

УДК 621.3.078.4

В. Б. Клепиков, д-р. техн. наук, проф.; Є. Ф. Банєв, асп.**МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ТРН-АД З
FUZZY-РЕГУЛЮВАННЯМ ЗА УТОЧНЕНОЮ МОДЕЛЛЮ**

Розглянуто fuzzy-керування електроприводом ескалатора метрополітену системи ТРН-АД, яке забезпечує зниження струму, що споживається, у режимах недовантаження асинхронного двигуна.

Вступ

У вирішенні найважливішої для України проблеми енергоресурсозбереження електропривод (ЕП) відіграє особливо важливу роль, оскільки споживає більше 70 % усієї електроенергії, що виробляється. В [1] показано, що економія однієї одиниці електроенергії за наявного стану обладнання ТЕС в енергетичному еквіваленті економить п'ять одиниць енергоресурсів, а ЕП, як засіб автоматизації технологічних процесів, характеризується властивістю синергетичного множення економії енергоресурсів. Пріоритетним напрямом економії електроенергії засобами ЕП є широка модернізація електропривода заміною нерегульованого ЕП на регульований, про що свідчить досвід промислово розвинених країн. Більшість наявних електроприводів ескалаторних установок, що знаходяться в експлуатації метрополітенів України, вже відпрацювали свій ресурс і вимагають модернізації [2]. Електропривод ескалаторів метрополітену споживає приблизно половину потужності, яка підводиться до шин напруги 380 В, тому створення енергозберігаючих електроприводів є актуальним завданням.

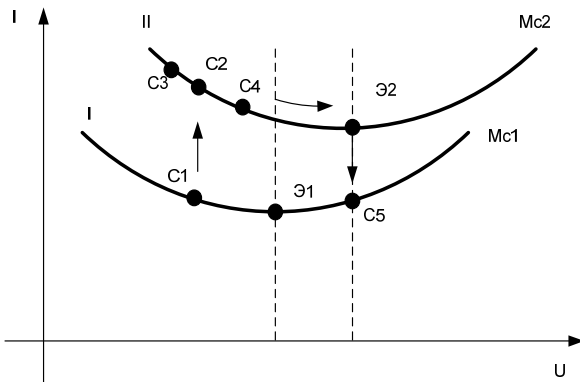
Результати дослідження

Електропривод існуючих ескалаторів є розімкненою системою з асинхронним двигуном (АД). Для станцій глибокого закладання з метою забезпечення необхідного пускового моменту застосовують асинхронний двигун з фазним ротором, а там, де довжина полотна ескалатора відносно невелика, використовують асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором [3]. Характерною особливістю роботи ескалаторної установки метрополітену є істотна зміна пасажиропотоку протягом дня. Результати проведеного енергоаудиту і дослідження пасажиропотоку в харківському метрополітені показали, що середньодобове завантаження ескалаторних установок не перевищує 5–10 % від номінального і протягом більшої частини часу електродвигун працює із значним недовантаженням, тобто з пониженим ККД, істотно споживаючи реактивну потужність [2]. Покращити енергетичні показники недовантаженого асинхронного двигуна можна за рахунок зниження напруги живлення, що забезпечує зменшення намагнічуючого струму, втрат в міді і сталі. Регулювання напруги статора може бути забезпечене напівпровідниковим перетворювачем. В [4] показано, що з врахуванням специфіки економічного стану метрополітену в Україні в теперішній період при модернізації ескалаторів метрополітену доцільно використовувати електропривод, побудований за системою тиристорний перетворювач напруги – асинхронний двигун (ТРН-АД). Відомо, що близькі до мінімуму значення втрат у такій ситуації можуть бути забезпечені шляхом підтримання швидкості, яка відповідає оптимальному ковзанню $s_{\text{опт}}$, а також шляхом мінімізації струму статора при заданому навантаженні [5, 6, 7]. Для підтримання постійного оптимального ковзання необхідна система автоматичного регулювання з датчиком швидкості, в той час, як мінімізація струму статора, що забезпечує близькі до мінімуму втрати, не потребує введення в ЕП вищезгаданого датчика. Перевагою вищезазначеного способу регулювання, окрім зниження втрат в електродвигуні, є, також зниження їх в силових з'єднувальних провідниках, узгоджувальних трансформаторах, силовій комутаційній апаратурі тощо.

Метою роботи є створення уточненої математичної моделі з урахуванням дискретних властивостей ТРН і перевірка її методом комп'ютерного моделювання. Асинхронний дви-

гун представлявся математичною моделлю в координатах $d-q$ і моделювався за допомогою стандартного блока представленого в Matlab бібліотеці SimPowerSystems. Тиристорний перетворювач напруги моделювався з урахуванням нелінійностей тиристорів і системи імпульсно-фазового керування (СІФК). Як регулятор в роботі пропонується fuzzy-регулятор з алгоритмом екстремального управління за двома легко вимірюваними величинами: струмом I і напругою U фази статора.

На рис. 1 показані графічні залежності струму I статора від напруги U при фіксованих значеннях навантаження M_{c1} і M_{c2} , відповідно ($M_{c2} > M_{c1}$). З рисунку випливає, що мінімум струму забезпечується для різних значень M_c при різній напрузі U (відповідно точки $\Xi 1$ і $\Xi 2$). Зміна струму може бути наслідком, як зміни навантаження, так і зміни напруги живлення. Правила fuzzy-регулятора подані в таблиці.



Таблиця правил пошукового fuzzy-регулятора

ΔI \ ΔU	Негативна зміна	Малі зміни	Позитивні зміни
Негативна зміна	++	-	--
Малі зміни	0	0	0
Позитивні зміни	--	+	++

Рис. 1. Залежність струму статора від напруги АД

Перевірка функціонування електропривода з вищеописаним регулятором виконувалася методом комп'ютерного моделювання в пакеті Matlab 7.4 відповідно до структурної схеми, показаної на рис. 2.

Моделювання було виконано для електропривода з асинхронним двигуном 4АНК-315-М8, номінальною потужністю $P_n = 105$ кВт і швидкістю обертання $n_n = 730$ об/хв, який встановлений на одному з ескалаторів станції метро «Пушкінська» харківського метрополітену. Вхідні сигнали fuzzy-регулятора, діючі значення струму і напруги фази статора, перетворювались в дискретний сигнал за допомогою блоків «zero-order hold» з періодом дискретизації $T_0 = 0,2$ с. Прирости струму і напруги обчислювались за допомогою ланок «unit delay», які дозволяють отримати значення сигналу для попереднього кроку.

Результати моделювання представлені на рис. 3, 4. У початковий період часу показана робота ЕП під навантаженням $M_c = 0,2 M_n$. Тимчасові діаграми показують, що fuzzy-регулятор правильно відпрацьовує управління ТРН-АД і електропривод працює при пониженої напрузі АД, що проявляється в зниженні струму статора. Завдяки цьому струм статора, в порівнянні з ЕП, що працює з номінальною напругою, зменшується в 1,5 рази, при цьому, звичайно, знижуються, як втрати в обмотках статора, так і в сталі за рахунок зниження напруги. Швидкість ЕП з fuzzy-регулятором при цьому відрізняється від швидкості розімкненої системи на 0,5 %, що є не суттєвим і допускається «Правилами улаштування і безпечної експлуатації ескалаторів» (ПУББЕ). Починаючи з 60 секунди, моделювалося поступове сходження людей з ескалатора лінійно спадаючим моментом опору до $M_c = 0,1 M_n$. Процес зменшення навантаження в нерегульованому ЕП супроводжувався незначним зниженням струму до 145,3 А. В електроприводі з fuzzy-регулятором струм статора зменшився на 30 % до 72,2 А. В усталеному режимі з навантаженням $M_c = 0,1 M_n$ струм електропривода з fuzzy-регулятором більше ніж в 2 рази менше струму нерегульованого електропривода. Швидкість ескалатора зі зменшенням навантаження з $M_c = 0,2 M_n$ до $M_c = 0,1 M_n$ в електроприводі з fuzzy-керуванням збільшилася всього на 0,01 %.

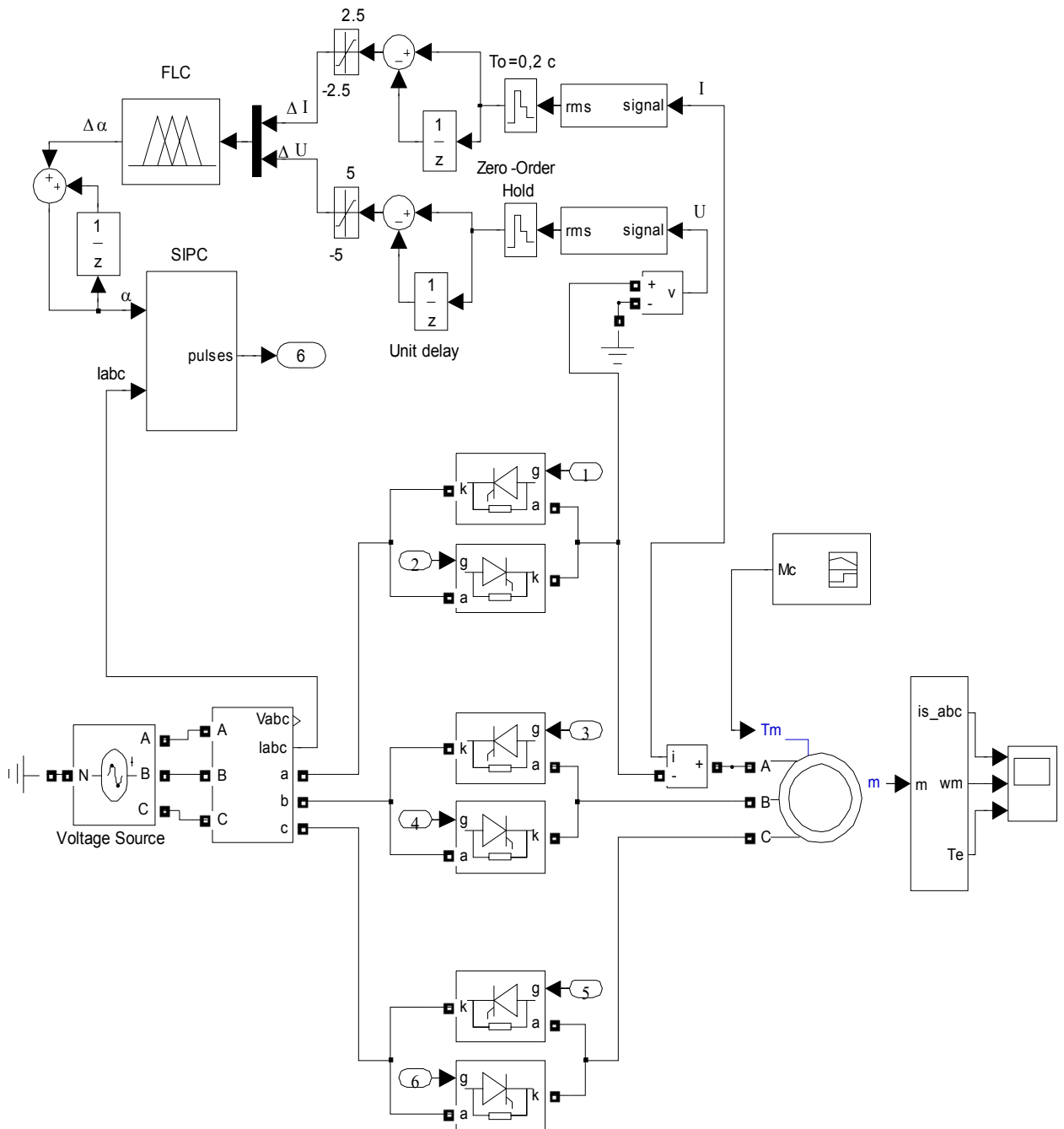


Рис. 2. Структурна схема ЕП з fuzzy-регулятором в пакеті Matlab 7.4

Починаючи з 140 секунди, моделювалося плавне збільшення навантаження до $M_c = 0,4 M_n$, що в реальних умовах відповідає поступовому заповненню ескалатора пасажирями, що вийшли на станції. Величина навантаження $M_c = 0,4 M_n$ була вибрана з урахуванням вимог ПУБЕЕ, що передбачають 2,5 кратний запас за потужністю двигуна. Процес завантаження ескалатора супроводжувався незначним зниженням швидкості ЕП на 0,2 % зі збільшенням струму до 160,1 А, а при роботі ЕП з fuzzy-регулятором швидкість незначно збільшилась на 0,01 %, але при цьому струм встановився на рівні 144,5 А, що на 10 % менше.

Таким чином, результати моделювання підтверджують адекватність математичної моделі, а також ефективність використання запропонованого fuzzy-керування ЕП ескалатора метрополітена, що працює з пониженим навантаженням.

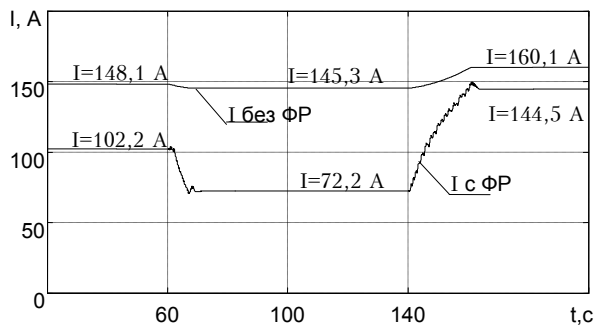


Рис. 3. Часові діаграми швидкості і моменту

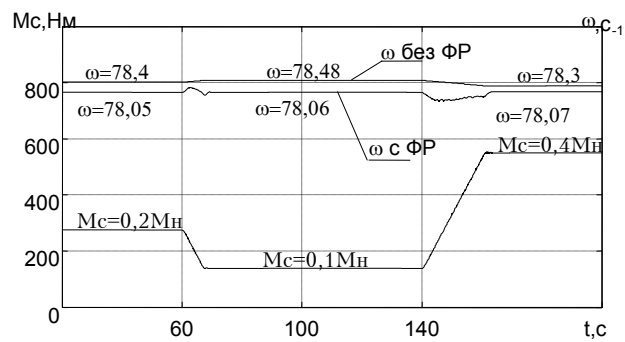


Рис. 4. Часові діаграми струму

Висновки

Розроблена математична модель ТРН-АД з fuzzy-керуванням дозволяє досліджувати ЕП ескалатора метрополітену з урахуванням дискретних властивостей перетворювача і СІФК. За допомогою розробленого fuzzy-регулятора можна забезпечити зменшення втрат при знижених навантаженнях за рахунок мінімізації струму статора. При цьому fuzzy-регулятор виконується з двома входами за легко вимірюваними величинами струму і напруги фази статора з трьома термами по кожному входу з обробкою вхідних сигналів за алгоритмом Мамдані і дефазифікацією методом центроїда.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Клепиков В. Б. О роли электропривода в решении проблемы энергоресурсосбережения в Украине / В. Б. Клепиков, В. Ю. Розов // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». — 2008. — № 30. — С. 18—21.
2. Энергетический аудит на ГП «Харьковский метрополитен». Отчет по третьему этапу работ. Инв. № 99-УЭ-3.
3. Соколов М. М. Электрооборудование общепромышленных механизмов : учеб. для студентов высш. техн. учебн. заведений / М. М. Соколов — 3-е изд., перераб и доп. — М. : «Энергия», 1976 — 488 с., ил.
4. Клепиков В. Б. К выбору типа энергоресурсосберегающего электропривода эскалатора метрополитена / В. Б. Клепиков, В. И. Колодило, Е. Ф. Банев, В. П. Филиппович // Весник НТУ «ХПИ». — 2008. — С. 486—488.
5. Андриященко О. А. Требования к асинхронному электродвигателю и тиристорному преобразователю в электроприводе ТПН-АД / О. А. Андриященко // Електромашинобудування та електрообладнання : респ. міжвід. наук.-техн. зб. — 1998. Вип. 50.
6. Энергосберегающий асинхронный электропривод : учеб. пос. для студ. высш. учеб. заведений / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков ; под ред. И. Я. Браславского. — М. : Издательский центр «Академия», 2004. — 256 с.
7. Петров Л. П. Оптимизация коэффициента мощности асинхронных электроприводов с тиристорными преобразователями напряжения / Л. П. Петров, В. И. Капинос, И. В. Халамиренко // Межвуз. сб. тр. № 55. — М. : Моск. энерг. ин-т, 1985. — С. 52—60.

Рекомендована кафедрою електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті

Стаття надійшла до редакції 20.10.11
Рекомендована до друку 25.11.11

Клепиков Володимир Борисович — завідувач кафедри, **Банєв Євген Федорович** — аспірант.

Кафедра «Автоматизовані електромеханічні системи», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків