**Владислав Зубаньов, Олександр Мейта**

**(Київ, Україна)**

**ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНА СИСТЕМА ПРИВОДУ ЕСКАЛАТОРА**

Однією з найважливіших ланок технологічного процесу метрополітену є ескалатор, який разом з метропоїздом відтворює єдину систему переміщення пасажирів під землею. Електропривод ескалаторів метрополітену споживає приблизно половину потужності підведеної напруги до шин 380 В, тому енерго-ресурсо зберігаючий аспект його роботи має важливе значення. При цьому окрім прямої економії електроенергії слід мати на увазі й ту економію, яка за рахунок удосконалення управління може забезпечити зниження зносу механічного та електричного обладнання, та, відповідно, й тих енергетичних та матеріальних ресурсів, які були б потрібні на його заміну під час проведення ремонтних робіт.

**Мета роботи.** Аналіз систем керування приводами ескалаторів та розробка простого, надійного, енерго- та ресурсозберігаючого електроприводу для модернізації існуючих електроприводів ескалаторів метрополітену, який можна інтегрувати в існуючі системи управління рухом та автоматизації.

**Аналіз останніх досліджень.**

Аналіз статистичних даних пасажиропотоку та результатів замірів споживаної активної і реактивної електроенергії ескалаторних установок отриманих під час проведення енергетичного аудиту на КП «Київський метрополітен» свідчить, що навантаження приводних двигунів ескалаторів метрополітену у години «пік» не перевищує 20 %, а більшість часу вони працюють з навантаженням яке не перевищує 10 %. Визначено, що таке значне недовантаження пов’язане, в значній мірі, з вибором потужності двигуна, яка встановлюється за максимально можливим завантаженням виходячи з того, що на кожній сходинці робочої ланки ескалаторного полотна може знаходиться одночасно дві людини вагою 80 кг. Крім того, враховуючи високі вимоги щодо надійності й безпечної роботи які висуваються до даного механізму, коефіцієнт запасу за потужністю згідно з нормативними вимогами повинен бути не менше 2. При такому значному недовантажені приводний двигун ескалатора працює з низькими енергетичними показниками [1]. Покращити енергетичні характеристики асинхронних двигунів у недовантаженому режимі роботи можна за рахунок регулювання напруги статора за допомогою напівпровідникових перетворювачів [4].

Тиристорні регулятори напруги та перетворювачі частоти використовуються для регулювання широкого спектру електричних систем, від промислових механізмів до електроніки споживачів. Ось кілька прикладів та їх критерії мінімізації:

1. Тиристорний регулятор напруги:

Приклади: Простий однофазний тиристорний регулятор, який використовується для керування напругою в системах освітлення або регулювання потужності електричних пристроїв.

Способи регулювання: Змінюючи момент спрацювання тиристорів або швидкість їх перетворення, можна регулювати вихідну напругу.

Критерії мінімізації:Мінімізація споживаної енергії, мінімізація генерації нагріву під час регулювання, забезпечення стабільної вихідної напруги.

2. Перетворювачі частоти:

Приклади: Частотні перетворювачі (частотні інвертори), які використовуються для регулювання швидкості обертання електричних двигунів, особливо в промислових секторах, таких як нафтохімічна, металургійна тощо.

Способи регулювання: Модуляція ширини імпульсів (PWM), використання векторного керування, датчиковий та бездатчиковий контроль.

Критерії мінімізації: Мінімізація втрат енергії під час конверсії, забезпечення високої ефективності системи, мінімізація впливу на інші пристрої в електричній мережі, стійкість до змін в навантаженні.

Обидва типи пристроїв можуть мати значний вплив на електричні мережі та споживання енергії, тому оптимізація їх роботи важлива для забезпечення ефективності та стабільності системи.

**Результати досліджень.**

Проведений аналіз дозволив сформулювати наступні принципи маловитратної модернізації існуючих ескалаторних установок метрополітену:

- електропривод ескалатора при модернізації доцільно виконувати регульованим на основі системи «тиристорный регулятор напруги – асинхронний двигун», побудованої на силових тиристорах;

- мінімізацію втрат в електроприводі слід виконувати за рахунок погодження навантаження та напруги приводного двигуна ескалатора; - для зменшення витрат на модернізацію електроприводів ескалаторів можливе збереження основного силового електрообладнання;

- систему керування модернізованого електроприводу доцільно виконати на базі мікропроцесора, що дозволить узгодити систему керування ескалаторною установкою з існуючими комп’ютерними системами керування рухом.

Виходячи з принципів маловитратної модернізації, дослідженні існуючі електроприводи які побудовані за системою «тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун», дозволяють підвищити енергетичні характеристики роботи недовантаженого асинхронного двигуна за різними критеріями мінімізації втрат електричної енергії.[2]

Оптимізувати втрати у електроприводі можливо підтримуючи швидкість обертання АД на рівні оптимального ковзання Sопт. При мінімізації втрат електроприводу оптимальне ковзання Sопт визначається відповідно з формулою

де R1,R2 - активний приведений опір статора та ротора АД відповідно; Rμ - активний опір контуру намагнічування АД; Xμ,Xк.з. - реактивний опір контуру намагнічування та короткого замикання АД відповідно.[3]

Найбільш раціональним методом оптимізації для електроприводу ескалатора, при якому не потребується використання додаткових давачів для вимірювання швидкості є критерій мінімуму струму статора АД. Для кожного значення моменту опору навантаження при постійній швидкості обертання існує оптимальний режим роботи, який характеризується мінімальним струмом що споживається АД (лінія АВ на рис.1), що дозволяє мінімізувати втрати електричної енергії, контролюючи лише два параметри електроприводу – струм та напругу.[3]

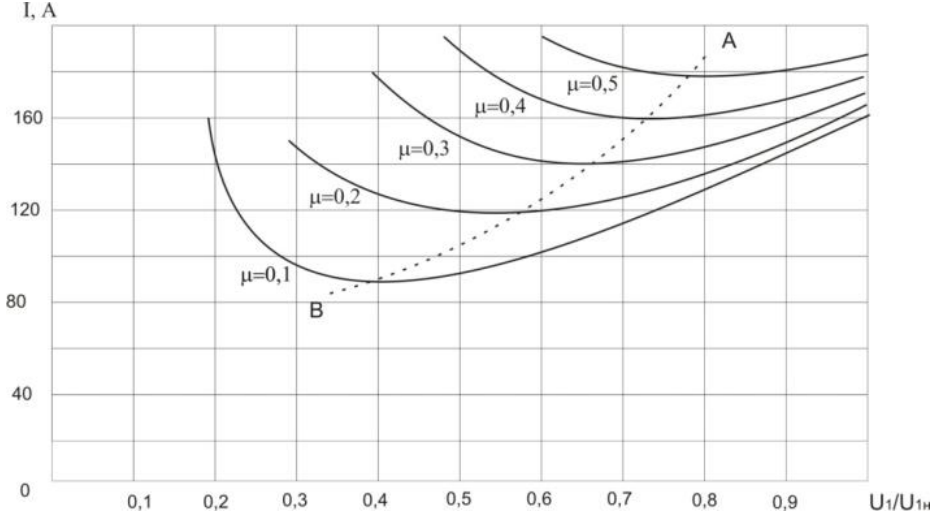


Рис.1. U-подібні характеристики при регулюванні напруги статора АД

Співставлення різних критеріїв мінімізації та способів керування привели до висновку доцільності розробки функціональної схемиенерго- ресурсозберігаючого електроприводу ескалатора метрополітену за системою ТРН-АД з фазовим регулятор(рис.2), зазвичай використовують фаззірегулятордля регулювання швидкості двигунів, регулювання освітлення, напруги живлення, потужності.

Фаззі регулятор - це пристрій, який використовується для регулювання величини напруги, яка подається на навантаження, шляхом керування моментом початку проведення кожного напівперіоду або фази змінного струму.

Принцип роботи фазового регулятора полягає у відсуванні фази напруги, яка подається на навантаження, що змінює час появи або припинення напруги. Це досягається шляхом керування моментом включення або вимикання напруги за допомогою триака або триструнного транзистора.Фазовий кут (α) вимірюється в градусах і визначає, на скільки градусів відстає момент початку проведення струму від моменту початку відповідного напругового піку.

Функціональна схема, яка представлена на рис. 2, дозволяє зменшити втрати електроприводу ескалатора шляхом мінімізації струму статора АД за рахунок регулювання напруги. Тиристорний регулятор напруги, який складається з десяти тиристорів VS1-VS10, що включені попарно зустрічно-паралельно у кожну фазу, регулює напругу статора АД, завдяки регулюванню кута відкривання тиристорів αкер системою імпульсно-фазового керування (СІФК). Фаззі регулятор за сигналами з давачів струму ДС і напруги ДН, згідно з U-подібними характеристиками (рис.1), змінює кут відкривання αкер, регулюючи тим самим напругу в залежності від завантаження електроприводу.

Для трьохфазного асинхронного двигуна векторне рівняння управління має вигляд:



де:V*s*- вектор напруги подачі; R*s*- опір статора; L*s*- індуктивність статора

I*s*- струм статора; e*s*- електромагнітна напруга.

В запропонованій схемі фаззі регулятор визначає фазовий кут подачі напруги на двигун для регулювання його швидкості. Один із методів регулювання полягає у використанні фазового кута α, що відповідає моменту початку подачі напруги на двигун.



де:*a-*фазовий кут (в радіанах або градусах); *Vout*-вихідна напруга; *Vin-*вихідна напруга.

Ця формула дозволяє обчислити необхідний фазовий кут для вимірювання вхідної та вихідної напруги фазового регулятора. Цей фазовий кут використовується для керування моментом вимкнення або включення струму для регулювання потужності навантаження.

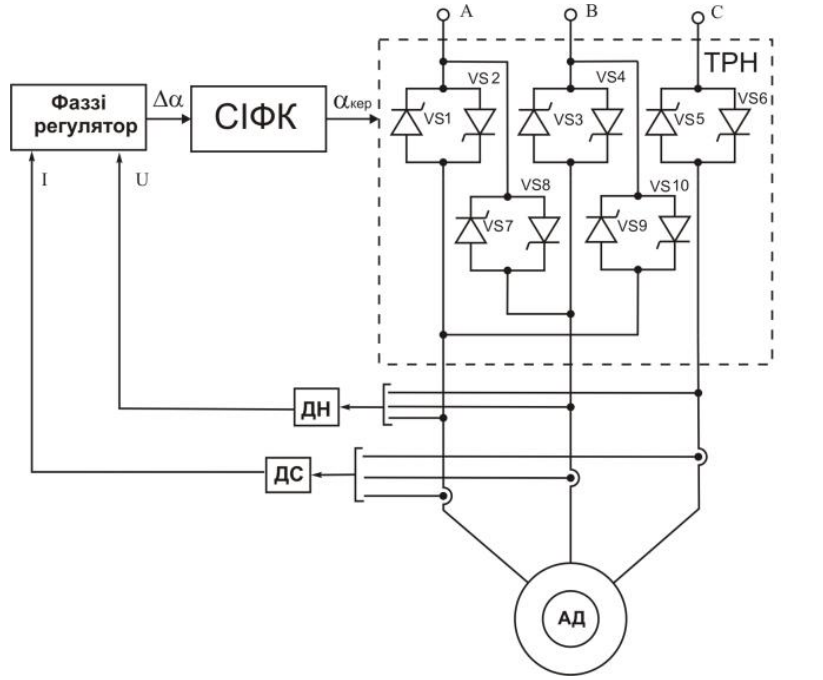


Рис.2. Функціональна схема електроприводу ескалатора

Основними перевагами є висока ефективність, широкий діапазон регулювання, низький рівень шуму, висока точність, швидке регулювання, надійність, безшумність, компактність.

Залежно від конкретної системи контролю, кінцеве рівняння регулювання може бути складнішим, оскільки враховується не лише електромагнітний процес у двигуні, але й логіка регулювання фазового кута.

Загальне рівняння може мати вигляд:



Це рівняння дозволяє визначити, яким чином регулюється швидкість ескалатора з використанням системи трьохфазного асинхронного електродвигуна та фазового регулятора.

**Висновки.** Проведено аналіз характеристик перетворювачів, що застосовуються в системах приводу метрополітену. Було обрано електропривод за системою «тиристорний регулятор напруги – асинхронний двигун», що дозволить підвищити енергетичні характеристики роботи недовантаженого асинхронного двигуна та запропоновано його схему з використанням фаззі регулятора.

**Перелік посилань**

1. «Проектирование и конструированиетранспортных машин и комплексов». Под ред. И.Г. ШтокманаУчеб. для вузов. - 2-е изд. - М.: Недра, 1986. – 392 с.
2. «Ескалатори: конструкція, розрахунок, монтаж, експлуатація». В.А. Блохин, Б.А. Рабинович, 1986. – 286 с.
3. «Ескалатори: проектування, монтаж, експлуатація». В.І. Ільченко,- Київ: Аверс, 2002. – 301 с.
4. «Ескалатори: теорія, конструкція, розрахунок». В.І. Ільченко,- Київ: Аверс, 2005. – 275 с.

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, Мейта Олександр Вячеславович.