

ЛІНІЙНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД ВАГОНУ МЕТРОПОЛІТЕНУ

Теряєв В.І., доц., Бєднік О.М., магістрант

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

Вступ. Метрополітени великих міст постійно вдосконалюють свої транспортні можливості та технології для поліпшення комфорту і безпеки пасажирів, збільшення провізної спроможності, енергоефективності та надійності, а також для зменшення впливу на навколишнє середовище, що свідчить про актуальність даного дослідження. Одним із шляхів підвищення ефективності транспортних систем є застосування лінійних електродвигунів, які забезпечують поступальний рух без механічного контакту зі шляховою структурою. Прикладами використання лінійного електроприводу можуть бути системи неперервного транспорту (конвеєри, траволатори, ескалатори), наземний транспорт (в т.ч. на магнітному підвісі), механізми подачі металорізальних верстатів, медичні пристрої, механізми переміщення роботів і маніпуляторів, будівельна техніка і багато інших.

Постановка задачі дослідження. Вивчення можливості використання лінійного електродвигуна в тяговому електроприводі вагону метрополітену, вибір варіанту конструктивного виконання лінійного електродвигуна.

Матеріали досліджень. Лінійні електродвигуни представляють собою широкий клас електричних машин, що перетворюють електричну енергію в механічну енергію поступального руху за допомогою створення біжучого магнітного полях [1]. Класифікація лінійних електродвигунів за принципом дії представлена на рисунку 1 [2].

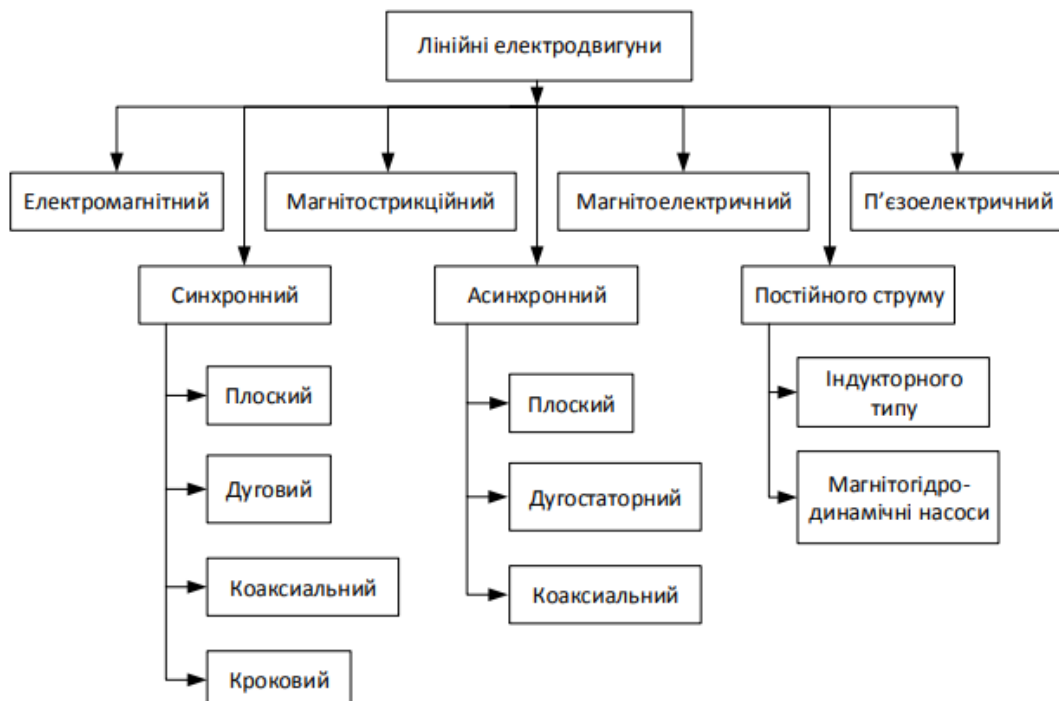


Рисунок 1 – Загальна класифікація лінійних двигунів

Лінійний асинхронний двигун (ЛАД), також відомий як лінійний індукційний двигун, працює на тому ж принципі, що і звичайний асинхронний обертовий двигун, але замість обертання він генерує лінійний рух.

Принцип роботи лінійного асинхронного двигуна полягає у наступному. При подачі струму в обмотку індуктора, в зазорі ЛАД утворюється біжуче магнітне поле, в результаті взаємодії якого із вторинним елементом в останньому наводиться ЕРС і утворюється струм у вигляді короткозамкнених контурів. При взаємодії струму вторинного елемента з полем індуктора виникає тягове зусилля, яке забезпечує переміщення індуктора відносно вторинного елемента у необхідному напрямку.

Використання лінійних двигунів в тяговому електроприводі вагонів метрополітену може мати декілька переваг, серед яких:

- плавність руху;
- енергоефективність;
- мінімізація шуму та вібрацій;
- довговічність та низька обслуговуваність.
- гнучкість та адаптивність;
- екологічна безпека;
- відмова від використання силових механічних передач (редукторів);
- відсутність проковзування.

Розглянемо модернізацію вагону метрополітену із застосуванням лінійного електроприводу на прикладі головного вагону серії 81-7080 Крюківського вагонобудівного заводу (м. Кременчук, Україна) (див. рис. 2).

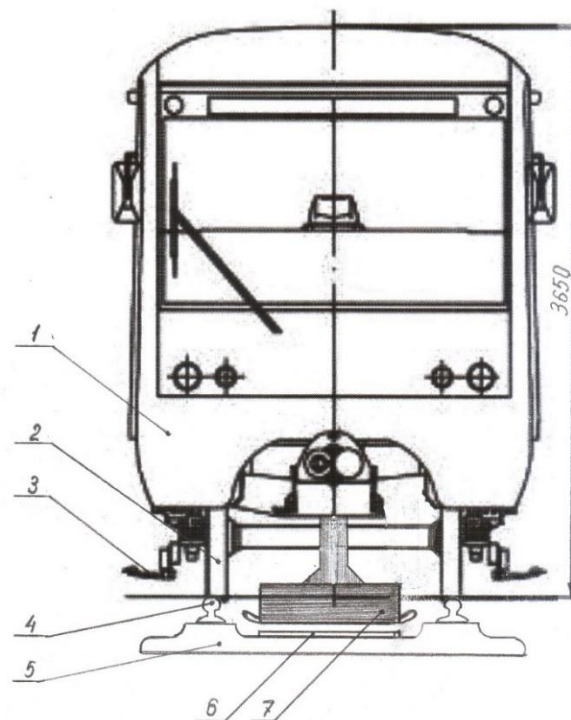


Рисунок 2 – Схема розташування ЛАД на вагоні метрополітену: 1 – вагон; 2 – колісна пара; 3 – контактний струмознімач; 4 – рейка; 5 – шпала; 6 – реактивна полоса; 7 – лінійний двигун

Індуктор ЛАД жорстко кріпиться до колісних візків вагону, чим забезпечується стабілізація робочого повітряного зазору. Реактивна полоса закріплюється на шпалах шляхової структури.

Розрахунок потужності лінійного двигуна. В усталеному режимі тягове зусилля ЛАД дорівнює зусиллю опору руху [3]:

$$F_0 = m_{\Sigma} \cdot g \cdot W_0$$

де m_{Σ} – маса вагона з пасажирями, т; $g = 9.81 \text{ м/с}^2$;

W_0 – питомий опір руху, Н/кН.

Маса вагона з пасажирями:

$$m_{\Sigma} = m_g + m_{\Pi} = 33 + 33,8 = 66,8 \text{ т}$$

де маса вагона $m_g = 33 \text{ т}$;

маса пасажирів $m_{\Pi} = n_n \cdot m_{\Pi} = 338_{\text{чол}} \cdot 100_{\text{кг}} = 33,8 \text{ т}$.

Питомий опір руху при швидкості $v = 85 \text{ км/год}$ [3]:

$$W_0 = 1.9 + 0.01 \cdot V + 0.0003 \cdot V^2 = 1.9 + 0.01 \cdot 85 + 0.0003 \cdot 85^2 = 5$$

Знаходимо зусилля опору руху

$$F_0 = 66,8 \cdot 9.81 \cdot 5 = 3275 \text{ Н}$$

Розраховуємо потрібне тягове зусилля, з урахуванням коефіцієнту запасу 1,3

$$F_m = F_0 \cdot 1,3 = 4300 \text{ Н}$$

Будуємо навантажувальну діаграму для типового циклу роботи приводу потягу метрополітену, який включає розгін потягу, рух з усталеною швидкістю, уповільнення і зупинку для висадки і посадки пасажирів.

Розрахунок ділянок циклу роботи:

- розгін з прискоренням $a = 2 \text{ м/с}^2$;
- гальмування з уповільненням $a = -2 \text{ м/с}^2$;
- час розгону і уповільнення $t_p = t_y = \frac{23,6}{2} = 12 \text{ с}$;
- час руху з усталеною швидкістю $v = 85 \text{ км/год} = 23,6 \text{ м/с}$ $t_y = 3 \text{ хв} = 180 \text{ с}$;
- час паузи для висадки та посадки пасажирів 15 с.

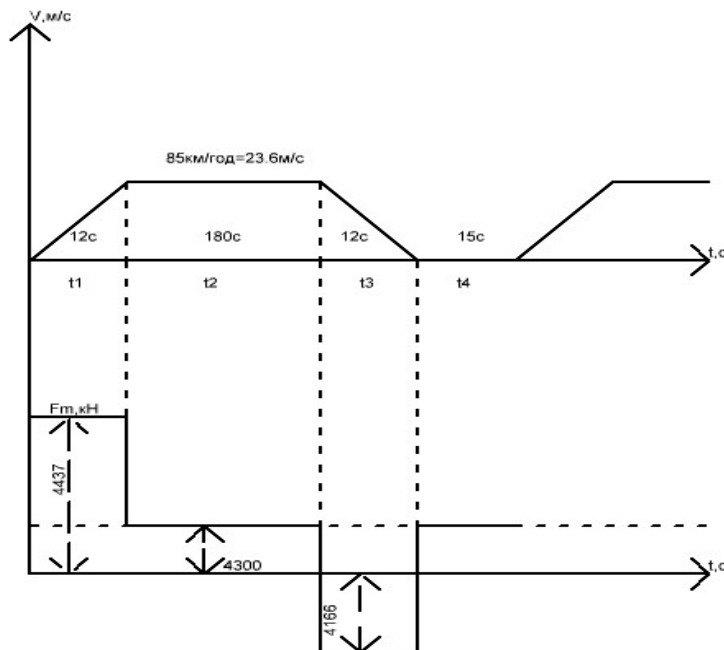


Рисунок 3 – Навантажувальна діаграма

Зусилля при розгоні

$$F_p = m_{\Sigma} \cdot a + F_0 = 66,8 \cdot 2 + 4300 = 4437 \text{ Н}$$

Зусилля при гальмуванні

$$F_2 = -m_{\Sigma} \cdot a + 4300 = -4166 \text{ Н}$$

Знаходимо еквівалентне зусилля

$$F_e = \sqrt{\frac{F_p^2 \cdot t_1 + F_m^2 \cdot t_2 + F_2^2 \cdot t_3}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4}} = \sqrt{\frac{4437^2 \cdot 12 + 4300^2 \cdot 180 + (-4166)^2 \cdot 12}{12 + 180 + 12 + 15}} = 4500 \text{ Н}.$$

Механічна потужність ЛАД

$$P_m = F_e \cdot v = 4500 \cdot 23,6 = 106200 \text{ Вт} \approx 106 \text{ кВт}$$

Розрахунок базових параметрів ЛАД [4]. В якості вихідних даних приймаємо наступні:

- номінальна швидкість руху $V=23,6$ м/с;
 - номінальне тягове зусилля $F_H=4500$ Н;
 - номінальне ковзання $s_H=0,2$;
 - ширина індуктора та реактивної полоси $b=0,15$ м;
 - повітряний зазор між ЛАД і реактивною полосою $\Delta=10$ мм.
- Визначимо синхронну швидкість двигуна

$$V_c = \frac{V_H}{1 - s_H} = \frac{23,6}{1 - 0,2} = 29,5 \text{ м/с}.$$

Розрахуємо величину полюсного поділку ЛАД

$$\tau = \frac{V_c}{2 \cdot f_H} = \frac{29,5}{2 \cdot 50} = 0,295 \text{ м}.$$

На основі досвіду проектування орієнтовно виберемо питому силу тяги $F_{II}=0.5 \text{ Н/см}^2$, на основі чого визначимо активну площу індуктора:

$$S_{акт} = \frac{F_H}{F_{II}} = \frac{4500}{0,45} = 10000 \text{ см}^2 = 1\text{м}^2.$$

За величиною τ і b_l визначимо площу одного полюса

$$S_\tau = \tau \cdot b_l = 0,295 \cdot 0,15 = 0,0442 \text{ м}^2.$$

Попередньо знайдемо число полюсів індуктора

$$2p = \frac{S_{акт}}{S_\tau} = \frac{1}{0,0442} \approx 23.$$

Тоді довжина індуктора складе

$$S_\tau = \tau \cdot b_l = 0,295 \cdot 23 = 6,785 \text{ м}.$$

Число пазів індуктора на полюс і фазу та крок пазів

$$q_1 = \frac{\tau}{m \cdot t_1} = \frac{0,295}{3 \cdot 0,983} = 1$$

$$t_1 = \frac{\tau}{k} = \frac{0,295}{3} = 0,0983 \text{ м},$$

де $k = 3,6,9,12,15,\dots$

Знайдемо розрахункове число пазів у магнітопроводі індуктора

$$Z_p = 2p \cdot m_1 \cdot q_1 = 23 \cdot 3 \cdot 1 = 69.$$

Число пазів на полюс

$$Z_\tau = a \cdot q_1 = 3 \cdot 1 = 3.$$

При цьому загальне число пазів індуктора буде дорівнювати

$$Z_1 = Z_p + Z_r - 1 = 69 + 3 - 1 = 71.$$

Критичне зусилля лінійного двигуна орієнтовно дорівнює

$$F_K = \lambda \cdot F_{cm} = 1,5 \cdot 4500 = 6750 \text{ Н},$$

де λ – перевантажувальна здатність ЛАД.

Висновки. Використання лінійного електроприводу у вагонах метрополітену може бути перспективним і має свої переваги. Він дозволяє досягти високої керованості і плавності руху, що є важливим для комфорту пасажирів. Ефективність та енергозбереження також є важливими аспектами функціонування метрополітену, а лінійні електроприводи можуть сприяти зниженню витрат енергії та оптимізації роботи системи.

Мінімізація шуму та вібрацій, а також довговічність та низька обслуговуваність лінійних електроприводів є важливими для забезпечення безперебійної роботи метрополітену та зручності пасажирів. Гнучкість та адаптивність лінійних електроприводів роблять їх привабливими для використання в системах міського масового транспорту.

Важливою є також екологічна безпека і використання лінійних електроприводів може сприяти зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Перелік посилань

1. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Підручник / М.Г.Попович, О.Ю.Лозинський та ін. – К: Либідь, 2005. – 680 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/48821/1/Avtomatykovanyi_elektropryvod.pdf
2. Теряев В.І., Чернота В.Г., електропривод з лінійним кроковим двигуном URL: <https://epa.kpi.ua/wp-content/uploads/2018/06/131244-281639-1-PB.pdf>
3. Правила тягових розрахунків для поїзної роботи URL: http://railway.in.ua/load/zheleznodorozhnaya_biblioteka/pravila_tjagovykh_raschetov_dlja_poezdn_oj_raboty/10-1-0-101
4. Теряев В.І. Методика розрахунку параметрів лінійного асинхронного електродвигуна. Авторське право на науковий твір, свідоцтво №85028, дата реєстрації 30.01.2019 р.