

Висновки

Методами комп'ютерного симулювання за допомогою квазіеталонних моделей трансформатора можливо з високою адекватністю обчислити гармонічний склад струмів збудження трансформатора. Отримані результати можна використовувати для трансформаторів інших потужностей, бо вони зведені до номінального струму. Гармонічний склад струму збудження трансформатора можна використовувати для обчислення розповсюдження гармонік в електричній мережі та виявляти можливі резонансні явища.

1. Васютинский С.Б. *Вопросы теории и расчета трансформаторов*. – Л., 1970. – 432 с.
2. Лейтес Л.В. *Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов*. – М., 1981. – 392 с.
3. Либкин М.С. *Высшие гармоники, генерируемые трансформаторами*. – М., 1962. – 104 с.
4. Перхач В.С. и др. *Уравнения электромагнитного состояния трансформатора с насыщенным магнитопроводом и их решение // Теоретическая электротехника*. – 1974. – Вып. 17. – С. 60–67.
5. Шелепеть Т.М. *Обчислення інтегральних параметрів електромагнетних апаратів з допомогою цифрових моделей // Технічна електродинаміка*. – 1998. – Спец. випуск. – С. 169–172.
6. Варецький Ю.О. *Вибір параметрів фільтрових реакторів // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка"*. – 2000. – № 400. – С. 3–10.

УДК 621.313.2:536.755

І.З. Щур, Л.Д. Костинюк, А.Р. Когут

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електропривода і автоматизації промислових установок

ЕЛЕКТРОПРИВІД ЗА СИСТЕМОЮ “ДЖЕРЕЛО СТРУМУ – ДВИГУН ПОСТІЙНОГО СТРУМУ” ЯК ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЕНЕРГІЇ

© Щур І.З., Костинюк Л.Д., Когут А.Р., 2003

Вперше описано і досліджено електропривід з двигуном постійного струму, який живиться від джерела струму, як термодинамічний перетворювач енергії, що дало можливість отримати низку універсальних аналітичних і графічних залежностей між основними параметрами і показниками електропривода у відносних одиницях.

It is for the first time that the electric drivers with direct current motor supplying from the current sours as thermodynamic energy converters were described and researched mathematically as a result of which there appeared an opportunity to obtain a series of universal analytical and graphic dependencies between major parameters and indicators of the electric driver in relative units.

Постановка проблеми

Електроприводи постійного струму, виконані за системою “джерело струму – двигун постійного струму” (ДС-ДПС), дають можливість простими засобами по одному малопотужному каналу (обмотці збудження машини) формувати різноманітні механічні характеристики. При цьому електропривід відзначається широким діапазоном регулювання

швидкості (вверх і вниз від номінальної), високими енергетичними показниками у всьому діапазоні, доброю керованістю, простотою і надійністю [1]. Особливо високим відношенням “техніко-експлуатаційні показники / простота і вартість” електроприводи з некерованими ДС, побудованими на базі резонансних індуктивно-ємнісних перетворювачів [2], причому від одного перетворювача вигідно жити два і більше двигунів у багатодвигунному приводі [1]. Останнім часом ДПС малої і середньої потужності часто виготовляють зі збудженням від постійних магнітів. Керування параметрами електропривода при живленні такого ДПС від некерованого ДС можливе лише резистивним або резистивно-імпульсним способами. При цьому постає необхідність в ефективному математичному моделюванні та визначенні оптимальних режимів роботи таких електроприводів.

Аналіз останніх досліджень

Завданням електропривода є перетворення електричної енергії у механічну з певними заданими статичними і динамічними показниками. Отже, електропривід можна розглядати як перетворювач енергії і, оскільки він є реальним, то значить і нерівноважним. Тому для аналізу електроприводів доцільно використати підходи термодинаміки нерівноважних процесів [3]. Останнім часом на кафедрі електропривода та автоматизації промислових установок НУ "Львівська політехніка" розробляється цей новий метод, зокрема успішно проведені дослідження та отримані нові універсальні результати для ДПС незалежного та послідовного збудження, які живляться від джерела напруги [4, 5].

Задачі досліджень

Розглянути силову частину електропривода за системою ДС-ДПС як термодинамічний перетворювач електричної енергії у механічну і отримати аналітичні залежності, що характеризують ефективність його роботи.

Виклад основного матеріалу

Будь-який перетворювач енергії можна описати лінійними рівняннями [6]:

$$\begin{cases} J_1 = L_{11}X_1 + L_{12}X_2 \\ J_2 = L_{21}X_1 + L_{22}X_2 \end{cases} \quad (1)$$

де J_1, J_2 – відповідно вхідний і вихідний лотоки; X_1, X_2 – вхідна і вихідна сили; L_{jk} – “феноменологічні” коефіцієнти, причому, згідно зі співвідношеннями Онзагера, $L_{jk} = L_{kj}$.

Для досліджуваного електропривода, силова схема якого показала на рис. 1, логічно вибирати вхідні параметри $X_1 = I_{дс}$, $J_1 = U$, а вихідні $X_2 = M$, $J_2 = \omega$, де $I_{дс}$ – вихідний струм ДС; U – напруга на виході ДС; M – момент, що розвиває ДПС; ω – кутова швидкість двигуна. Записавши відомі співвідношення між параметрами схеми, не важко показати, що

$$\begin{cases} U = R_{ш} I_{дс} - \frac{R_{ш}}{k\Phi} M \\ -\omega = -\frac{R_{ш}}{k\Phi} I_{дс} + \frac{R_{ш} + R_{п} + R_{я}}{(k\Phi)^2} M \end{cases} \quad (2)$$

де $R_{я}$ – опір якоря ДПС; k – конструктивний коефіцієнт; Φ – магнітний потік.

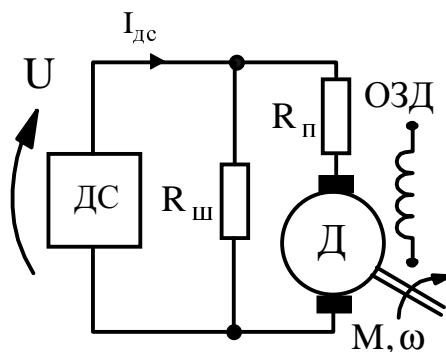


Рис. 1. Силова схема електропривода за системою ДС-ДПС

Для отримання універсальних результатів вигідно записати систему рівнянь (2) у відносних одиницях

$$\begin{cases} U^* = R_{ш}^* I_{дс}^* - \frac{R_{ш}^*}{\Phi^*} M^* \\ -\omega^* = -\frac{R_{ш}^*}{\Phi^*} I_{дс}^* + \frac{R_{п}^* + R_{ш}^* + R_{я}^*}{(\Phi^*)^2} M^* \end{cases} \quad (3)$$

де

$$R_{п}^* = \frac{R_{п}}{R_{н}}; \quad R_{я}^* = \frac{R_{я}}{R_{н}}; \quad R_{ш}^* = \frac{R_{ш}}{R_{н}}; \quad R_{н} = \frac{U_{н}}{I_{н}};$$

$U_{н}, I_{н}, M_{н}, \Phi_{н}$ – номінальні значення напруги живлення, струму, моменту і потоку збудження ДПС.

Шляхом зіставлення систем рівнянь (1) і (3) знаходяться основні параметри термодинамічного перетворювача енергії [6]:

- ступінь спряження

$$q = \frac{L_{12}}{\sqrt{L_{11}L_{22}}} = -\left(1 + \frac{R_{п}^* + R_{я}^*}{R_{ш}^*}\right)^{-1/2}; \quad (4)$$

- феноменологічна стехіометрія

$$Z = \sqrt{\frac{L_{22}}{L_{11}}} = \sqrt{1 + \frac{R_{п}^* + R_{я}^*}{R_{ш}^*}} = -\frac{1}{q}; \quad (5)$$

- відношення сил

$$\chi = \frac{X_2}{X_1} = \frac{M^*}{I_{дс}^*}. \quad (6)$$

Через визначені параметри (5)–(7) будь-який термодинамічний перетворювач енергії можна охарактеризувати такими універсальними залежностями, графіки яких наведені в [4–6]:

- нормований вихідний потік

$$j_o = -\frac{J_2}{ZL_{11}X_1} = -(Z\chi) - q; \quad (7)$$

- нормоване відношення вихідного потоку до вхідного

$$j = -\frac{J_2}{ZJ_1} = -\frac{(Z\chi)+q}{q(Z\chi)+1}; \quad (8)$$

- термодинамічна ефективність перетворення вільної енергії

$$\eta = -\frac{J_2 X_2}{J_1 X_1} = -(Z\chi) \frac{(Z\chi)+q}{q(Z\chi)+1}; \quad (9)$$

- нормована вихідна потужність

$$p = -\frac{J_2 X_2}{L_{11} X_1^2} = -[(Z\chi)+q](Z\chi). \quad (10)$$

Використовуючи побудовану математичну модель електромеханічного перетворювача енергії за системою ДС-ДПС (3)–(10), визначимо його основні параметри і показники, які мають практичне значення.

1. Момент короткого замикання $M_{к.з}^*$

Режимові короткого замикання відповідає умова рівності нулю вихідного потоку $J_2 = 0$. З рівняння (7) отримуємо тотожну умову $Z\chi = -q$. Звідси, враховуючи значення параметрів (5) і (6), отримуємо

$$M_{к.з}^* = I_{дс}^* \Phi^* q^2.$$

2. Швидкість ідеального неробочого ходу ω_o^*

При ідеальному неробочому ході $Z\chi = 0$, тому з рівняння (7) нормований вихідний потік дорівнює $j_o = -q$. При цьому реальне значення вихідного потоку з цього ж рівняння становить

$$\omega_o^* = ZL_{11} X_1 q = R_{ш}^* I_{дс}^* / \Phi^*.$$

3. Параметри, що відповідають максимальній швидкості в режимі двигуна

Цьому режимові відповідає умова $\omega_{\max}^* \Phi^* / I_{дс}^* = 1$. У даній точці двигун працюватиме з максимальною швидкістю і розвиватиме мінімальний момент, які з другого рівняння системи (2) відповідно дорівнюють:

$$\omega_{\max}^* = \frac{I_{дс}^*}{\Phi^*}; \quad M_{\min}^* = \Phi^* I_{дс}^* q^2 \left(1 - \frac{1}{R_{ш}^*} \right).$$

Максимальна напруга на виході ДС у цьому випадку становитиме

$$U_{\max}^* = I_{дс}^* \left[R_{ш}^* - q^2 (R_{ш}^* - 1) \right].$$

4. Максимальний гальмівний момент у режимі противмикання при нереверсивному ДС

Другою крайньою точкою при живленні від ДС, у якому не передбачено інверторного режиму, є максимальний гальмівний момент у режимі противмикання. Цій точці відповідає умова $U^* = 0$, враховуючи яку, отримуємо $M_{\max}^* = \Phi^* I_{дс}^*$. При цьому максимальна швидкість гальмування становитиме

$$\omega_{\max.г}^* = -\frac{I_{дс}^*}{\Phi^*} R_{ш}^* \left(\frac{1}{q^2} - 1 \right).$$

5. Режим максимальної енергетичної ефективності

У цьому режимі електропривід характеризується мінімальними енергетичними втратами в опорах схеми і описується рівнянням (9). Для оптимальної точки справедливі залежності [6]

$$(Z\chi)_{\text{opt.}\eta} = -\frac{q}{1+\sqrt{1-q^2}}; \quad \eta_{\text{max}} = (Z\chi)_{\text{opt.}\eta}^2,$$

зважаючи на які, отримуємо координати цієї точки

$$\frac{M^*}{I_{\text{дс}}^* \Phi^*} = \frac{q^2}{1+\sqrt{1-q^2}}; \quad \frac{\omega^* \Phi^*}{I_{\text{дс}}^*} = R_{\text{ш}}^* \left(1 - \frac{1}{1+\sqrt{1-q^2}} \right).$$

6. Режим максимальної вихідної потужності

У цьому режимі електропривід характеризується максимальним добутком $M^* \omega^*$ і описується рівнянням (10). Для оптимальної точки справедливі залежності [6]

$$(Z\chi)_{\text{opt.}p} = -\frac{q}{2}; \quad P_{\text{max}} = \frac{q^2}{4},$$

враховуючи які, отримуємо координати цієї точки

$$\frac{M^*}{I_{\text{дс}}^* \Phi^*} = \frac{q^2}{2}; \quad \frac{\omega^* \Phi^*}{I_{\text{дс}}^*} = \frac{R_{\text{ш}}^*}{2}.$$

Механічна характеристика електропривода за системою ДС-ДПС (рис. 1) з нанесеними точками, що відповідають отриманим вище результатам, показана на рис. 2.

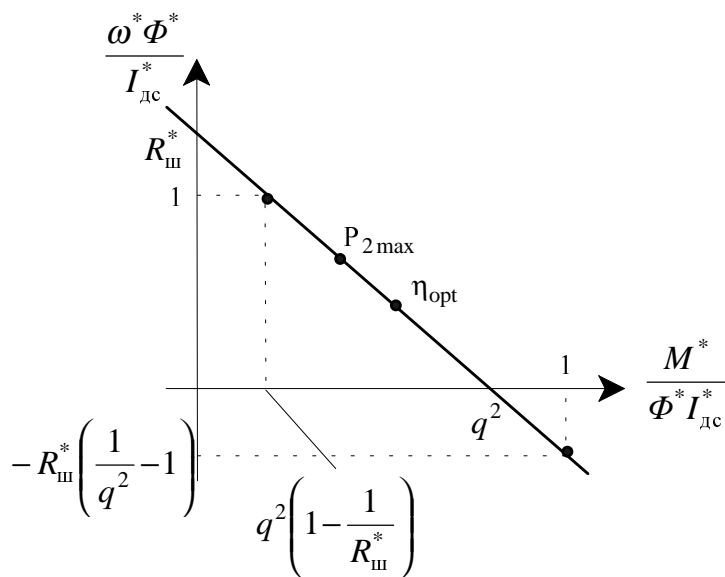


Рис. 2. Механічна характеристика електропривода за системою ДС-ДПС з нанесеними характерними точками

Висновки

Отже, на основі теорії термодинаміки нерівноважних процесів отримані загальні вирази у відносних одиницях основних параметрів електропривода за системою ДС-ДПС, що відповідають низці критеріїв ефективності роботи. Аналогічно можна сформулювати також інші, в тому числі й комбіновані критерії ефективності функціонування такого електропривода. Дані результати є внеском у розробку термодинамічної теорії нерівноважних електромеханічних перетворювачів і завершують термодинамічний аналіз статичних режимів силових схем на базі ДПС.

1. Ильинский Н.Ф. *Электроприводы постоянного тока с управляемым моментом.* – М., 1981. – 144 с. 2. Милях А.Н., Волков И.В. *Системы неизменного тока на основе индуктивно-емкостных преобразователей.* – К., 1974. – 216 с. 3. Эткин В.А. *Термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии.* – Саратов, 1991. – 156 с. 4. Щур І.З. Застосування підходів нерівноважної термодинаміки для аналізу енергетичної ефективності електроприводів постійного струму // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2002. – № 452. – С. 95–100. 5. Щур І.З. Електропривод з двигуном постійного струму послідовного збудження як термодинамічний перетворювач енергії // *Вісн. Нац. ун-ту “Львівська політехніка”.* – 2002. – № 449. – С. 204–212. 6. Вестерхоф Х., ван Дам К. *Термодинамика и регуляция превращений свободной энергии в биосистемах: Пер. с англ.* – М., 1992. – 686 с.

УДК 621.314

М.А. Яцун, А.М. Яцун, В.М. Ігнатюк, М.М. Євсюк
 Національний університет “Львівська політехніка”,
 кафедра електричних машин і апаратів,
 Луцький державний технічний університет,
 кафедра теоретичної та загальної електротехніки

МОДУЛЯЦІЯ СТРУМІВ В ОБМОТЦІ СТАТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ЗА НАЯВНОСТІ ДЕФЕКТУ В ОДНОМУ СТРИЖНІ КЛІТКИ РОТОРА

© Яцун М.А., Яцун А.М., Ігнатюк В.М., Євсюк М.М., 2003

Визначені обертові просторові гармоніки магніторушійної сили, додаткові і повні струми в обмотці статора асинхронного двигуна за наявності дефекту у стрижні короткозамкненої клітки ротора.

Are defined the rotate space harmonics of the magnetic driving force, additional and full currents in the stator windings of induction motor when the defect is presented in the squirrel-cage rotor winding bar.

Постановка проблеми

У асинхронних короткозамкнених двигунах при пошкодженні стрижнів клітки ротора під час його обертання виникає модуляція струмів, які споживає із мережі обмотка статора. Для оцінки можливості діагностування технічного стану клітки ротора під час експлуатації