

УДК 621.313

ВИРІВНЮВАННЯ НАВАНТАЖЕННЯ ДВОДВИГУННОГО ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ РУДНИКОВОГО ЕЛЕКТРОВОЗУ ПРИ ПАРАМЕТРИЧНІЙ НЕСИМЕТРІЇ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

*Чорний О.П., д.т.н., проф., Сінчук І.О., асистент, Зерній О.А., асистент
Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського
39614, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20
E-mail: apch@polytech.poltava.ua*

В работе рассмотрены подходы создания систем управления электроприводом переменного тока рудниковых электровозов при параметрической несимметрии асинхронных двигателей. Синтезирована система управления, которая обеспечивает выравнивание нагрузки асинхронных двигателей электропривода при питании их от преобразователя энергии.

Ключевые слова: электропривод, выравнивание нагрузки, параметрическая несимметрия.

The paper presents the approaches to creation of the control system of the AC electric drive of mine electric locomotives at symmetry of stator and rotor parameters. The control system, which secures load smoothing of asynchronous engines of electric drive in case of feed them from the energy transformers, is synthesized.

Key words: electric drive, load smoothing, asymmetry of parameters.

Вступ. Важливим і вимагаючим уваги до себе, як до ланки цілісного технологічного процесу видобування корисних копалин (КК), залишається процес транспортування, оскільки витрати, у тому числі електроенергетичні, при цьому досить великі і багато в чому визначають собівартість, а отже конкурентоспроможність КК як продукту на внутрішньому, так і на зовнішньому енергоринках [1]. На вітчизняному парку рудникових електровозів економічно вигідним представляється корінним чином змінити стратегію модернізації існуючого і визначити напрями створення принципово нового їх типу - використовувати як тяговий асинхронний короткозамкнутий двигун з АН як більш надійний і невибагливий в експлуатації, менших габаритів і вартості, з жорсткою характеристикою, що гарантує високі противобуксовочні властивості локомотива [2, 3].

Аналіз попередніх досліджень. Спроби технологічного розв'язання не вирішують задачу по модернізації рудникового електровозного транспорту. Відомі дослідження і публікації з цього приводу [3, 4], але, як правило, дослідники розглядають дводвигунний електропривод як систему, де двигуни можуть бути замінені на один еквівалентний. Основні зусилля спрямовують на створення систем управління, оптимізації енергетичних показників режимів рушення, гальмування, тощо [3]. Однак при цьому не враховується той факт, що існуючі технології виготовлення і ремонту асинхронних двигунів неминуче приводять до того, що паралельно працюючі АД мають придбану в процесі експлуатації або ремонту параметричну несиметрію ланцюгів статорів, роторів або магнітної системи. В такому випадку робота дводвигунного електроприводу на

рейку, як загальний вал, супроводжується нерівномірним розподілом навантаження, внаслідок чого більш навантажений двигун перегрівається і виходить з ладу [5]. Уникнути даного явища не представляється можливим, оскільки вже в самій технології прийнятно-здавальних операцій на заводі-виробнику або ремонтному підприємстві закладені допуски на відхилення режимних параметрів від номінальних.

Існуючі системи управління як вітчизняними, так і зарубіжними перетворювачами частоти містять тільки стандартний набір захистів і законів управління і не орієнтовані на роботу дводвигунного електроприводу з жорстким зв'язком валів і несиметрією параметрів.

Це дозволяє стверджувати про актуальність виконуваної роботи, присвяченої обґрунтуванню і розробці підходу до створення системи управління для електроенергоекономічного електроприводу змінного струму для рудникових електровозів.

Мета роботи – синтез системи вирівнювання навантаження асинхронних двигунів дводвигунного тягового електроприводу рудникового електровозу при параметричній несиметрії двигунів.

Матеріал і результати дослідження. Спрощена функціональна схема рудникового електровозу дводвигунного тягового електроприводу з АН приведена на рис. 1.

Судячи з рис. 1, уже априорно можна констатувати, що параметрична несиметрія статора, ротора та магнітної системи двигунів приведе до нерівностей їх критичних ковзань, пускових та максимальних моментів.

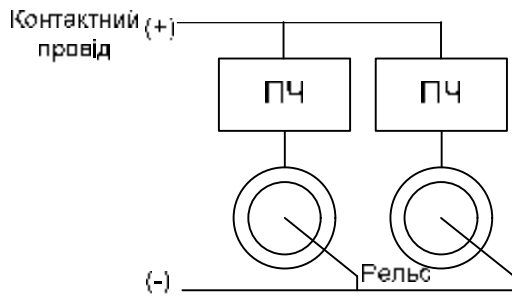


Рисунок 1 – Спрощена функціональна схема дводвигунного тягового електроприводу електровоза з АТН

В статичному режимі нерівномірність навантаження може бути розрахована для кожного з двигунів як:

$$M_1 = \frac{M_{k1}}{s_{k1}} \frac{M_c}{\frac{M_{k1}}{s_{k1}} + \frac{M_{k2}}{s_{k2}}};$$

$$M_2 = \frac{M_{k2}}{s_{k2}} \frac{M_c}{\frac{M_{k1}}{s_{k1}} + \frac{M_{k2}}{s_{k2}}},$$

де M_{k1} , s_{k1} та M_{k2} , s_{k2} критичний момент та критичне ковзання відповідно для першого та другого двигунів, M_c - момент опору.

Для тягового АД електровозу, з каталожними даними, приведеними в табл. 1, виконаний комплекс розрахунків нерівномірності навантаження при параметричній несиметрії статора, ротора, магнітної системи 2-го АД, при цьому 1-й двигун електрично і магнітно симетричний (рис. 2).

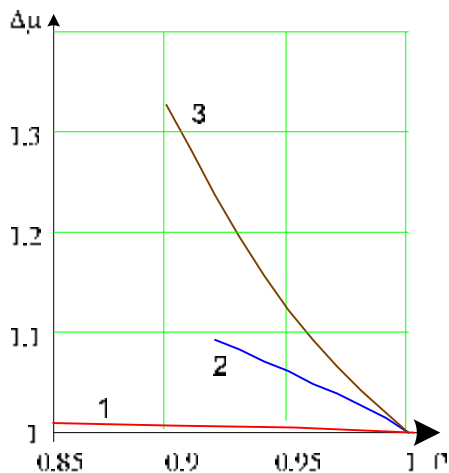


Рисунок 2 – Нерівномірність моментів АД при параметричній несиметрії:

- 1 – несиметрії активних опорів статора;
- 2 – несиметрії активних опорів ротора;
- 3 – несиметрії індуктивностей контуру намагнічення

На рис. 3 $\Delta\mu = f(\rho)$, де ρ - коефіцієнт несимет-

рії: для несиметрії фази стора $\rho = \frac{R_1}{R_{1кат}}$;

для несиметрії фази ротора $\rho = \frac{R'_2}{R'_{2кат}}$;

для несиметрії індуктивності контуру намагнічення $\rho = \frac{L_\mu}{L_{\muкат}}$;

$\Delta\mu = \frac{M - M_c}{M_c}$ - відносне значення нерівномірності навантаження.

Таблиця 2 – Паспортні дані тягових АД

Параметр	Значення
Номинальна потужність, кВт	45
Максимальна напруга, В	250
Максимальні струм, А	180
Число пар полюсів	2
Номинальне ковзання	0,12
Коефіцієнт потужності	0,89
Коефіцієнт корисної дії	0,91
Перевантажувальна здатність	2,5
Кратність пускового струму	6,5
Розрахункові параметри схеми заміщення АД	
Параметр	Значення
Активний опір статора, Ом	0,028512
Приведений активний опір ротора, Ом	0,118791
Критичне ковзання, %	5,75
Індуктивний опір статора, Ом	0,10232
Приведений індуктивний опір ротора, Ом	0,10031
Індуктивний опір контуру намагнічування, Ом	2,40349

Нерівномірність навантаження призводить не тільки до нерівностей моментів і струмів двигунів, а й до втрат в міді статора і ротора, перегріву обмоток та прискореному виходу двигуна з ладу. Наприклад, на рис. 3, 4 показані залежності втрат в міді АД тягового електроприводу, що працює з номінальним навантаженням, при нерівності активних опорів статорів та роторів.

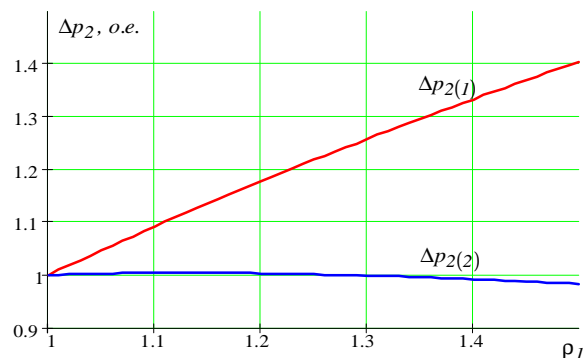


Рисунок 3 – Нерівномірність втрат в міді ротора АД1 - $\Delta p_{2(1)}$ і АД2 - $\Delta p_{2(2)}$ при несиметрії активних опорів роторів

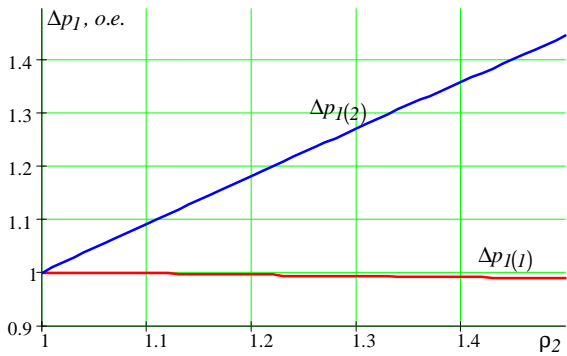


Рисунок 4 – Нерівномірність втрат в міді статора АД1 - $\Delta p_{I(1)}$ і АД2 - $\Delta p_{I(2)}$ при несиметрії активних опорів статорів

Втрати в міді відповідно 1-го та 2-го двигунів розраховані відносно номінальних втрат.

Динамічні режими електропривода при параметричній несиметрії можуть супроводжуватися коливаннями при пуску, накиді або зменшенні навантаження. Такі режими відповідають рушанню електровоза, рухові на підйом або згорі. Наприклад, на рис. 5 показані динамічні режими пуску та накиді навантаження при несиметрії індуктивностей контуру намагнічення.

На рисунку видно, що існує суттєва нерівномірність моментів АД як при пуску, так і роботі під навантаженням.

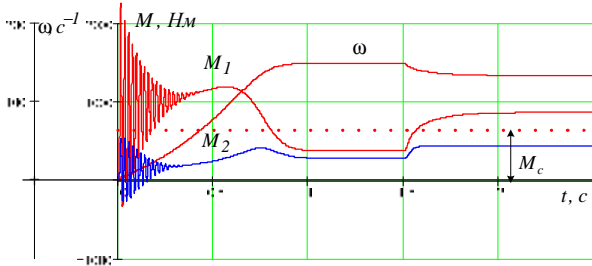


Рисунок 5 – Діаграма моментів АД і кутової частоти обертання електропривода при коефіцієнті несиметрії індуктивностей контуру намагнічування – 0,9

Зниження нерівномірності здійснюється шляхом виробки на перетворювачі частоти відповідних керуючих сигналів системи автоматичного вирівнювання навантаження. Така система, наприклад, може бути побудована за принципом формування різницевого сигналу (рис. 6) для 1-го двигуна $U_{y1} = U_{z1} - k_m (M_1 - M_2)$, та для 2-го - $U_{y2} = U_{z2} + k_m (M_1 - M_2)$, де k_m – коефіцієнт зворотного зв'язку. Розрахунок моментів двигунів може бути здійснений за одним із алгоритмів, наприклад [3]:

$$M = \frac{1}{\omega_0} \{ (U_A I_A + U_B I_B + U_C I_C) + \left(\frac{d\psi_A}{dt} I_A + \frac{d\psi_B}{dt} I_B + \frac{d\psi_C}{dt} I_C \right) - (I_A^2 R_A + I_B^2 R_B + I_C^2 R_C) \}$$

де $\frac{d\psi_j}{dt} = U_j - I_j R_j$, $j = A, B, C$; U_j, I_j - напруги і струми, виміряні відповідними датчиком ДН, ДС.

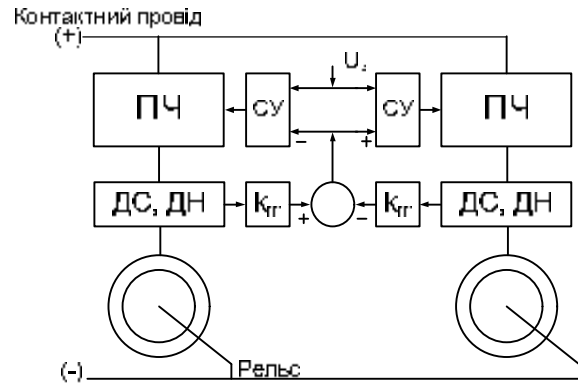


Рисунок 6 – Спрощена функціональна схема системи автоматичного вирівнювання навантаження

На рис. 7, 8 показані динамічні режими вирівнювання навантаження. Одночасно із вирівнюванням моментів двигунів відбувається зниження нерівномірності струмів, що позитивно відображається на теплових втратах двигунів. На рис. 7, 8 показаний часовий інтервал коли після пуску електропривод працює з номінальним навантаженням.

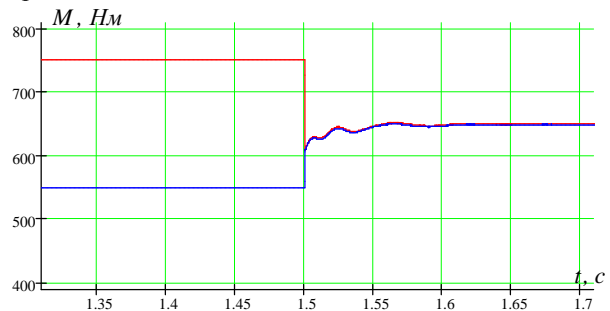


Рисунок 7 – Діаграми моментів двигунів при коефіцієнті несиметрії індуктивностей контуру намагнічування – 0,9 при вирівнюванні навантаження

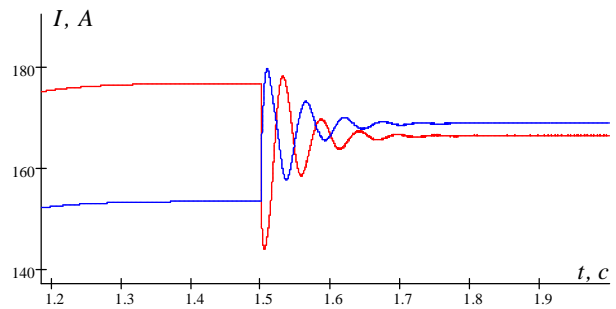


Рисунок 8 – Діаграми струмів статорів двигунів при коефіцієнті несиметрії індуктивностей контуру намагнічування – 0,9 при вирівнюванні навантаження

Дослідження показали, що величина вирівнювання навантаження істотно залежить від коефіцієн-

та зворотного зв'язку. На рис. 9 наведені залежності, що відображають роботу системи автоматичного вирівнювання навантаження при зміні коефіцієнта k_m . При збільшенні k_m нерівномірність моментів знижується, проте при цьому можливе виникнення коливань (крива 2, рис. 9, починаючи із значень $k_m = 0,005$).

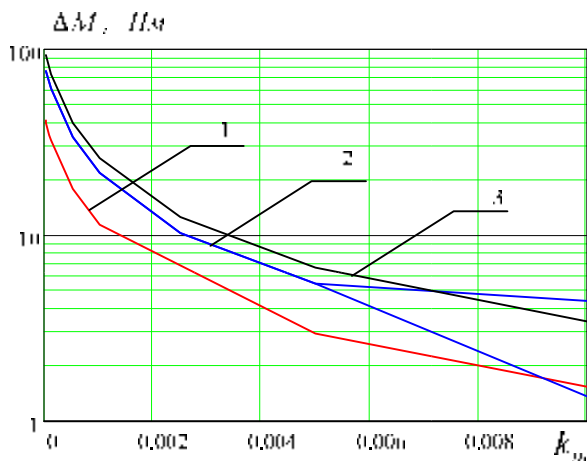


Рисунок 9 – Показники роботи системи автоматичного вирівнювання навантаження при параметричній несиметрії АД:
 1 - активних опорів статорів;
 2 - індуктивностей статорів;
 3 - індуктивностей контуру намагнічення

Висновки. Отримані залежності ефективності вирівнювання навантаження між тяговими АД від коефіцієнту зворотного зв'язку k_m дозволяють побудувати алгоритми адаптивного керування тяговим дводвигунним електроприводом рудникового

електровозу. Результати досліджень показують можливість зниження нерівномірності навантаження з 15,4 % до 0,7 % при застосування даної системи керування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Азарян А.А., Вілкул Ю.Г., Капленко Ю.П., Караманець Ф.І. Комплекс ресурсо- і енергозберігаючих технологій видобутку та переробки мінеральної сировини, технічних засобів їх моніторингу із системою управління і оптимізації гірничорудних виробництв. – Кривий Ріг: Мінерал, 2006. – 219 с.
2. Синчук О.Н., Синчук І.О., Гузов Э.С. Псевдоактивный поход к повышению надежности тягового электропривода рудничных электровозов // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2003. – №8(66). – С. 151-155.
3. Синчук О.Н., Юрченко Н.Н., Чернышев А.Л., Синчук І.О., Удовенко О.А., Пасько О.В., Гузов Э.С. Комбинаторика преобразователей напряжения современных тяговых электроприводов рудничных электровозов / Под ред. доктора техн. наук О.Н. Синчука. Научное издание. НАН Украины. Институт электродинамики. К.: 2006. – 250 с.
4. Синчук О.Н. Системы управления рудничным электровозным транспортом. – М.: Недра, 1993. – С. 225-275.
5. Черный А.П., Пасько О.В. Адаптивное управление процессами преобразования энергии в асинхронном тяговом электроприводе с частотным регулированием напряжения питания рудничного аккумуляторного электровоза // Науково-технічний збірник «Гірнична електромеханіка та автоматика». – Дніпропетровськ. – 2004, Вип. 72. – С. 156-161.

Стаття надійшла 19.04.2008 р.