

АНАЛІЗ РЕЖИМУ РЕКУПЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ НА МІСЬКОМУ ЕЛЕКТРОТРАНСПОРТІ ЯК СКЛАДОВОЇ РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ

Міський електричний транспорт (метрополітен, трамвай, тролейбус) – один з найпотужніших споживачів електроенергії, що має стратегічне значення для економіки держави оскільки зберігає провідну роль у пасажирських перевезеннях. Тому майже незначне зниження витрат енергії при функціонуванні підприємств електро транспорту має суттєве значення так як в даний час загальні витрати електроенергії, наприклад, на 1,0 км шляху для тролейбуса ЗіУ – 9 складають 1,8 кВт-г., а для трамвайного вагона Т-3 досягають 3,12 кВт-г. [1, 2].

Аналіз літературних джерел показує, що застосування безреостатного пуску і рекуперативного гальмування у всьому діапазоні робочих швидкостей рухомого складу дозволяє знизити витрати електроенергії на рух на 25-40 % [1-4]. Найбільш ефективно енергія рекуперативного гальмування використовується на залізничному транспорті. Специфіка роботи міського електричного транспорту, для якого практично за годину 120 разів змінюється режим роботи тягового електроприводу (пуск-гальмування-пуск) ще потребує комплексного вирішення проблеми використання енергії при рекуперативному гальмуванні.

В режимі рекуперації електричної енергії на міському електротранспорті найбільша складова потенціалу енергозбереження припадає на гальмівні втрати або на кінетичну енергію, яку має кожна рухома одиниця перед початком гальмування і яка в процесі гальмування витрачається на нагрівання резисторів гальмівного реостата та тертя у механічних гальмах. Нераціональність такого перетворення електроенергії була очевидна з перших кроків застосування електроприводу на колісному транспорті, але були очевидні і технічні труднощі в реалізації ідеї використання електричної енергії перетвореної з кінетичної енергії рухомого складу.

Ці труднощі стосувалися як забезпечення умов переходу тягових двигунів у генераторний режим зі збереженням належного рівня електропротирувальної сили при зміні швидкості обертання якорів від будь-якого початкового значення до нуля, так і забезпечення умов споживання рекуперованої енергії. На рухомому складі з реостатно – контакторним регулюванням, вирішення проблеми забезпечення генераторного режиму тягових двигунів з рівнем електрорушійної сили, більшим за рівень напруги у контактній мережі та при підтриманні сталого моменту на якорі, по всьому діапазону швидкостей руху було принципово неможливо. Застосування тягових двигунів з переважаючою намагнічувальною силою паралельних обмоток, які дозволяли реалізувати рекуперативне гальмування до швидкості не менше 24 км/год., практично ніяких зрушень не зробило..

Крім того, навіть і невеликий відсоток можливої економії енергії не міг бути реалізований, оскільки імовірність реалізації потужності рекуперації та одночасного існування не меншої потужності споживання на одній секції або навіть на одному районі живлення є надзвичайно малою. Ось чому, незважаючи на надзвичайно привабливі результати теоретичного обчислення можливої економії енергії при застосуванні на рухомому складі електричного транспорту електронних перетворювачів, що передбачають рекуперацію до повної зупинки та інших накопичувачів проблема використання енергії рекуперації досі залишається не вирішеною [1-3]. На сьогоднішній день також не вирішено питання доцільності розміщення накопичувачів електроенергії: безпосередньо на транспортному засобі, або в системі тягового електропостачання [1-3]. В більшості наукових робіт не приділяється значної уваги на втрати в елементах силового приводу і системи електропостачання при оберненому перетворенні механічної енергії в електричну. Як відомо, за нормативами експлуатації, тільки в контактній мережі та тягових підстанціях в номінальних режимах допускаються втрати електроенергії до 15 %. Дослідження, які були виконані на метрополітенах різних міст, показали, що при забезпеченні графіків руху поїздів для максимального споживання електроенергії рекуперації, енергія міжпоїздного обміну складає 8-13 %, надлишкова 5-1,5 % при енергії рекуперації 13-15 % загальних витрат на тягу поїздів.

Вільним від вказаних недоліків є акумулювання енергії рекуперації безпосередньо на рухомих одиницях з наступним її використанням при пусках. Можливість накопичення енергії з наступним її використанням практично доведена на різних видах транспорту, зокрема метрополітені, автобусах з маховиками [1, 3].

Згідно з прийнятою класифікацією, акумулювання енергії може бути у електричній, електрохімічній, пневматичній, механічній та тепловій формі [1, 3]. Вибір тої чи іншої форми для застосування на міському електротранспорті визначається крім таких очевидних критеріїв, як питома енергоємність (кількість енергії на одиницю маси енергоакумулятора), максимальна потужність, глибина розряду, максимальна кількість циклів “заряд-розряд”, також прийнятністю енергоакумулятора з точки зору безпеки для пасажирів та технічним рівнем експлуатаційних підприємств. З цих позицій використання теплових, зверхпровідних індуктивних накопичувачів, літій – хлорових електрохімічних високотемпературних акумуляторів, водневих електролізерів принаймні на найближчі роки не матимуть перспективи. Прийнятними з точки зору наступництва техніки є очевидно електрохімічні низькотемпературні акумулятори, конденсатори, інерційні маховики та пневмоакумулятори.

При параметрах рухомого складу, що використовується в даний час для перевезення пасажирів, корисна енергія одного рекуперативного гальмування з урахуванням роботи з подолання опору рухові знаходиться в

межах $1,0 - 2,5 \cdot 10^6$ Дж при максимальній початковій потужності у 200 – 450 кВт і тривалості режиму рекуперації до 15 с. Розділивши корисну енергію рекуперації на показник питомої енергоемності та на показник питомої потужності, отримуємо приблизні значення маси додаткового устаткування для різних видів енергоакумуляторів. Так, для звичайних акумуляторів, що використовуються зараз на транспорті, додаткова маса сягає до 3000 кг, для срібно-сірчанних – до 1500 кг, для інерційних маховиків – до 800 кг. Пневматичні акумулятори взагалі неспроможні забезпечити накопичення потрібного обсягу енергії, бо їх маса повинна бути співмірна з масою самого рухомого складу.

З цього логічно випливає пропозиція накопичувати енергію безпосередньо на тягових підстанціях, або інвертувати енергію рекуперації до первинної мережі електропостачання, тобто перетворювати енергію постійного струму, що надходить від контактної мережі при рекуперації рухомої одиниці на секції, у енергію трифазного змінного струму напругою 600 В на вторинній обмотці силового трансформатора тягової підстанції, який стає таким чином підвищувальним та передає енергію до мережі змінного струму 6 – 10 кВ. Ця ідея була вперше реалізована на тягових підстанціях залізниць, але внаслідок малої надійності ртутних перетворювачів, які на той час були єдиними керованими електронними приладами, широкого розповсюдження не знайшла. З появою силових напівпровідникових приладів інвертування енергії рекуперації у первинну електромережу перейшло з розряду наукових проблем до розряду суто інженерних задач, зокрема на реверсивному електроприводі, де її впровадження дало значний економічний ефект.

При наявності на районі живлення деякої кількості одиниць рухомого складу, з яких певна частина рекуперує, різниця потенціалів між позитивними та негативними шинами розподільчого пристрою постійного струму може стати більша за номінальну напругу на виході випрямляча, який внаслідок цього закривається, а інвертор – відкривається. Робота секції при цьому моделюється паралельними, за кількістю рухомих одиниць, ланками з резисторами, що уособлюють опір силових кіл рухомих одиниць і опір контактної – кабельної мережі від струмоприймачів до шин тягової підстанції, та джерелами електропротирувальної сили, що імітують тягові двигуни у тяговому $E_{p.o.} < U_{к.м.}$ та генераторному $E_{p.o.} > U_{к.м.}$ режимах.

Відомо, що напруга на струмоприймачах рухомих одиниць дорівнює напрузі на шинах розподільчого пристрою постійного струму $U_{пн}$ мінус втрати напруги з-за опору контактної мережі та кабелів ΔU_T , а напруга на шинах розподільчого пристрою постійного струму нижча від напруги холостого ходу випрямляльного агрегата на величину $\Delta U_{ххп}$ і при навантаженні більше 50 А є незмінною у всьому діапазоні навантажень (рис. 1). В інверторному режимі напруга на шинах того ж самого розподільчого пристрою $U_{шп}$ буде більша за напругу холостого ходу інвертора на величину $\Delta U_{ххв}$. При протіканні струму рекуперації, тобто від струмоприймача до шин, втрати напруги від цього струму мають протилежний знак, і в разі перевищення струму рекуперації I_p над тяговим струмом I_T напруга в контактній мережі $U_{к.м.}$ перевищуватиме напругу на величину різниці втрат напруги плюс подвійне прирощення напруги холостого ходу.

З цього випливає, що за наявності інвертування рекуперативної енергії у первинну мережу трифазного змінного струму напруга в контактній мережі повинна збільшуватися понад номінальну, що небезпечно як для електрообладнання одиниці, що рекуперує, так і для інших одиниць у даному районі живлення. Крім цього за вимогами чинних нормативів повинна бути забезпечена відповідна якість електричної енергії.

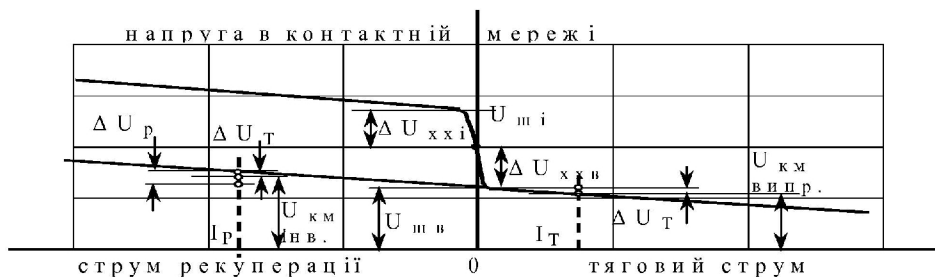


Рис. 1. Залежність напруги в контактній мережі від струму при рекуперації

Отже, потрібно вирішувати проблему використання енергії рекуперації на міському електротранспорті шляхом оснащення рухомого складу електронними перетворювачами, здатними здійснювати рекуперативне гальмування до повної зупинки, розробки ефективного технічного рішення компенсації підвищення напруги у контактних мережах, а при інвертуванні в первинну мережу і забезпечення відповідного рівня якості електроенергії.

Література.

1. Карпушин Е.І. Першочергові заходи з економії енергії на міському електротранспорті // Інформаційні технології на транспорті: стан справ та основні напрямки розвитку. Зб. наук. праць. –К.: УТУ, 1998.- С. 70-73.
2. Далека В.Х. Дослідження факторів, що впливають на перевитрати електроенергії при експлуатації міського електротранспорту // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. № 4(54), 2005. – С. 78-80.
3. Омеляненко В.И., Бондаренко В.Е., Омеляненко Г.В. Накопители энергии – эффективное средство энергосбережения в системах тягового электроснабжения. // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – 1999. – Вып. 58. – С. 64-65