

УДК 626.876.114:[621.313.333-83

О.А. Андриющенко, д-р техн. наук, проф.,
А.О. Бойко, канд. техн. наук, доц.,
Н.В. Акчешаш, магістр,
Одес. нац. політехн. ун-т

ОСОБЛИВОСТІ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДВОШВИДКІСНОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПАСАЖИРСЬКОГО ЛІФТА

О.А. Андриющенко, *А.О. Бойко*, *Н.В. Акчешаш*. **Особливості математичного моделювання двошвидкісного асинхронного електропривода пасажирського ліфта.** Запропоновані методика математичного опису і дослідження двошвидкісного асинхронного електропривода пасажирського ліфта. Наведено схему моделі й описано її елементи. Враховані нелінійності асинхронного двигуна та детального розглянута енергетика електропривода ліфта.

Ключові слова: пасажирський ліфт, моделювання, двошвидкісний асинхронний електропривод, енергетичні показники.

О.А. Андриющенко, *А.О. Бойко*, *Н.В. Акчешаш*. **Особенности математического моделирования двухскоростного асинхронного электропривода пассажирского лифта.** Предложены методика математического описания и исследования двухскоростного асинхронного электропривода пассажирского лифта. Приведена схема модели и описаны ее элементы. Учтены нелинейности асинхронного двигателя и детально рассмотрена энергетика электропривода лифта.

Ключевые слова: пассажирский лифт, моделирование, двухскоростной асинхронный электропривод, энергетические показатели.

О.А. Andryushchenko, *A.O. Boyko*, *N.V. Akcheshash*. **Features of mathematical modeling of the two-speed asynchronous electric drive of the passengers lift.** The technique of the mathematical description and researches of the two-speed asynchronous electric drive to the passenger lift are offered. The model diagram is given, and its elements are described. Nonlinearities of the asynchronous motor are taken into account, and considered in detail by electric the energy of the lift's drive is considered in detail.

Keywords: the passenger lift, modeling, two-speed asynchronous electric drive, power parameters.

Асинхронний двигун (АД) є найбільш розповсюдженим приводним двигуном більшості механізмів, зокрема пасажирських ліфтів. Розвиток напівпровідникової техніки, в тому числі перетворювачів частоти, які забезпечують точне і економічне керування асинхронних електроприводів (ЕП), їх широке впровадження також підтверджують, що АД і в майбутньому буде широко використовуватись [1, 2]. У 60...70-х рр. минулого сторіччя для привода пасажирських ліфтів масового використання зі швидкістю до 1 м/с включно використовувались двошвидкісні АД з підвищеним ковзанням. У 80-х рр. почали широко застосовуватись спеціальні двошвидкісні двигуни типу АІ та АІФ, які забезпечували кращі енергетичні показники.

При переході до частотно-керованих ЕП, або ЕП на базі синхронних двигунів чи двигунів постійного струму, стало можливим забезпечувати точне керування процесами розгону, уповільнення та точної зупинки. Керовані ЕП мають значно кращі масо-габаритні та енергетичні показники, також можуть забезпечити задані умови комфортності переміщення пасажирів для ліфтів з високими (2,5 м/с і більше) швидкостями [1, 3].

Серед конкуруючих систем ЕП значне місце мають одношвидкісні асинхронні ЕП. Не втратили актуальності і двошвидкісні асинхронні ЕП, оскільки за кількістю встановлених одиниць вони мають перевагу, до того ж вони слугують як базовий варіант при розрахунках техніко-економічної ефективності інших варіантів.

В останні роки відбувається перехід від редукторних до безредукторних лебідок. Це забезпечує значне підвищення загального ККД лебідки, її надійності, довговічності та екологічності [1, 2].

При моделюванні двошвидкісного асинхронного ЕП пасажирського ліфта детально враховувалися параметри механічної і електричної частин ліфта та реальна структура циклу роботи від початку руху до накладення електромагнітного гальма.

Моделювання АД виконується на базі теорії узагальненої машини у нерухомих координатах $\alpha, \beta, 0$. А саме:

— рівняння напруги живлення

$$\begin{aligned} U_{1\alpha} &= U_{1m} \cos(\omega_0 t), \\ U_{1\beta} &= U_{1m} \sin(\omega_0 t), \end{aligned} \quad (1)$$

де $U_{1\alpha}, U_{1\beta}$ — напруга статора в осях $\alpha, \beta, 0$;

U_{1m} — амплітуда фазної напруги;

$\omega_0 t$ — електрична кутова величина;

— рівняння рівноваги напруг статора і ротора та потокозчеплень

$$\begin{cases} U_{1\alpha} = i_{1\alpha} \cdot R_1 + \frac{d\Psi_{1\alpha}}{dt}; \\ U_{1\beta} = i_{1\beta} \cdot R_1 + \frac{d\Psi_{1\beta}}{dt}; \\ 0 = i_{2\alpha} \cdot R_2 + \frac{d\Psi_{2\alpha}}{dt} + \omega\Psi_{2\beta}; \\ 0 = i_{2\beta} \cdot R_2 + \frac{d\Psi_{2\beta}}{dt} + \omega\Psi_{2\alpha}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} \Psi_{1\alpha} = i_{1\alpha} \frac{x_s}{\omega_0}; \\ \Psi_{1\beta} = i_{1\beta} \frac{x_s}{\omega_0} + i_{2\beta} \frac{x_0}{\omega_0}; \\ \Psi_{2\alpha} = i_{2\alpha} \frac{x_r}{\omega_0} + i_{1\alpha} \frac{x_0}{\omega_0}; \\ \Psi_{2\beta} = i_{2\beta} \frac{x_r}{\omega_0} + i_{1\beta} \frac{x_0}{\omega_0}, \end{cases} \quad (3)$$

де $i_{1\alpha}, i_{1\beta}, i_{2\alpha}, i_{2\beta}$ — струм статора і ротора, відповідно;

R_1, R_2 — опір статора і ротора, відповідно;

$\Psi_{1\alpha}, \Psi_{1\beta}, \Psi_{2\alpha}, \Psi_{2\beta}$ — потокозчеплення статора і ротора, відповідно;

x_s, x_r — повний індуктивний опір статора і ротора, відповідно;

x_0 — індуктивний опір контуру намагнічування;

ω_0, ω — кутові швидкості електромагнітного поля та електрична швидкість ротора, відповідно;

— електромагнітний момент

$$M = \frac{3}{2} p \frac{x_0}{\omega_0} (i_{2\alpha} i_{1\beta} - i_{1\alpha} i_{2\beta}), \quad (4)$$

де p — кількість пар полюсів;

— рівняння руху

$$M - M_c = J_\Sigma \frac{d\omega_2}{dt} \cdot \frac{1}{p}, \quad (5)$$

де M_c — статичний момент;
 J_Σ — сумарний момент інерції двигуна;
 ω_2 — кутова швидкість ротора.

Згідно з рівняннями (1)...(5) зібрана схема моделі АД, яка є складовою частиною схеми моделі двошвидкісного асинхронного ЕП. Додатково до моделі АД введені нелінійні параметри.

При встановленні блоків нелінійностей в схемі треба враховувати, що в моделі створюється так звана "алгебраїчна петля", при наявності якої неможливе числове розв'язання системи диференціальних рівнянь. Для подолання цього в контури, які моделюють нелінійності, встановлені блоки затримки сигналів з кроком затримки, відповідним до кроку інтегрування.

Спрощена схема моделі двошвидкісного АД наведена на рис. 1. При моделюванні двошвидкісного двигуна моделюються одночасно і незалежно дві моделі.

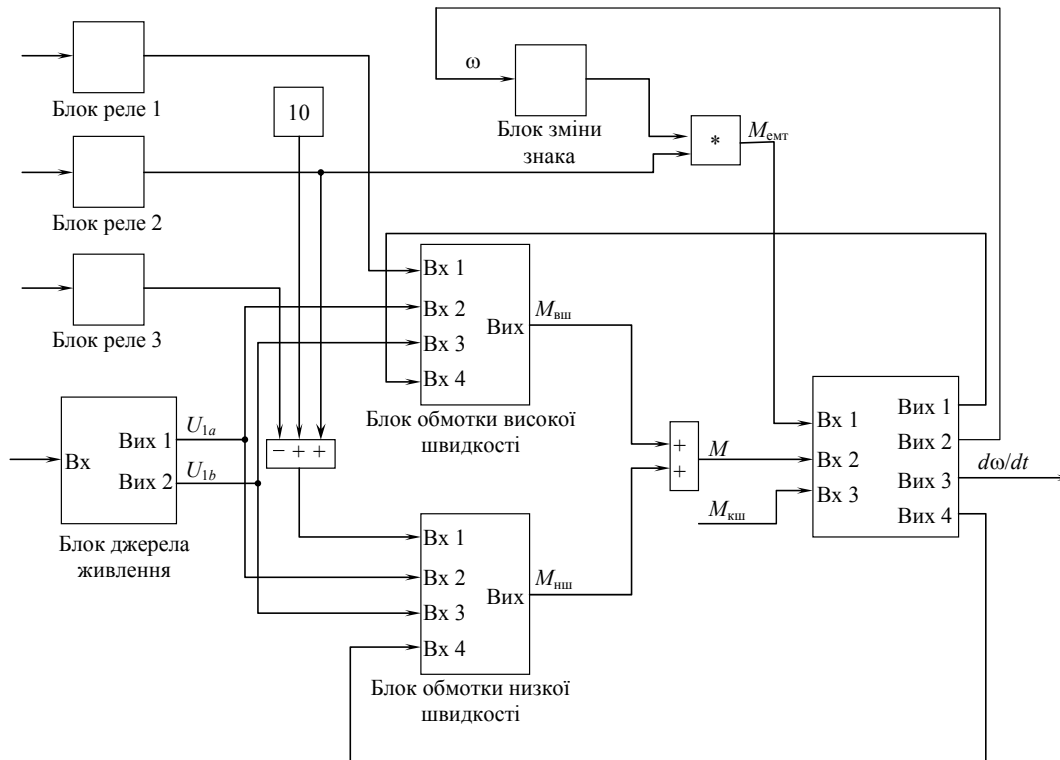


Рис. 1. Спрощена схема моделі двошвидкісного асинхронного двигуна пасажирського ліфта

Блок джерела живлення згідно з (1) є джерелом напруги для кожної із обмоток, які представлені Блоками обмоток високої та низької швидкості. Входи Vx1 цих блоків є керуючими. Оскільки між обмотками високої та низької швидкості немає електромагнітного зв'язку, то керування окремими обмотками можна звести до дозволу або заборони роботи інтеграторів, які розв'язують рівняння (2). При відсутності сигналу на вході початкових умов відповідного інтегратора він починає роботу. При поданні на цей вхід напруги керування, наприклад 10 В, інтегратор перестає працювати і на його виході встановлюються нульові початкові умови. Керування обмотками двигуна виконується у функції переміщення кабіни ліфта за допомогою Блоків реле 1 ... реле 3. Реалізований такий алгоритм роботи. При початку роботи є дозвіл на інтегрування рівнянь (3) для обмотки високої швидкості та заборона роботи обмотки низької швидкості. Відтворюється процес пуску та роботи в усталеному режимі. При підході кабіни до заданого поверху на відстань від 1 до 1,5 м відключається обмотка високої швидкості, з витримкою часу на переключення контакторів включається обмотка низької швидкості. При цьому моделюється режим гальмування та роботи на зниженій швидкості. При підході кабіни на відстань 0,1...0,2 м обмотка низької швидкості відключається, і на вал двигуна накладається електромагнітне гальмо. Момент електромагнітного гальма $M_{емт}$ моделюється як момент реактивного характеру. Моменти двигуна від обмоток великої швидкості $M_{вш}$ та малої швидкості $M_{нш}$ подаються на вхід

блока Швидкість, який моделює механічну частину ліфта. На виході цього блока формуються електричні швидкості для моделей високої і низької швидкостей, механічна швидкість та її похідна $d\omega/dt$.

За допомогою математичної моделі двошвидкісного асинхронного ЕП проведено моделювання при підйомі на один поверх при завантаженні кабіни на 75 кг (рис. 2).

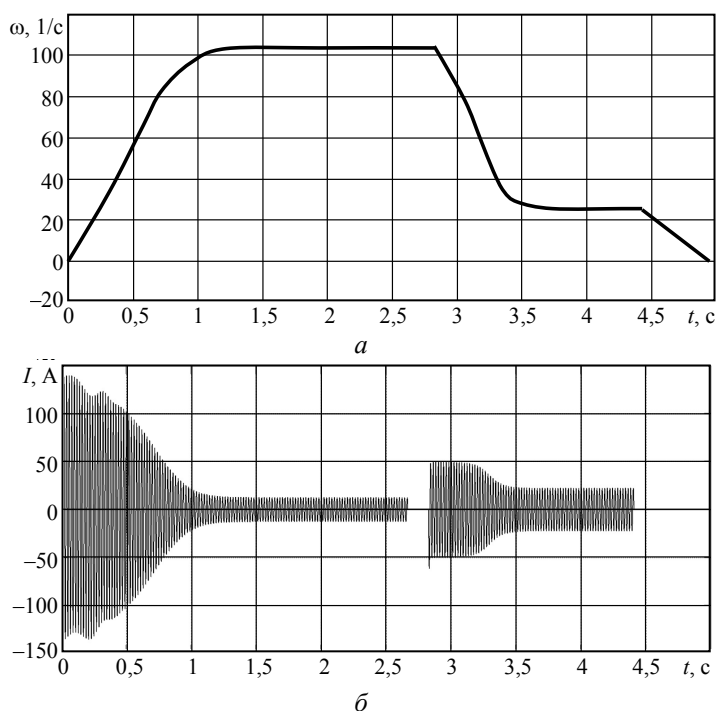


Рис. 2. Залежність кутової швидкості(а) та сили струму(б) від часу для двошвидкісного асинхронного ЕП при поїзді на один поверх при завантаженні кабіни 75 кг (моделювання)

На осцилограмі відображені фазні струми обмоток високої і низької швидкості та швидкість двошвидкісного асинхронного ЕП. Керування зміною режимів виконується у функції шляху.

Результати моделювання перевірені на експериментальній установці, створеній на базі вантажопасажирського ліфта. Результати експериментів у вигляді графіків струму і швидкості при поїзді на один поверх з масою вантажу 75 кг приведені на рис. 3.

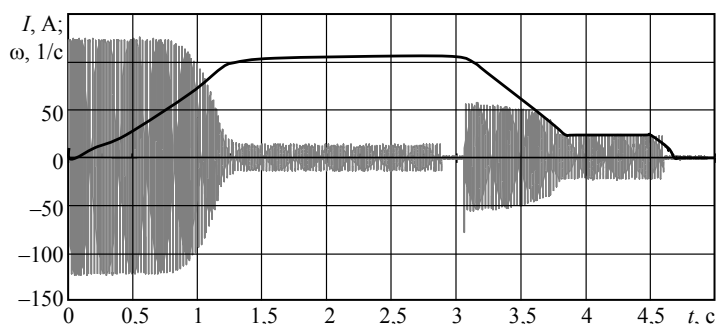


Рис. 3. Залежність кутової швидкості(а) та сили струму(б) від часу для двошвидкісного асинхронного ЕП при поїзді на один поверх при завантаженні кабіни 75 кг (експеримент)

При порівняльному аналізі між даними моделювання і даними експерименту максимальна похибка не перевищує 7 % [3].

Для аналізу енергетичних показників проводилось вимірювання активної потужності, а також її складових [3]:

- активна потужність, що споживається від мережі,

$$P = (3/2)p(U_{1\alpha}i_{1\alpha} - U_{1\beta}i_{1\beta}), \quad (6)$$

— втрати потужності в обмотках високої та низької швидкості статора і ротора, відповідно

$$\Delta P_{\tau 1} = (3/2)(i_{1\alpha}^2 + i_{1\beta}^2)R_1, \quad (7)$$

$$\Delta P_{\tau 2} = (3/2)(i_{2\alpha}^2 + i_{2\beta}^2)R_2, \quad (8)$$

— втрати потужності в сталі

$$\Delta P_{\text{ст}} = \Delta P_{\text{стн}}(I_0^2 / I_{0н}^2), \quad (9)$$

де $\Delta P_{\text{стн}}$ — номінальні втрати в сталі;

I_0^2 , $I_{0н}^2$ — квадрати амплітуд біжучого струму намагнічення і сруму намагнічення в номінальному режимі, відповідно.

Кожна із складових потужності інтегрувалась на протязі заданого циклу роботи. Так забезпечувалась можливість вимірювання енергії, що споживана із мережі, а також її складових у вигляді втрат енергії.

Таким чином, наведена методика моделювання є універсальною та може використовуватись як інструментарій для дослідження роботи двошвидкісних асинхронних ЕП пасажирських ліфтів. Моделювання може виконуватись як за допомогою комплексних програмних пакетів, так і на основі користувальницьких програм.

Отримана максимальна похибка 7 % говорить про достатню точність діючого ліфтового ЕП.

Складові потужностей та енергії, що використовувались при моделюванні, дозволяють проводити детальні дослідження енергетичної ефективності як ЕП ліфта в цілому, так і його окремих частин.

Література

1. Андрющенко, О.А. Повышение технического уровня пассажирских лифтов Украины, эволюция или революция? / О.А. Андрющенко, А.А. Бойко // Экономист. — 2011. — № 8. — С. 75 — 79.
2. Андрющенко, О. А. Пассажирский лифт как электромеханическая система. Перспективы и проблемы совершенствования энергетических показателей / О. А. Андрющенко, В.В. Булгар, В.Ф. Семенюк // Подъем. сооружения. Спец. техника. — Одеса, 2010. — № 2. — С. 23 — 28.
3. Енергетичні показники електроприводу пасажирського ліфту з двошвидкісним асинхронним двигуном. / О.А. Андрющенко, А.О. Бойко, А.В. Бібик, О.Б. Бабійчук. // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. — 2012. — № 3(19). — Темат. вип.: Проблеми АЕП. Теорія й практика // — Кременчук: КрНУ, 2012. — С. 205 — 208.

References

1. .Andryushchenko, O.A. Povishenie tehnycheskoho urovnja passagirskih lyftov UKRAINE, ili Evolutia Revolutia? [Enhance the level of passenger elevators in Ukraine, evolution or revolution?] / O.A. Andryushchenko, A.O. Boyko// The Economist. — 2011. — № 8. — PP. 75— 79
2. Andryushchenko, O.A. Passajirskii lift kak elektromehaničeskai sistema/ Perspektivi I problemi covorshenstvovania energetičeskikh pokazatelei. [Passenger elevator as the electromechanical system. Prospects and problems of improving energy performance.] / O.A. Andryushchenko, V.V Bulgar, V.F. Semenuk //Lifting equipment. Special equipment // — Odesa, 2010. — № 2. — PP. 23 — 28.
3. Andryushchenko, O.A. Energeticni pokazniki elektroprivodu pasajirskogo liftu z dvoshvidkisnim asinhronnim dvigunim. Elektromehanicni i energozberigauči sistemi.[Energy performance electric passenger elevator with two-speed induction motor. Electromechanical and efficient system.]. Thematic issue / O.A. Andryushchenko, A.O. Boyko,. A.V. Bibik, O.B. Babiichuk // Problems of AEDs. Theory and Practice — 2012. — Vol. 3(19). — Kremenčug: KrNU, 2012. — pp. 205 — 208.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. політехн ун-ту Водічев В.А.

Надійшла до редакції 21 травня 2013 р.