

моделі аналізу усталених режимів електропостачальних систем з урахуванням впливу статичної характеристики гідравлічної мережі.

1. Костишин В.С. Моделирование режимов работы відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 163 с. 2. Применение аналоговых вычислительных машин в энергетических системах / Под ред. Н.И. Соколова. – М.: Энергия, 1970. – 400 с. 3. Сипайлов Г.А., Лоос А.В. Математическое моделирование электрических машин. – М.: Высш. шк., 1980, – 176 с. 4. Сивокобыленко В.Ф., Павлюков В.А. Параметры и схемы замещения асинхронных электродвигателей с вытеснением тока в роторе // Электрические станции. – 1976. – № 2. – С. 51–54. 5. Фильц Р.В. Математические основы теории электромеханических преобразователей. – К.: Наук. думка, 197. – 208 с. 6. Перхач В.С. Математичні задачі електроенергетики. – Львів: Вища шк., 1989. – 464 с.

УДК 612.335.43 – 501.72

Л.Ф. Карплюк, Б.Л. Карплюк, Б.Я. Панченко
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕАП

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ДЛЯ ТЯГОВОГО ЧАСТОТНО КЕРОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

© Карплюк Л.Ф., Карплюк Б.Л., Панченко Б.Я., 2005

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

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.

Постановка задачі. Більшість транспортних засобів з електричною трансмісією отримують живлення від електричних мереж постійного струму. Електрична енергія може подаватися ззовні або від внутрішнього джерела енергії – акумуляторних батарей, автономної енергетичної установки з первинним дизельним або газотурбінним двигуном та генератором електричної енергії.

Важливою вимогою до системи електроприводу є забезпечення регулювання оператором рівня віддачі потужності електроприводом в усталених режимах та регулювання моментів тягових двигунів в динамічних режимах. При цьому рівень цих параметрів не повинен перевищувати допустимих для електричного та механічного обладнання максимальних значень.

Тобто необхідно формувати характеристики з регулюванням моменту і віддачі заданого значення потужності в усталених режимах.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні в нашій країні на електротранспорті застосовують переважно електроприводи з реостатно контакторними системами регулювання двигунами постійного струму послідовного та змішаного збудження. Перевагою таких систем є забезпечення природними властивостями двигунів тягової характеристики, тобто характеристики з постійною віддачею потужності ($P_{дв}=M \cdot \omega$). Основним недоліком цих систем є значні втрати електроенергії в пускових та гальмівних реостатах, механічне зношення релейно-контакторної апаратури.

У нових розробках використовують тягові електроприводи з тиристорно-імпульсними системами керування з двигунами постійного струму. Тиристорно-імпульсна система керування має

істотні переваги над реостатною: економія електроенергії (до 25 % для тролейбусів), плавне безступінчасте регулювання швидкості, електричне гальмування практично до швидкості зупинки, вищу керованість транспортним засобом. Основним недоліком таких електроприводів є наявність тягових двигунів з колекторами, необхідність перекомутації силового кола під час переходу з тягових у гальмівні режими.

Найбільш перспективним для електротранспорту є електроприводи з імпульсним керуванням двигунами змінного струму. Досягнення в галузі напівпровідникової техніки, мікроелектроніки, цифрових систем керування в галузі автоматизованого електроприводу дали змогу створити реальну основу для впровадження керованого електроприводу змінного струму на електротранспорті. Сучасні промислові частотно керовані асинхронні електроприводи зі скалярним та векторним способами формування вихідних напруг, вентильні двигуни на базі синхронних машин дають можливість отримати високі енергетичні та масогабаритні показники, формувати механічні характеристики з широким діапазоном регулювання швидкості під час регулювання частоти вихідної напруги як вгору, так і вниз 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 задання частоти або напруги інвертора. В частотно керованому тяговому електроприводі виділяють три основні режими стабілізації параметрів двигунів: моменту, потужності та напруги. Система автоматичного регулювання забезпечує ці режими роботи електроприводу, реалізацію характеристик з максимальною та частковою віддачею потужності. Тягові характеристики формуються за допомогою функціональних перетворювачів, які повинні реалізувати необхідні для роботи електроприводу закони керування: забезпечення співвідношення U/f , регулювання з постійними 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 при перевищенні частоти номінального для двигуна значення. Задача системи керування тяговим електроприводом – формувати характеристики з регульованою віддачею потужності та регульованим максимальним моментом. Реалізація такої системи пропонується у цій роботі.

Виклад основного матеріалу. Вимогу одночасного регулювання кількох параметрів задовольняє система з паралельним вмиканням регуляторів. Дослідження показників керованості електроприводу з двигуном постійного струму послідовного збудження, який живиться від тиристорного широтно-імпульсного перетворювача з паралельно ввімкненими регуляторами струму та швидкості, показали [4], що така система забезпечує діапазон регулювання швидкості із стабільними характеристиками в зоні робочих швидкостей з одночасним обмеженням моментів допустимим значенням в режимах пуску, гальмування та режимах обмеження перевантажень. Для частотно регульованого асинхронного електроприводу пропонується застосувати систему регулювання з паралельно ввімкненими регуляторами моменту та потужності. Така система забезпечує необхідні характеристики без значного ускладнення алгоритмів керування частотно перетворювача шляхом введення функціональних перетворювачів, як про це говориться в [3].

Структурна схема системи електроприводу показана на рис. 1. Тяговий асинхронний двигун АД живиться від перетворювача частоти ТПЧ. Механічні характеристики формуються регуляторами моменту РМ і потужності РП. На регулятор моменту РМ заведено від'ємний зворотний зв'язок за 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 ω привідного двигуна, яка контролюється тахогенератором ТГ. Ділянку обмеження моменту формує регулятор РМ. Регулятор РП забезпечує стабілізацію потужності двигуна електроприводу на заданому оператором рівні. Сигнал задання U_z пропорційний до натиску ходової педалі. Оскільки сигнал подається одночасно на обидва контури регулювання, то пропорційно до сигналу задання будуть збільшуватися і максимальний момент і

потужність електроприводу. Пристрій вибору меншого з сигналів керування ПВ розпізнає та вмикає необхідний режим регулювання.

Серійні промислові асинхронні двигуни не оснащені давачами, які можуть 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 [5]:

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

де вектор потоку визначається інтегруванням з рівняння:

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

Проведені дослідження математичної моделі тягового електроприводу транспортного засобу з параметрами тролейбуса ЛАЗ з наведеною вище системою керування. В математичній моделі використано лінеаризовану модель асинхронного двигуна (132 кВт, 380 В, 137.6 А 965 об/хв).

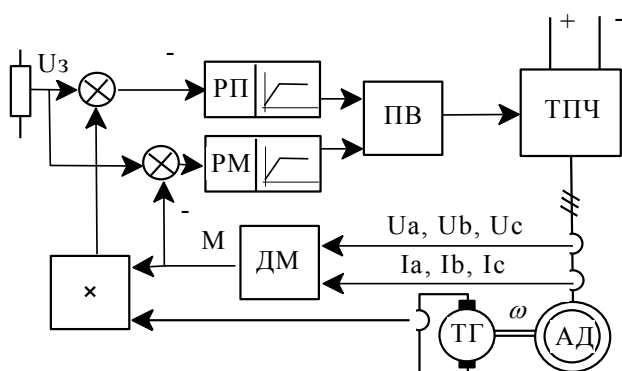


Рис. 1. Структурна схема електроприводу

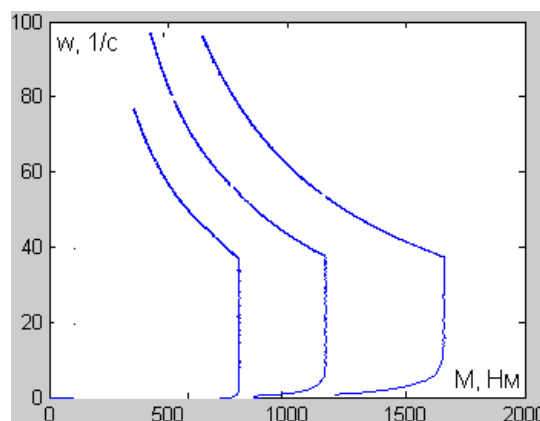


Рис. 2. Механічні характеристики системи електроприводу

Виконані дослідження показали, що тяговий електропривід з паралельно ввімкненими регуляторами, формує механічні характеристики (рис. 2) з регульованими максимальним моментом та віддачею потужності. На рис. 3 та 4 показано осцилограми перехідних процесів моменту $M(t)$, швидкості $\omega(t)$ та потужності $P(t)$ при стрибкоподібній подачі різних напруг задання на вхід запропонованої системи електроприводу та зміні моменту навантаження $M_c(t)$.

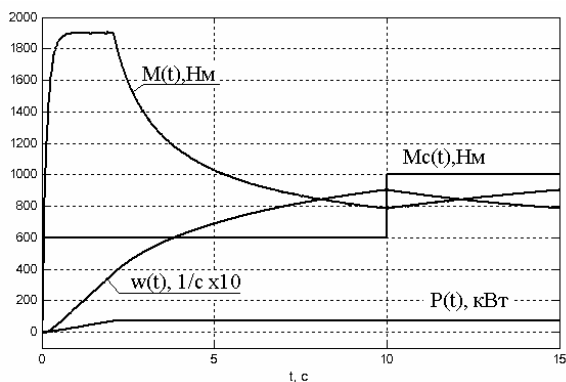


Рис. 3. Перехідні процеси в системі електроприводу

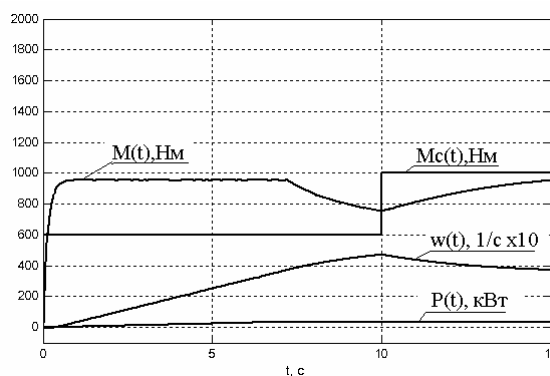


Рис. 4. Перехідні процеси в системі електроприводу

Висновки. Запропонована система керування формує статичні тягові характеристики та обмежує максимальний момент частотно керованого асинхронного електроприводу без застосування функціональних перетворювачів, забезпечуючи при цьому задовільну якість перехідних процесів регульованих координат.

1. Лисовская И.С., Миледин В.К., Начинкин Б.Н. Выбор характеристик регулирования асинхронного двигателя троллейбуса // *Электротехническая промышленность. Сер. Тяговое и подъемно-транспортное оборудование.* – 1980. – Вып. 5 [71]. – С. 8. 2. Ефремов И.С., Калошикина Л.С., Карасев С.И. Перспективы применения асинхронного электропривода на городском транспорте // *Электричество.* – 1984. – № 10. – С. 21–26. 3. Зачек О.І. Програмно-комп'ютерна система керування в тяговому асинхронному електроприводі // *Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 1999. – № 372. – С. 59–64. 4. Карплюк Л.Ф. Вибір системи регулювання для електроприводів транспортних механізмів // *Вісн. Держ. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 1997. – № 334. – С. 57–59. 5. James N. Nash. Direct Torque Control, Induction Motor Vector Control Without an Encoder // *IEEE Trans. Ind. Electronics.* – March/April 1997. – Vol. 33, N 2. – P. 333–341.

УДК 621.313.2:536.755

А.Р. Когут

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕАП

ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ ВТРАТ В ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОМУ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЕНЕРГІЇ

© Когут А.Р., 2005

Досліджено структуру енергетичних втрат неабсолютно спряженого термодинамічного перетворювача енергії. Отримані результати застосовано до електромеханічного перетворювача енергії, яким є електропривід постійного струму з шунтуванням якоря двигуна.

The structure of energy losses of a thermodynamical energy converter with a non-absolute coupling was researched here. The results reached here to the electromechanical energy converter, which is direct current electric drive with a motor's rotor shunting were appeared.

Постановка проблеми. Описуючи різного типу електроприводи (ЕП) постійного струму та досліджуючи їх з точки зору термодинаміки нерівноважних процесів (ТД НП), часто постає проблема коректного визначення термодинамічних потоків та сил. Особливо актуальною ця проблема стає при дослідженні ЕП, ступінь спряження потоків енергії яких не є максимальним. Тому правильно проаналізувавши шляхи протікання енергетичних потоків, можна оптимізувати функціонування ТД перетворювача енергії (ПЕ), наприклад, з погляду мінімізації втрат енергії в ньому.

Аналіз останніх досліджень. Розглядаючи електромеханічний ПЕ – двигун постійного струму (ДПС) з точки зору ТД НП, були описані його статичні [1, 2] та динамічні [3] режими роботи. При цьому було введено систему відносних одиниць, що дало змогу, крім уніфікації опису і спрощення аналізу, отримати ряд універсальних залежностей, які забезпечують оптимальні з різних точок зору режими роботи [1–3]. На жаль, мало уваги було приділено ЕП з неабсолютним спряженням виходу і входу, а точніше – їх енергетичним особливостям.

Мета роботи. Математично описати та дослідити складові втрат потужності в лінійному ТД ПЕ залежно від ступеня спряження вхідного та вихідного потоків. На прикладі ЕП постійного струму продемонструвати важливість отриманих результатів.