

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ БЕЗРЕДУКТОРНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ НА БАЗІ АСИНХРОННОГО ТИХОХІДНОГО ДВИГУНА

Стецюк В. І.

Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна

E-mail: sv\_rt@i.ua

Сучасні електроприводи підймальних механізмів безредукторні із використанням синхронних двигунів на постійних магнітах. Однак у нашій країні широке застосування одержали безредукторні електроприводи, виконані на базі асинхронних двигунів (АД) вітчизняного виробництва [1]. Рух кабіни пасажирського ліфта відбувається за оптимальним законом, якщо підпорядковується діаграмі, представлений на рис. 1.

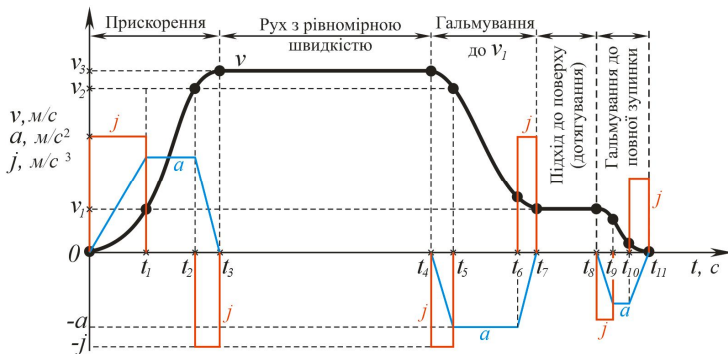


Рис. 1. Оптимальна діаграма руху кабіни ліфта:  $v$  – швидкість;  $a$  – прискорення;  $j$  – ривок

Дотримання оптимальності руху залежить від структури електроприводу, системи його керування і полягає в обмеженні прискорень  $a$  кабіни та їх похідних – ривків  $j$ :

$$j = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{d^3r}{dt^3}, \quad (1)$$

де  $v$  – швидкість;  $a$  – прискорення;  $r$  – радіус-вектор переміщення.

Плавність руху кабіни кількісно визначається значенням прискорення при розгоні, яке в експлуатаційних режимах не повинне перевищувати  $-2 \text{ м/с}^2$ , а для ліфтів у лікувально-профілактичних установах  $-1 \text{ м/с}^2$  [2].

Використання АД для побудови безредукторного електроприводу ліфта є нестандартним рішенням. Прикладом є двигун АДБХ180L12ЛБУЗ, на базі якого створена ліфтова безредукторна лебідка ЛЛБ-06 для ліфтів вантажопідйомністю 400-630 кг зі швидкостями руху 1-1,6 м/с з поліспастичним підвісом кабіни. Однак практика експлуатації такої лебідки показала, що дана конструкція має ряд недоліків, серед яких основними є важкість керування (підбір необхідних параметрів частотного перетворювача) і проблематичність точних зупинок.

Для розрахунку статичних і динамічних характеристик електроприводу з тихохідним асинхронним двигуном значний інтерес представляє розробка математичного опису і методики розрахунку параметрів схеми заміщення. Для аналізу електромагнітних процесів в асинхронному двигуні зазвичай використовуються диференціальні рівняння АД, записані у векторній формі в системі координат  $u$ ,  $v$ , що обертається з довільною швидкістю  $\omega_k$ :

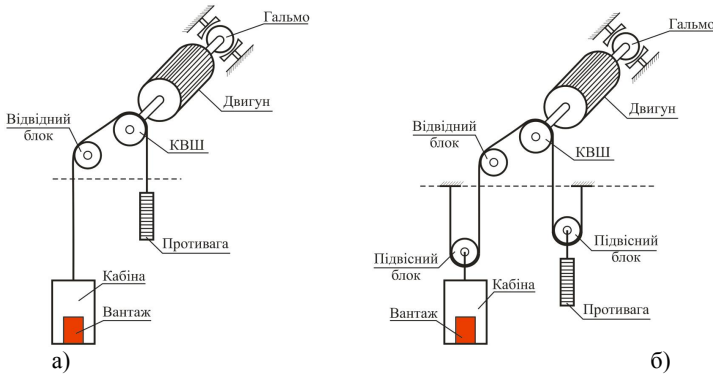
$$\left. \begin{aligned} \bar{U}_1 &= \frac{d\bar{\Psi}_1}{dt} + j\omega\bar{\Psi}_1 + R_1\bar{i}_1; \\ 0 &= \frac{d\bar{\Psi}_2}{dt} + j(\omega_k - \omega)\bar{\Psi}_2 + R_2'\bar{i}_2; \\ \bar{\Psi}_1 &= L_s\bar{i}_1 + M_0\bar{i}_2; \\ M &= \frac{3}{2} p_\tau \omega_m \frac{k_r}{\alpha X_s} I_m (\bar{\Psi}_1 \bar{\Psi}_2^*); \\ \frac{d\omega}{dt} &= \frac{p_\tau}{J} (M - M_c), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

де  $\bar{U}_1$  – вектор напруги статора;  $\bar{\Psi}_1$  і  $\bar{\Psi}_2$  – вектори потокозчеплення статора і ротора;  $\bar{i}_1$  і  $\bar{i}_2$  – вектори струмів статора і ротора;  $p_\tau$  – кількість пар полюсів АД;  $\omega$  – електрична швидкість АД;  $\omega_m = 2\pi f_m$  – кругова частота напруги живлення.

Векторні величини потокозчеплень і струмів статора і ротора пов'язані з відповідними скалярними наступними співвідношеннями:

$$\left. \begin{aligned} \bar{\Psi}_1 &= \bar{\Psi}_{U1} + j\bar{\Psi}_{v1}; \\ \bar{\Psi}_2 &= \bar{\Psi}_{U2} + j\bar{\Psi}_{v2}; \\ \bar{i}_1 &= i_{U1} + j i_{v1}; \\ \bar{i}_2 &= i_{U2} + j i_{v2}. \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Типова конструкція ліфта з таким електроприводом схематично показана на рис. 2, а результати розрахунку приведеного до валу двигуна моменту інерції наведені в табл. 1.



**Рис. 2. Кінематичні схеми ліфтів з безредукторним електроприводом при прямому (а) і поліспастиному (б) підвісах**

З аналізу табл. 1 слідує, що такі елементи конструкції, як КВШ, гальмівний механізм, відвідної блок при безредукторному виконанні електроприводу вносять у сумарний момент інерції співрозмірний із двигуном внесок. У випадку редукторного електроприводу впливом даних елементів можна було зневажити. Таким чином, для редукторних лебідок відношення сумарного моменту інерції електроприводу до моменту інерції двигуна становить (2,5-6):1. При використанні безредукторних лебідок дане співвідношення становить (40-60):1 при поліспастиному і (100-128):1 при прямому підвісі. Безредукторний електропривод у порівнянні з редукторним має значно більший сумарний момент інерції. При використанні безредукторної лебідки значення сумарного моменту інерції при нульовому і номінальному завантаженні кабіни різняться

на 20-25 %. При використанні редукторного електроприводу – не більше ніж на 3-5 % і практично не залежить від завантаження кабіни. При використанні безредукторного електроприводу значно знижується необхідна для розгону двигуна і оберткових мас лебідки енергія.

Табл. 1.

**Приведені моменти інерції елементів безредукторних лебідок ЛЛБ-06 на базі асинхронних двигунів серії АДБХ180L12ЛБУЗ**

Вантажопідйомність і номінальна швидкість ліфта	400 кг, 1 м/с		400 кг, 1 м/с		630 кг, 1 м/с	
	прямий		поліспастиї		поліспастиї	
Одиниця вимірювання	кг·м <sup>2</sup>	% J <sub>Σ</sub>	кг·м <sup>2</sup>	% J <sub>Σ</sub>	кг·м <sup>2</sup>	% J <sub>Σ</sub>
КВШ	0,256	0,6	0,256	2,0	0,256	1,5
Двигун	0,41	1,0	0,27	2,1	0,41	2,4
Гальмівний механізм	0,653	1,5	0,653	5,0	0,653	3,8
Відвідний блок	0,256	0,6	0,256	2,0	0,256	1,5
Канати	0,488	1Д	0,977	7,5	1,3	7,6
Кабіна	17,92	41,7	4,8	36,9	6,08	35,6
Противага	23,04	53,6	5,76	44,3	8,09	47,4
J <sub>Σ</sub> (при порожній кабіні)	43,02		13,00		17,05	
J <sub>Σ</sub> (при номінальн. завантаженні)	53,26		15,56		21,05	

Динамічні режими роботи електроприводу енергетично більш витратні відносно статичних. Для оцінки зниження витрат енергії в динамічних режимах при використанні безредукторного електроприводу становить інтерес розрахувати значення сумарної кінетичної енергії ліфтів вантажопідйомністю 400 кг і 630 кг при номінальній швидкості руху 1 м/с:

$$W = \frac{J_{\Sigma} \cdot \omega^2}{2} \quad (4)$$

де J<sub>Σ</sub> – сумарний приведений до вала двигуна момент інерції механізму; ω – швидкість двигуна.

У табл. 2 наведені результати, розрахунку при використанні редукторного та безредукторного електроприводів.

З табл. 2 видно, що сумарна кінетична енергія ліфта з безредукторним електроприводом при номінальній швидкості в 5-6 разів менше, ніж при використанні редукторного електропривода.

Отримані результати досліджень та розрахунки були підтверджені практично і лягли в основу вирішення проблемних питань безредукторних тихохідних лебідок. Так, випробування лебідки ЛЛБ-06 на базі асинхронного двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ без

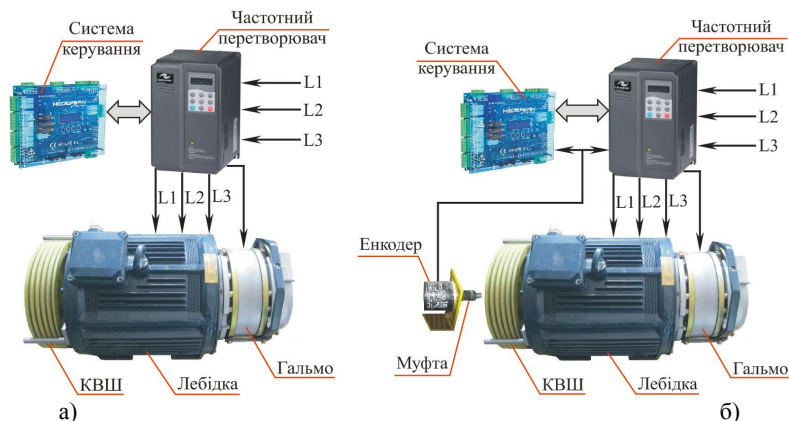
зворотного зв'язку (open loop) показали незадовільні результати і довели, що прийнятна робота в якості ліфтової лебідки в такому режимі неприпустима.

Табл. 2.

**Кінетична енергія ліфтів із редукторними та безредукторними лебідками**

Тип, вантажопідйомність і номінальна швидкість ліфта	Редукторна лебідка		Безредукторна лебідка ЛЛБ-06 на базі двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ		
	400 кг, 1 м/с	630 кг, 1 м/с	400 кг, 1 м/с прямий	400 кг, 1 м/с поліспастиї	630 кг, 1 м/с поліспастиї
Енергія, Дж (порожня кабіна)	5184	9864	864	1044	1332
Енергія, Дж (номін. завантаження)	5328	10152	1044	1224	1656

Спостерігалися критичні неточності зупинки ліфта на поверсі (до 200 мм) і сильна залежність від завантаження кабіни, яка потребувала постійного підлаштування системи. Для забезпечення комфортного, надійного пересування ліфта та задоволення вимог правил безпечної експлуатації ліфтів [2] рекомендується наступна схема ввімкнення (рис. 3, б) безредукторного тихохідного двигуна. Це схема із закритим контуром (closed loop), тобто містить коло зворотного зв'язку на основі сигналів енкодера.



**Рис. 3. Схема під'єднання лебідки ЛЛБ-06 на базі асинхронного двигуна АДБХ180L12ЛБУЗ: а) без зворотного зв'язку (open loop); зі зворотним зв'язком (closed loop)**

Стосовно труднощів керування та підбору необхідних параметрів частотного перетворювача – проблема вирішується вибором ліфтового частотного перетворювача, наприклад добре зарекомендували себе Omron LX, Yaskawa та Inovance.

Таким чином, використання тихохідного асинхронного двигуна в безредукторному електроприводі дозволяє мінімізувати необхідну потужність перетворювача частоти, що покращує техніко-економічні показники електроприводу. Безредукторний електропривод у порівнянні з редукторним має значно більший сумарний момент інерції та меншу (до 5-6 разів) кінетичну енергію. За рахунок вибору частотного перетворювача та введення сигналів зворотного зв'язку вдалося досягнути підвищеної комфортності пересування ліфтів за рахунок високої плавності ходу і забезпечення точності зупинок.

### **Література**

1. Стецюк В. І. Підвищення ефективності роботи ліфтових перетворювачів частоти шляхом введення сигналу зворотного зв'язку / В. І. Стецюк, В. А. Нікітов // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2017. – № 6. – С. 162-170.
2. ДСТУ EN 81-1:2003. Норми безпеки до конструкції та експлуатації ліфтів. Частина 1. Ліфти електричні.