С. Калошкина, С.И. Карасев // *Электричество.*—1984.—№ 10. — С. 21–26. 3. Зачек О.І. Програмно-комп'ютерна система керування в тяговому асинхронному електроприводі / О.І. Зачек // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка".* — 1999.—№ 372: *Електроенергетичні та електромеханічні системи.* — С. 59–64. 4. Карплюк Л.Ф. Вибір системи регулювання для електроприводів транспортних механізмів / Л.Ф. Карплюк // *Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка".* — 1997. — № 334: *Електроенергетичні та електромеханічні системи.*—С. 57–59. 5. Карплюк Л.Ф. Система керування для тягового частотно-керованого асинхронного електроприводу / Л.Ф. Карплюк, Б.Я. Панченко, Б.Л. Карплюк // *Вісник Національного технічного університету "ХПИ".* — 2003. — Вип. 10. 6. James N. Nash. Direct Torque Control, Induction Motor Vector Control Without an Encoder / James N. Nash // *IEEE Trans. Ind. Electronics, vol. 33, NO.2, p. 333-341, March/April 1997.*

УДК 681.5.01

А.І. Ковальчук, М.В. Хай, Б.М. Харчишин  
Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедри ЕАП, ЕМА, СКБ ЕМС

## МОДЕРНІЗАЦІЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ВАКУУМНОЇ ПЕЧІ ДЛЯ ВИПАЛЮВАННЯ МЕТАЛОКЕРАМІКИ

© Ковальчук А.І., Хай М.В., Харчишин Б.М., 2012

**Запропоновано розв'язання задачі здешевлення автоматизованих вакуумних печей з електроприводом на базі вентильних електродвигунів через заміну системи керування електропривода.**

**Ключові слова:** *автоматизована вакуумна піч, система керування електроприводу.*

**Offered solution to reduce the price of automatic vacuum oven with electrical drive, based on Brushless DC motors, by means of changing electrical drive's control system.**

**Key words:** *automatic vacuum oven, electrical drive's control system.*

## Вступ

Останнім часом позначилася тенденція до застосування спеціалізованої техніки, у якій сукупність електромеханічного перетворювача (ЕМП) та електронного блока керування розглядають як механотронну систему. Такий підхід за наявності певного типу електромеханічного перетворювача дає можливість синтезувати вентильний двигун, кроковий двигун тощо.