

УДК 621.314.2

С. О. Гулак

(старший викладач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Е. К. Єрмоленко

(аспірант кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

М. О. Усватов

(старший викладач кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

Ю. М. Черних, к.т.н., доцент

(доцент кафедри «Тяговий рухомий склад залізниць», Державний економіко-технологічний університет транспорту, м. Київ)

ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ЗМІННИХ УЗАГАЛЬНЕНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

В статті розглянута і досліджена можливість вибору координат при моделюванні асинхронного двигуна, перехід від істинних координат до квазікоординат, розроблена фізична та математична моделі узагальненого асинхронного двигуна. Розроблені вимоги до магнітної структури і розташування фазних зон в узагальненій фізичній моделі асинхронного двигуна. Визначенні динамічні змінні узагальненої асинхронної електричної машини.

Ключові слова: узагальнена асинхронна машина, явнopolюсна машина, фізична модель узагальненої машини, фазні зони, струмові шари, динамічні змінні узагальненої машини, структура узагальненої машини, консервативні змінні, неконсервативні змінні.

В статье рассмотрена и исследована возможность выбора координат при моделировании асинхронного двигателя, переход от истинных координат к квазиординатам, разработана физическая и математическая модели обобщенного асинхронного двигателя. Разработаны требования к магнитной структуре и расположения фазных зон в обобщенной физической модели асинхронного двигателя. Определены динамические переменные обобщенной асинхронной электрической машины.

Ключевые слова: обобщенная асинхронная машина, явнopolюсная машина, физическая модель обобщенной машины, фазные зоны, токовые слои, динамические переменные обобщенной машины, структура обобщенной машины, консервативные переменные, неконсервативные переменные.

Постановка проблеми. Моделювання є важливим етапом проектування електроприводу допоміжних машин. Побудова реальної моделі з параметрами, які максимально наближені до предмета моделювання, виявляє низку непередбачуваних проблем, котрі можуть з'явитися в процесі експлуатації асинхронних двигунів, що використовуються як фазорозчіплювач, мотор-вентиляторів, мотор-насосів та мотор-компресорів електровозів серії ВЛ-80^{Т, К}.

© Гулак С. О., Єрмоленко Е. К., Усватов М. О., Черних Ю. М., 2016

Доцільно розробити модель узагальненої асинхронної машини для вивчення та дослідження динамічних параметрів машини. Для цього треба вибрати систему квазікоординат, в яких буде математично описана математична модель узагальненої асинхронної машини та алгоритм переходу від істинних координат до квазікоординат.

Крім того, низка параметрів асинхронного двигуна, які необхідні для побудови математичної асинхронного двигуна досить складно виміряти безпосередньо на електро-возі, а в процесі експлуатації ці параметри відійшли від номінальних (паспортних) даних. Для їх визначення слід визначити динамічні змінні узагальненої асинхронної машини, а потім розробити методику визначення цих параметрів.

В даній статті буде розглядатись математична модель узагальненої асинхронної машини та визначення її динамічних змінних за умови, що обмотки асинхронної машини симетричні, а напруга живлення – синусоїдальна.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проведено аналіз систем квазікоординат, в яких описується робота узагальненої асинхронної машини, розглянуто вимоги для побудови фізичної моделі узагальненої машини [2,3,4].

Визначені динамічні змінні, необхідні для реалізації фізичної моделі узагальненої асинхронної машини.

Мета статті. Розглянути можливість переходу багатофазної асинхронної машини до двофазної моделі узагальненої асинхронної машини, перехід від істинних координат, в яких описується робота реальної машини до квазікоординат з метою побудови математичної моделі для дослідження динамічних режимів роботи асинхронних двигунів допоміжного приводу електро-возів серій ВЛ-80^{т,к}. Визначити динамічні змінні узагальненої асинхронної машини, необхідні для реалізації фізичної моделі.

Виклад основного матеріалу дослідження. На електро-возах серії ВЛ80 як допоміжні машини використовуються трифазні асинхронні двигуни з коротозамкненим ротором, які живляться від машинного перетворювача – розчіплювача фаз. Для дослідження динамічних режимів роботи слід побудувати математичну модель вказаного приводу і, зокрема, вказаних перетворювачів електричної енергії.

У статті основна увага буде приділена двофазним машинам. Особливу увагу слід приділити перетворенню енергії і, відповідно, створенню в машинах обертового моменту. Нижче буде показано, що з метою аналізу явищ, що виникають із створенням обертового моменту, будь-яка машина незалежно від числа фаз на статорі і роторі може бути приведена до двофазної машини. Таким чином, для ілюстрації основних положень теорії використовується найпростіший пристрій – двофазна машина.

У загальному випадку електрична машина складається з двох груп обмоток або катушок, одна з яких може обертатись відносно іншої.

Відносний рух двох груп катушок обмежений одним ступенем свободи, причому в більшості випадків можливим є обертовий рух. Відповідно буде розглядатись досить загальний тип обертових машин, що називається узагальненим обертовим електромеханічним перетворювачем електроенергії електромагнітного типу, або простіше, узагальненою машиною. Ця машина складається з двох концентричних циліндрів з яскраво вираженими магнітними полюсами на одному з них. На кожній з магнітних поверхонь розташовані два синусоїдальних шара зсунутих відносно один одного на 90 електричних градусів. Подібна геометрична конфігурація характерна для більшості електричних машин і тому ця модель буде використана для отримання характеристик, що описують динаміку електричних машин.

Розгляд електричних машин в статті ґрунтується на фундаментальному припущенні, що машини можуть бути зображені системами лінійних ланцюгів із зосередженими параметрами, які рухаються одна відносно одній. Оскільки два елементи електричної машини (статор – нерухомий елемент, ротор – елемент, що обертається) перебувають у відносному русі, виникає питання про вибір доцільної системи координат для запису

рівнянь руху. Існує деяка свобода вибору координатної системи для вивчення будь-яких специфічних пристроїв, і цей вибір за звичай диктується конкретною задачею і бажаною формою рівнянь руху. При виборі функції Лагранжа для запису рівнянь руху слід використовувати істинні координати. Рівняння руху узагальненої машини будуть виведені в системі істинних координат, після чого ці рівняння будуть зображені в інших системах істинних координат, а також в системі квазікоординат.

Електромеханічні перетворення енергії в перетворювачах електромагнітного типу здійснюється завдяки перетворенням зміни запасу магнітної енергії при зміні механічного положення. В системах з однією струмонесучою котушкою ця зміна запасеної енергії викликається зміною картини магнітного поля в процесі механічного руху. Якщо при зміні положення конфігурація магнітного поля не змінюється, повинна існувати зміна у відносному положенні двох або більше струмонесучих котушок. Таким чином, можна побудувати електромеханічні перетворювачі енергії з однією або декількома струмонесучими котушками, що живляться від одного або декількох незалежних джерел.

На практиці використовують різні способи побудови електричних машин, один з яких зображений на рис. 1 [1]. Машина, що розглядається, складається з чотирьох груп зосереджених котушок (показано по одній котушці на групу), які називаються фазовими зонами. Дві з цих фазних зон розташовуються в пазах нерухої магнітної системи, що називається статором, дві інші – в пазах магнітної системи, яка обертається – називається ротором. Для задач аналізу грані магнітної системи і обмотки фаз показаних на рис. 1 зосередженими будуть зображені в вигляді неперервної структури, зображеної на рис. 2 [1]. Тут фазовими зонами є синусоїдально розподілені провідні шари, а виступи полюсів статора зображені радіальною провідністю, яка змінюється в функції кута.

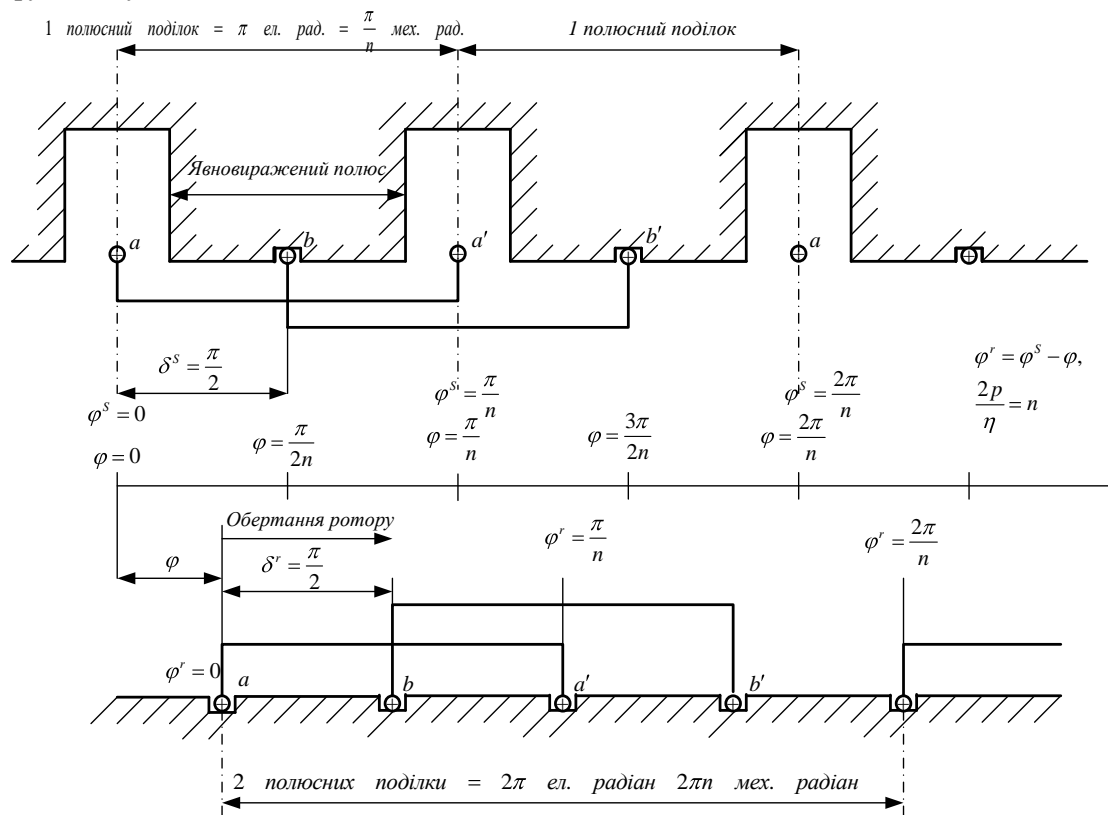


Рис. 1. Явнополюсна машина, що має дві осі і $2p$ полюси

Попри те, що фізична модель, зображена на рис. 2, може здатись лише грубим наближенням до структури, зображеної на рис. 1, нижче буде показано, що вона цілком придатна для вивчення динамічних властивостей більшості обертальних машин. Передбачається, що магнітна структура і розташування фазових зон в узагальненій фізичній моделі (рис. 2) має задовольняти таким умовам [1]:

1. Електричний просторовий кут $\varphi_{ел}$ і механічний просторовий кут φ зв'язані співвідношенням:

$$\varphi_{ел} = p \cdot \varphi = n \cdot \varphi \quad (1)$$

де $\varphi_{ел}$ – кут в електричних просторових радіанах;

φ – кут в механічних просторових радіанах;

p – число пар полюсів машини;

n – число періодів просторового розподілу струмового шару.

Полюс може бути визначений як область, в якій існує радіальний магнітний потік одного напрямку, або як півперіод синусоїдального струмового шару. Один полюсний поділок дорівнює одній фазовій зоні і містить π електричних просторових радіан. Кількість полюсів повинне виражатись парними числами; кожна пара полюсів складається з одного південного і одного північного полюсу.

2. На кожен полюс припадає дві фазні зони на статорі і дві на роторі (у відповідно до числа фаз машини). Передбачається, що фазна зона створює густину струму, синусоїдально розподілену в просторі. Синусоїдально розподілений струмовий шар створюється, якщо витки в фазній зоні синусоїдально розподілені в просторі і поділок складає π електричних просторових радіан. Передбачається, що в узагальненій моделі витки синусоїдально розподілені в просторі, так що струм i , підведений до затискачів фазної зони, створює поверхневу густину струму $K \varphi = i \cdot Z \cdot \cos n \cdot \varphi$.

3. Фазні зони як статора, так і ротора зсунуті, зміщені в просторі на 90 електричних градусів тобто, магнітні осі фазних зон зсунуті на $\frac{\pi}{2}$ електричних радіан, або на

$\frac{\pi}{2n}$ механічних радіан.

4. Повітряний зазор є областю простору між магнітними системами статора і ротора. Передбачається, що одна сторона повітряного проміжку є магнітно «гладкою», а інша має магнітну нерівномірність (полюсні виступи), що періодично повторюються через π електричних просторових радіан, або через $\frac{\pi}{2}$ механічних радіан.

5. Як витікає з попередньої умови, не розглядається така магнітна нерівномірність в повітряному проміжку, що створюється пазами, які використовуються в реальних машинах для розміщення обмоток. Це не виключає магнітні рівномірності на одній із сторін повітряного проміжку, що повторюється через кожні π електричних просторових радіан, оскільки ця нерівномірність, характерна для явнополюсних машин, не протирічить умові 4.

6. При визначенні напруженості в явнополюсних машинах повітряний проміжок буде передбачатись рівномірним, що має величину g , яка дорівнює середній величині повітряного проміжку для явнополюсної структури. Нерівномірність повітряного проміжку буде тоді враховуватись в ідеалізованій моделі за допомогою радіальної магнітної проникності, що змінюється в просторі:

$$\mu_{рад} = \mu - \mu_2 \cdot \cos 2 \cdot \pi \cdot \varphi^s \quad (2)$$

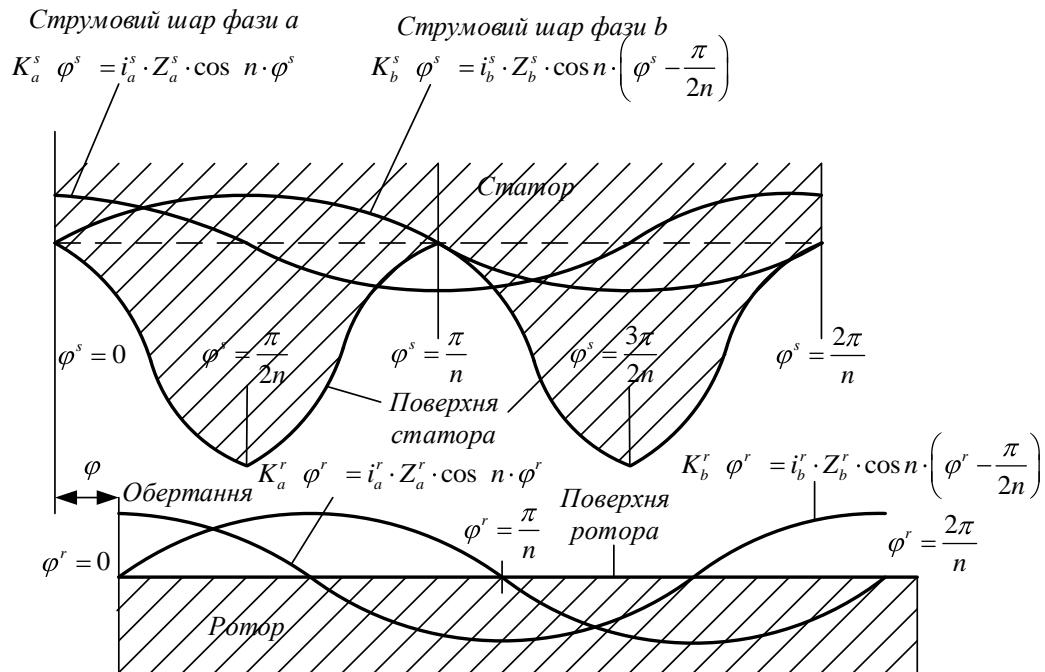


Рис. 2. Струміві шари, створені синусоїдально розподіленими котушками в узагальненій машині. $\varphi^r = \varphi^s - \varphi$; $\mu_{рад} = \mu - \mu_2 \cdot \cos 2 \cdot \pi \cdot \varphi^s$

7. Передбачається, що фазні зони зв'язані з колекторами або контактними кільцями і всі їх параметри та живлення будуть визначатись відносно затискачів, нерухомих відносно відповідного елемента магнітної системи. Таким чином затискачі фазних зон ротора нерухомі в просторі відносно ротора, але обертаються в просторі відносно статора.

8. Є рівна кількість витків в кожній із двох фазних зон, розташованих на статорі. Роторні фазні зони мають також однакову кількість витків.

9. Магнітний матеріал ротора і статора має лінійну характеристику намагнічування з дуже високою магнітною проникністю. Передбачається, що насичення відсутнє. Це припущення робить всі зосереджені електричні параметри незалежними від електричних змінних, але параметри можуть бути функціями механічних змінних.

10. Запасена електрична енергія, що використовується для опису машини, розглядається лише як енергія поля нульового порядку або енергія статичного магнітного поля. Енергією електростатичного поля нехтують, що дозволяє не враховувати вплив ємностей всередині обмоток і між ними. Всі електричні поля, які створюються зміною в часі магнітних полів або відносним рухом в магнітному полі, не входять в енергетичну функцію, що описує систему. Ці електричні поля з'являються при виведенні рівнянь руху з енергетичної функції системи, записаної для енергії магнітного поля.

Фізичні процеси в узагальненій машині повинні описуватись за допомогою еквівалентних параметрів таких як опори та індуктивності відносно чотирьох пар електричних затискачів, в'язке демпфірування, жорсткість і інерція відносно пари механічних

затискачів. Щоб встановити ці параметри, необхідно чітко визначити змінні, які будуть використовуватись для опису руху узагальненої машини. Вибравши еквівалентну схему узагальненої машини, наведену на рис. 3 [2], в якій електричними змінними є чотири струми в котушках, а механічною змінною є положення валу, можна визначити всі координати і швидкості системи. Узагальнені координати і швидкості узагальненої машини, що має п'ять пар затискачів чотири електричних і одну механічну, наведені в табл. 1.

Змінні, наведені в табл. 1, включають узагальнені координати, швидкості, сили та імпульси. Лише дві із цих чотирьох змінних q, \dot{q}, p, f можуть бути вибрані як незалежні змінні, що застосовуються для опису узагальненої машини.

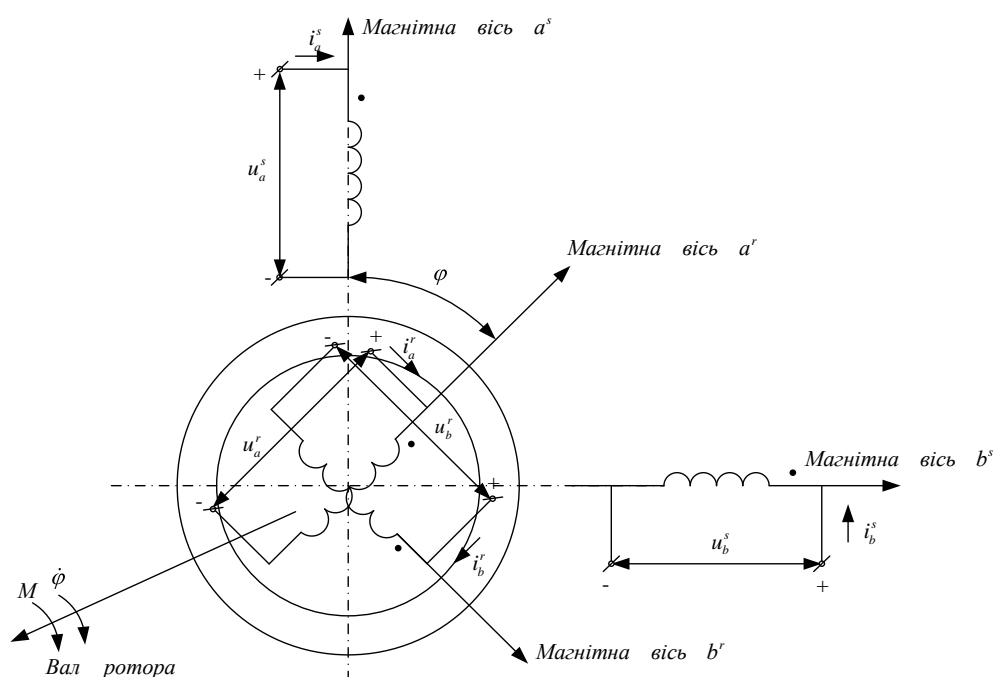


Рис. 3. Схематичне зображення двовісної двополюсної машини

Нижче як незалежні динамічні змінні вибирають узагальнені координати q_k і узагальнені швидкості \dot{q}_k . Цей вибір зручний при використанні лагранжіана для виведення рівнянь руху. Залежні змінні (у випадку, що розглядається, узагальнені сили f_k та узагальнені імпульси p_k) повинні бути вираженими через вибрані незалежні змінні. Для узагальненої машини це означає, що чотири потокощеплення $\psi_a^s, \psi_b^s, \psi_a^r, \psi_b^r$, механічний імпульс p_ϕ і механічна сила f_ϕ повинні бути виражені через незалежні змінні $i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \phi, \dot{\phi}$. Механічний імпульс p_ϕ і сила f_ϕ є функціями лише механічної координати ϕ і можуть бути виражені через момент інерції ротора J і жорсткість системи K таким чином:

$$p_\phi = J \cdot \dot{\phi} \tag{3}$$

$$f_{\varphi} = K \cdot \varphi \quad (4)$$

Таблиця 1. Узагальнені координати і швидкості узагальненої машини, що має п'ять пар затискачів, чотири електричних і одну механічну

	Електричні				Механічні
	Статор		Ротор		Ротор
	$k = 1$	$k = 2$	$k = 3$	$k = 4$	$k = 5$
Консервативні змінні q_k					φ
\dot{q}_k	i_a^s	i_b^s	i_a^r	i_b^r	$\dot{\varphi}$
p_k	ψ_a^s	ψ_b^s	ψ_a^r	ψ_b^r	p_{φ}
f_k					f_{φ}
Неконсервативні змінні	u_a^s	u_b^s	u_a^r	u_b^r	M
В'язке тертя	R_{aa}^{ss}	R_{bb}^{ss}	R_{aa}^{rr}	R_{bb}^{rr}	α

Залежність електричних імпульсів (тобто, потокощеплень $\psi_a^s, \psi_b^s, \psi_a^r, \psi_b^r$) від узагальнених координат і швидкостей q_k та \dot{q}_k може бути знайдена при вираженні цих імпульсів як функцій струмів і індуктивностей. Нижче буде показано, що індуктивності є функціями механічної координати φ . Вирази для потокощеплень при використанні різних власних і взаємних індуктивностей, що вимірюються відносно чотирьох електричних затискачів, мають вигляд:

$$\begin{aligned} \psi_a^s i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \varphi &= L_{aa}^{ss} \cdot i_a^s + L_{ab}^{ss} \cdot i_b^s + L_{aa}^{sr} \cdot i_a^r + L_{ab}^{sr} \cdot i_b^r; \\ \psi_b^s i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \varphi &= L_{ba}^{ss} \cdot i_a^s + L_{bb}^{ss} \cdot i_b^s + L_{ba}^{sr} \cdot i_a^r + L_{bb}^{sr} \cdot i_b^r; \\ \psi_a^r i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \varphi &= L_{aa}^{rs} \cdot i_a^s + L_{ab}^{rs} \cdot i_b^s + L_{aa}^{rr} \cdot i_a^r + L_{ab}^{rr} \cdot i_b^r; \\ \psi_b^r i_a^s, i_b^s, i_a^r, i_b^r, \varphi &= L_{ba}^{rs} \cdot i_a^s + L_{bb}^{rs} \cdot i_b^s + L_{ba}^{rr} \cdot i_a^r + L_{bb}^{rr} \cdot i_b^r \end{aligned} \quad (4)$$

Індуктивності $L_{aa}^{sr}, L_{ab}^{sr}, \dots$ і т.д. не є постійними, і залежність цих індуктивностей від незалежних змінних (у випадку, що розглядається, від механічного положення φ) повинна бути визначена до кінцевого вираження залежних змінних. Велика кількість змінних, необхідна для опису узагальненої машини, призводить до складних і громіздких аналітичних виразів. Для часткового спрощення задачі буде застосована матрична форма запису. Всі змінні будуть виражені в матричній формі до того часу, поки не буде визначена залежність індуктивностей від φ .

У даному викладенні використовуються такі матричні позначення. Повна матриця для всієї узагальненої машини позначається відповідною буквою без індексів, укладена в квадратні дужки R . Матриця для частини машини, наприклад, для електричної частини, позначається так само, але буква має відповідні верхні та нижні індекси:

$[R_{ab,ab}^{s,r}]$. Субматриця системи іноді записується у вигляді малої літери з індексами, укладеної між квадратними дужками: $[r_{ab}^s]$.

Окремі елементи матриць, що складені із параметрів, позначаються великими літерами, а матриць, складених із змінних – малими літерами з індексами в обох випадках. Верхній індекс при змінній позначає частину магнітної системи, до якої належить змінна: s для статора і r для ротора, нижніми літерами a або b позначаються відповідні обмотки. Наприклад, i_a^r – струм ротора, що протікає в обмотці a . Індокси при параметрах мають той самий сенс, наприклад, взаємна індуктивність L_{ab}^{rs} визначає напругу, наведену в котушці a ротора при зміні струму в обмотці b статора. У випадку матриць, що складені із параметрів, застосовуються подвійні нижні індекси (наприклад $[L_{ab,ab}^{s,r}]$). В цьому записі символ ab безпосередньо під символом s вказує, що статорні величини виражені через струми в котушках; подібний же сенс мають позначення, які належать до роторних величин. Надалі координатні системи будуть змінені. Наприклад, роторні величини можуть бути визначені через змінні dq ; в цьому випадку матриця взаємної індуктивності запишеться як $[L_{ab,dq}^{s,r}]$.

Незалежні узагальнені координати і швидкості:

$$q = \begin{bmatrix} q_a^s \\ q_b^s \\ q_a^r \\ q_b^r \\ q_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \\ \varphi \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{q}_a^s \\ \dot{q}_b^s \\ \dot{q}_a^r \\ \dot{q}_b^r \\ \dot{q}_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{i}_a^s \\ \dot{i}_b^s \\ \dot{i}_a^r \\ \dot{i}_b^r \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \dot{i}_{ab,ab}^{s,r} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} \quad (6)$$

Матриці, складені з параметрів:

$$R = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{aa}^{ss} & 0 \\ 0 & R_{aa}^{ss} \end{bmatrix} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \begin{bmatrix} R_{aa}^{rr} & 0 \\ 0 & R_{aa}^{rr} \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} r_{ab}^s \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} & 0 & 0 \\ 0 & \begin{bmatrix} r_{ab}^s \\ 0 \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & 0 & \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{ab,ab}^{s,r} \\ 0 \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$L = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{aa}^{ss} & L_{ab}^{ss} \\ L_{ba}^{ss} & L_{bb}^{ss} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} L_{aa}^{sr} & L_{ab}^{sr} \\ L_{ba}^{sr} & L_{bb}^{sr} \end{bmatrix} & 0 \\ \begin{bmatrix} L_{aa}^{rs} & L_{ab}^{rs} \\ L_{ba}^{rs} & L_{bb}^{rs} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} L_{aa}^{rr} & L_{ab}^{rr} \\ L_{ba}^{rr} & L_{bb}^{rr} \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & 0 & J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} l_{ab}^s \\ l_{ab,ab}^{r,s} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} l_{ab,ab}^{s,r} \\ l_{ab}^r \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & 0 & J \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{ab,ab}^{s,r} \\ 0 \end{bmatrix} & 0 \\ 0 & J \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & K \end{bmatrix} \quad (9)$$

Залежні узагальнені сили та імпульси

$$F = \begin{bmatrix} f_a^s \\ f_b^s \\ f_a^r \\ f_b^r \\ f_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \\ \\ \\ \\ K_\varphi \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$P = \begin{bmatrix} p_a^s \\ p_b^s \\ p_a^r \\ p_b^r \\ p_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi_a^s \\ \psi_b^s \\ \psi_a^r \\ \psi_b^r \\ J \cdot \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} \psi_{ab,ab}^{s,r} \end{bmatrix} \\ J \cdot \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} L_{ab,ab}^{s,r} & 0 \\ 0 & J \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \dot{i}_{ab,ab}^{s,r} \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \quad (11)$$

Неконсервативні сили:

$$Q = \begin{bmatrix} Q_a^s \\ Q_b^s \\ Q_a^r \\ Q_b^r \\ Q_\varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_a^s \\ u_b^s \\ u_a^r \\ u_b^r \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_{ab,ab}^{s,r} \\ M \end{bmatrix} \quad (12)$$

Висновки та пропозиції

1. Розглянуто можливість переходу від реальної багатополусної асинхронної машини до узагальненої двополусної асинхронної машини з метою вивчення та дослідження динамічних процесів в асинхронному двигуні.
2. Розроблені вимоги до магнітної структури і розташування фазних зон в узагальненій фізичній моделі асинхронного двигуна.
3. Визначені динамічні змінні, необхідні для побудови моделі узагальненої асинхронної машини.

ЛІТЕРАТУРА

1. Уайт Д., Вудсон Г. Электромеханическое преобразование энергии. – М.: Энергия, 1964. – 528 с.
2. Проектирование электрических машин под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 1980.- 495 с.
3. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: Учеб. для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2001. – 327 с.
4. Пустосветов М., Солтус К., Снявский И. Компьютерное моделирование асинхронных двигателей и трансформаторов. Примеры взаимодействия с силовыми электронными преобразователями. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 199 с.

Sergey Goolak

(Senior Lecturer Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Edward Yermolenko

(Post Graduate of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Mark Usvatov

(Senior Lecturer Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

Yuriy Chernyh, PhD (Technical Sciences), Associate Professor

(Professor of Traction Rolling Stock of Railways Chair of State University for Transport Economy and Technologies)

DETERMINATION OF GENERALIZED DYNAMIC VARIABLE INDUCTION MOTOR

The article reviewed and researched the choice of coordinates when simulating induction motor, the transition from the true coordinates to kvazikoordynat shown adequacy image multiphase machine with a two-phase generalized and reverse transition from generalized two-phase machine to multiphase developed physical and mathematical models of generalized asynchronous motor with a view study of dynamic processes in asynchronous motor. Developed requirements for the magnetic structure and location of the zones in the

generalized phase physical model of induction motor. Definition of dynamic variables generalized asynchronous electric machine. Dynamic variables classified as conservative and non-conservative. Given the mathematical definition of dynamic parameters of generalized asynchronous machine. The article adopted restrictions – motor windings symmetrical voltage – sinusoidal. This article is the basis for the further definition of dynamic variables in the environment where the motor winding – asymmetrical, and voltage – not sinusoidal.

Keywords: *generalized asynchronous machine yavnopolyusna machine, generalized physical model cars, phase zone current layers, dynamic variables generalized machine structure generalized machine variables conservative, non-conservative variables.*

REFERENCES

1. D.Wait, G.Woodson. Electromekhanicheskiye preobrazovateli energiyi. – M.: Energiya, 1964, 528 pp.
2. Proectirovaniye elektricheskikh mashin pod red. Kopylova I.P. – M.: Energiya, 1980, 495 pp.
3. Kopylov I.P. Matematicheskoye modelirovaniye elektricheskikh mashin; Ucheb. Pos. dlya vuzov. – 3-ye izd, pererab I dop. – M.: Vyssh. shk., 2001, 327 pp.
4. Pustosvyetov M., Soltus K., Senyavskiy I. Computernoye modelirovaniye asinhronnykh dvigateley I transformatorov. Primery vzaimodeistvia s silovymi electronnymi preobrazovatelyami. – LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013, 199 pp.