

ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЕСКАЛАТОРА МЕТРОПОЛІТЕНУ

Філенко О.В., Іванов М.Д., магістранти, Приймак Б.І., к.т.н., доц.

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. На сьогодні розвиток якісних, надійних та енергоефективних систем електроприводу відбувається високими темпами. Сучасні тягові електромеханічні системи ескалаторів метрополітену, що виробляються світовими лідерами ескалаторобудування, забезпечують великий обсяг пасажироперевезень, мають високі показники якості керування [1]. Втім можливе подальше удосконалення таких систем за рахунок поліпшення їх енергетичних властивостей. Саме це питання розглядається у даній статті.

Мета роботи – ознайомлення із особливостями сучасних систем автоматичного керування асинхронним електроприводом ескалатора метрополітену та пошук можливості їх удосконалення.

Матеріали і результати досліджень. Розглянемо принцип роботи та експлуатаційні характеристики сучасних тягових електромеханічних систем ескалаторів метрополітену. Для цього скористаємося прикладом німецької компанії Schindler [1], яка є одним із світових лідерів у галузі ескалаторобудування. Вона випускає передові системи керування асинхронним приводом ескалатора, що гарантують плавне керування швидкістю, безперебійну довготривалу роботу механізмів і високу енергоефективність.

З точки зору електроприводу ескалатор можна розглядати як установку з постійним моментом опору, у якій значна частина енергії витрачається на покриття втрат в механічних елементах ескалатора внаслідок тертя. Характер зміни навантаження, спричиненого вагою пасажирів, визначається добовими графіками пасажиропотоку, які зазвичай мають один або кілька максимумів з тривалими проміжками між ними.

Споживання електроенергії ескалатором та зниження їх ресурсу прямо пропорційні швидкості руху сходового полотна. Від цієї швидкості залежить пропускна спроможність ескалатора. Зменшення швидкості руху сходового полотна в періоди часу з низьким завантаженням ескалаторних установок, зрештою, призводить до збільшення міжремонтного періоду роботи ескалатора та зниження споживання електричної енергії. Для керування швидкістю асинхронного електроприводу (АЕП) застосовуються частотні перетворювачі.

У процесі експлуатації привод ескалатора працює у режимі тривалого гальмування під час роботи на спуск під навантаженням, оскільки активний момент на валу двигуна від ваги пасажирів та ваги полотна перевищує реактивний момент опору механічних елементів ескалатора. У цьому випадку АЕП ескалатора діє як генератор, що направляє електроенергію у ланку постійного струму перетворювача частоти (ПЧ). Виникає необхідність зменшувати величину надлишкової енергії, щоб запобігти навантаженню ланки постійного струму ПЧ. Це можна зробити такими способами:

- застосуванням розсіювального резистора в ланці постійного струму;
- застосуванням пристрою рекуперації електроенергії в мережу живлення.

Для реалізації функції енергозбереження як рекуперуючий пристрій використовується активний випрямляч напруги, що забезпечує повернення енергії гальмування до мережі. Схема системи автоматизованого керування роботою ескалатора з головним приводом від асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором потужністю від 45 до 200 кВт, зображена на рис. 1.

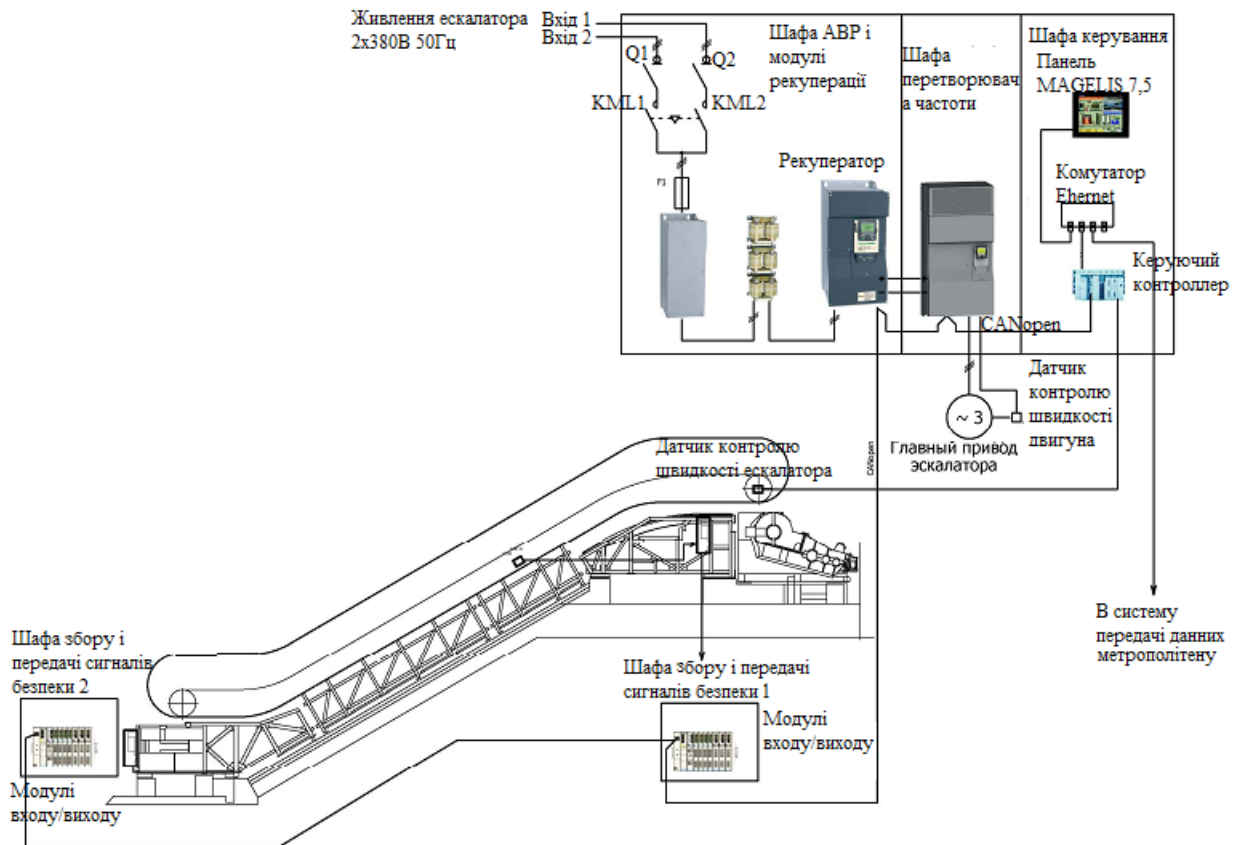


Рисунок 1 – Схема автоматизованої системи керування асинхронним електроприводом ескалатора

Основою системи є обладнання Німецької фірми Шнейдер Електрик, таке як програмований логічний контролер Modicon M340 [2], панель оператора Magelis [3], перетворювач частоти Altivar 71 [4] та активний рекуператор енергії (Activ Front End) [5].

При побудові цієї системи малося на меті вирішення таких завдань [1]:

- заміна морально застарілих систем управління ескалаторами на єдину, уніфіковану систему управління для всіх типів ескалаторів;
- оснащення ескалаторів, що випускаються, сучасною уніфікованою системою управління;
- підвищення надійності роботи обладнання за рахунок застосування сучасної елементної бази;
- зменшення динамічних навантажень на механізми ескалатора при пуску та зупиненні ескалатора за рахунок застосування ПЧ;

- зниження експлуатаційних витрат за рахунок уніфікації обладнання та технічного обслуговування системи, матеріалів та зменшення енергоємності обладнання, що застосовується;
- поліпшення умов праці обслуговуючого персоналу;
- підвищення безпеки перевезення пасажирів за рахунок «плавних» характеристик пуску та гальмування ескалатора.

Система забезпечує пуск ескалатора на головному приводі (після вибору напрямку «на підйом» або «на спуск» та подачі команди «пуск»). ПЧ регулює швидкість електроприводу ескалатора за допомогою алгоритму векторного керування. Для контролю швидкості на валу двигуна встановлюється давач швидкості, який застосовується як зворотний зв'язок за швидкістю в ПЧ, ця ж інформація надходить за допомогою шини CANopen з ПЧ на керуючий контролер.

Контролюючи швидкість обертання валу двигуна за давачем зворотного зв'язку, ПЧ розгальмовує двигун при пуску і загальмовує при зупинці, оскільки векторне керування і спеціальні функції, закладені в ПЧ, дозволяють утримувати практично нульову швидкість при незмінному номінальному моменті на валу двигуна. Крім цього, для контролю швидкості полотна ескалатора застосовується другий давач швидкості (енкодер 2), встановлений на головному приводному валу, сигнали з цього давача заводяться безпосередньо в керуючий контролер. Таким чином, є два канали вимірювання швидкості. За даними про швидкість і напрям руху, отриманих із двох незалежних каналів вимірювання (енкодер 1 і енкодер2), здійснюється керування аварійним гальмом.

Система забезпечує такі функції контролю та вимірювань:

- контроль напрямку руху сходового полотна;
- контроль готовності ескалатора до пуску;
- вимірювання гальмівного шляху при гальмуванні ескалатора (у тому числі і робочими гальмами) в межах від 200 до 1500 мм з точністю ± 20 мм;
- вимірювання холостого вибігу в межах 1000-15000 мм з точністю ± 50 мм.
- контроль режиму управління;
- контроль цілісності котушок електромагнітів аварійних гальм;
- вимірювання загального пробігу ескалатора;
- вимірювання величини переміщення при реверсі поштовхом;
- вимірювання гальмівного шляху при режимі зупинки;
- контроль температури підшипників вхідного валу редуктора;
- контроль температури електродвигуна головного приводу.

На основі наведеного вище матеріалу можна зазначити, що сучасні системи керування АЕП ескалаторів мають високі експлуатаційні характеристики та забезпечують надійну роботу у всіх режимах функціонування. Проте їх енергетичні показники можна поліпшити завдяки оптимізації потужності, що поступає на вхід електроприводу.

Функціональна схема системи векторного керування АЕП ескалатора з пошуковою оптимізацією вхідної потужності представлена на рис. 2.

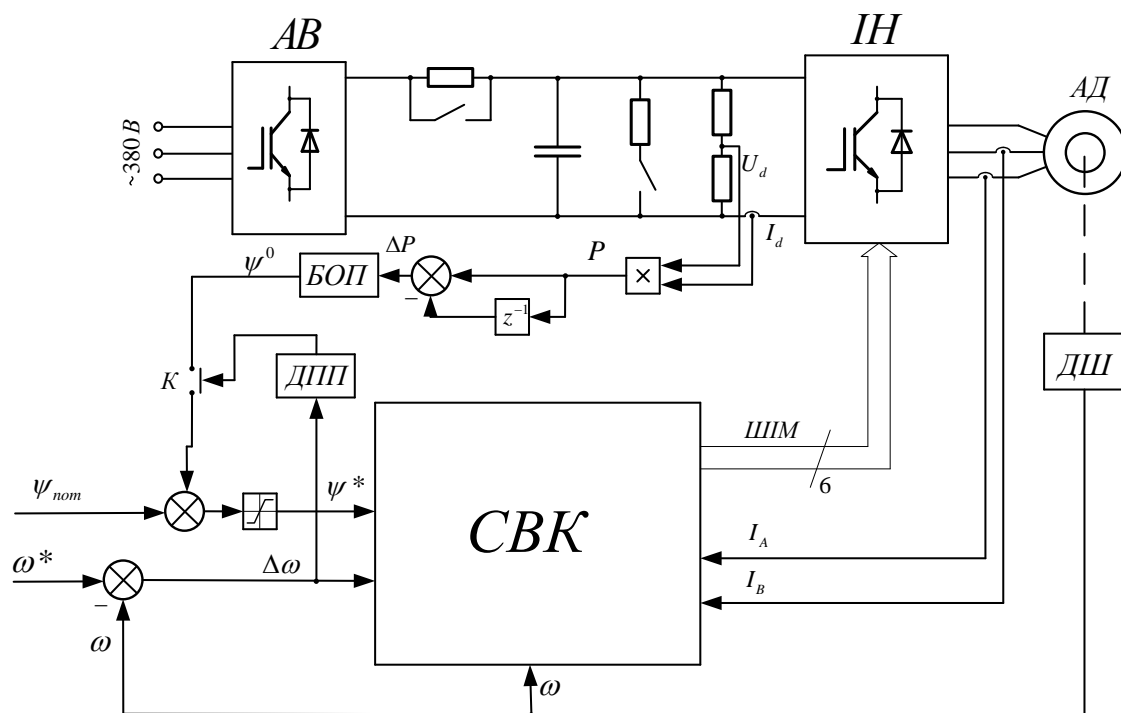


Рисунок 2 – Функціональна схема векторно-керованого АЕП ескалатора метрополітену з пошуковою оптимізацією вхідної потужності

У цій схемі застосовано наступні позначення: АВ – активний випрямляч; ІН – інвертор напруги; АД – асинхронний двигун; БОП – блок оптимізації потужності; СВК – система векторного керування; ДПП – детектор перехідного процесу; ДШ – давач швидкості; К – ключ. Задачею СВК є регулювання швидкості двигуна згідно з сигналом завдання ω^* при використанні зворотних зв'язків у вигляді сигналів струмів фаз I_A, I_B та сигналу швидкості обертання ротора ω . На основі алгоритму векторного керування генеруються ШІМ-сигнали для керування ключами інвертора. На контур регулювання модуля вектора потокозчеплення ротора поступає сигнал завдання Ψ^* , що є сумою номінального потокозчеплення Ψ_{nom} та оптимізувального сигналу Ψ^o .

За струмом I_d та напругою U_d визначається вхідна (споживана) потужність P у ланці постійного струму АЕП. Приріст потужності ΔP поступає у БОП, де за алгоритмом пошуку екстремуму отримується поточне значення оптимізувального сигналу ψ^o .

В системі передбачено здійснення пошукової оптимізації в усталених та квазіусталених режимах роботи АД. Протягом перехідних процесів, наявність яких встановлюється в ДПП за помилкою швидкості $\Delta\omega$, дія підсистеми оптимізації вхідної потужності призупиняється розмиканням ключа К.

До найбільш поширених пошукових алгоритмів, що застосовуються на практиці, належать алгоритм Розенброка, пропорційний алгоритм та градієнтний алгоритм [6-9].

Пошуковий алгоритм Розенброка має вигляд

$$\psi_n^0 = \psi_{n-1}^0 + k\Delta\psi_{n-1}^0; \Delta\psi_{n-1}^0 = \psi_{n-1}^0 - \psi_{n-2}^0; \Delta P_n = P_n - P_{n-1}, \quad (1)$$

де $k = 1$, якщо $\Delta P_n < 0$; $k = -1/2$, якщо $\Delta P_n > 0$.

Пропорційний алгоритм пошуку записується як

$$\psi_n^0 = \psi_{n-1}^0 + k\Delta\psi_{n-1}^0 \operatorname{sgn}(\Delta P_n); \Delta\psi_{n-1}^0 = \psi_{n-1}^0 - \psi_{n-2}^0; \Delta P_n = P_n - P_{n-1}, \quad (2)$$

де k – параметр налаштування.

Пошуковий градієнтний алгоритм має вигляд

$$\psi_n^0 = \psi_{n-1}^0 - k\Delta\psi_{n-1}^0 \nabla P_{n-1}; \Delta\psi_{n-1}^0 = \psi_{n-1}^0 - \psi_{n-2}^0, \quad (3)$$

де $\nabla P_{n-1} = P_{n-1} - P_{n-2} / \psi_{n-1} - \psi_{n-2}$ – градієнт потужності.

Пошукові алгоритми (1)-(3) планується дослідити методом математичного моделювання з метою виявлення серед них такого, що забезпечує найбільшу швидкість руху до екстремуму. Отримані результати дослідження процесів оптимізації споживаної потужності АЕП ескалатора метрополітену незабаром будуть представлені в магістерській дисертації на кафедрі АЕМС-ЕП.

Висновки. Виконано деталізований розгляд передової на світовому ринку системи автоматичного керування АЕП ескалатора метрополітену, який засвідчив наявність високих експлуатаційних характеристик. Запропоновано удосконалити цю систему, поліпшивши її енергетичні показники шляхом впровадження підсистеми пошукової оптимізації вхідної потужності привода. Результати побудови та дослідження енергоефективної системи керування АЕП ескалатора метрополітену незабаром будуть представлені в магістерській дисертації на кафедрі АЕМС-ЕП.

Перелік посилань

1. Компанія виробник ескалаторного обладнання Shindler [Електронний ресурс] режим доступу: https://tehportal.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=177&Itemid=181&lang=ru
2. ПЛК Modicon M340 [Електронний ресурс] режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/1468-modicon-m340/>
3. Панель оператора Magelis Easy GXU [Електронний ресурс] режим доступу: <https://www.se.com/ru/ru/product-range/63028-magelis-easy-gxu/>
4. Перетворювач частоти Altivar 71 [Електронний ресурс] режим доступу: <https://www.se.com/ua/uk/product-range/1155-altivar-71/>
5. Активний рекуператор енергії Altivar AFE [Електронний ресурс] режим доступу: <https://www.se.com/ww/en/product-range/7555-altivar-afe-%28active-front-end%29/>
6. Лисенков М.Г., Козлик Г.О., Гагарін П.П. Пошукові системи енергозберігаючого керування асинхронним електроприводом. // *Автоматизація виробничих процесів*, 2000. № 2. – С. 36-41.
7. Kim G.S., Ha I.J., Ko M.S., Control of Induction Motors for Both High Dynamic Performance and High Power Efficiency, *IEEE Transaction Industrial Electronisc.* 1992. Vol. 39, No.4. P. 323-333.
8. Kioskeridis I., Margaris N., Loss Minimization in Scalar-Controlled Induction Motor Drives with Search Controllers, *IEEE Transaction Power Electronics.* 1996. Vol. 11, No.2. P. 213-220.
9. Та С.-М., Hori Y. Convergence improvement of efficiency-optimization control of induction motor drives, *IEEE Transaction Industrial Application.* 2001. Vol. 37, No.6. P. 1746-1753.