

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ЗІ ЗБУДЖЕННЯМ ПОТУЖНІСТЮ КОВЗАННЯ

© Кузнецов О.О., 2009

**Пояснено можливість збудження асинхронної машини потужністю ковзання. Створено об'єктно-орієнтовану математичну модель електроприводу. Наведено і проаналізовано результати математичного моделювання.**

**The possibility of slip energy excitation of induction machine is shown. The object oriented mathematic model of the drive is created. Results of mathematic modeling are shown and analyzed.**

**Постановка проблеми.** Сьогодні набула актуальності проблема енергозбереження та ефективного використання енергоресурсів. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є завдання розробки та впровадження нових енергоефективних приводів. Перед розробниками постає завдання попереднього вивчення процесів у розроблюваних приводах, зокрема методом математичного моделювання.

**Аналіз останніх досягнень та публікацій.** Одним з напрямків досліджень на кафедрі електроприводу Національного університету “Львівська політехніка” є дослідження енергоефективних асинхронних електроприводів. У [1] було пояснено можливість збудження асинхронної машини від потужності ковзання.

**Задача досліджень.** Завданням роботи є створення математичної моделі асинхронної машини (АМ) зі збудженням потужністю ковзання та дослідження процесів у електроприводі методом математичного моделювання.

**Збудження асинхронної машини енергією ковзання.** Робота електричної машини в режимі двигуна полягає в перетворенні електричної потужності  $P_1 = 3U_1I_1\cos\varphi_1$ , що підводиться до неї з мережі, в механічну, що відбирається з вала машини. Це перетворення супроводжується втратами.

Зокрема, електрична потужність частково йде на покриття втрат в обмотці статора  $P_{ст}$ , решта – електромагнітна потужність  $P_{ем}$  – передається в ротор. Одна її частина – потужність ковзання  $P_s = s P_{ем}$  – витрачається на нагрівання міді обмоток ротора, а решта перетворюється в повну механічну потужність двигуна  $P_m$ , до якої крім корисної механічної потужності на валу  $P_2$  входять також механічні  $P_{мх}$  і додаткові  $P_d$  втрати.

Енергоефективніше використання асинхронної машини можливе за використання потужності ковзання для задач керування. В [1] запропоновано наведену на рис. 1 схему, коли в роторне коло ввімкнено перетворювач. Енергія ковзання через діодний випрямляч передається до конденсатора та заряджає його. Накопичена на конденсаторі енергія через транзисторний інвертор може передаватись назад у роторне коло.

**Система керування.** Завданням системи керування транзисторами є створення таких струмів у роторі, які необхідні для виконання поставлених задач керування. Зокрема, у цій роботі використано запропонований у [2] алгоритм векторного керування асинхронним електроприводом. Завданням керування є відпрацювання завдання швидкості та заданого коефіцієнта потужності

статора. Для цього вимірюються значення струмів статора і ротора, фазних напруг статора та кут повороту ротора  $\gamma_R$ . Кутове положення зображувального вектора напруги статора розраховується за вимірними напругами статора з наведених у [2] виразів.

Завдання струмів ротора визначається на основі поточкозчеплень статора АМ в обертовій (x,y) системі координат, зв'язаній з напругою статора,  $\Psi_{sx}$ ,  $\Psi_{sy}$  (що можуть бути вимірні, або розраховані за струмами), а також завдань струмів статора за формулами:

$$i_{rx3} = \frac{\Psi_{sx} - (L_m + L_{\sigma s})i_{sx3}}{L_m}, \quad i_{ry3} = \frac{\Psi_{sy} - (L_m + L_{\sigma s})i_{sy3}}{L_m}, \quad (1)$$

де  $i_{sx3}$ ,  $i_{sy3}$  – завдання струму статора за осями x та y;  $L_m$ ,  $L_{\sigma s}$  – робоча індуктивність та індуктивність розсіювання статора.

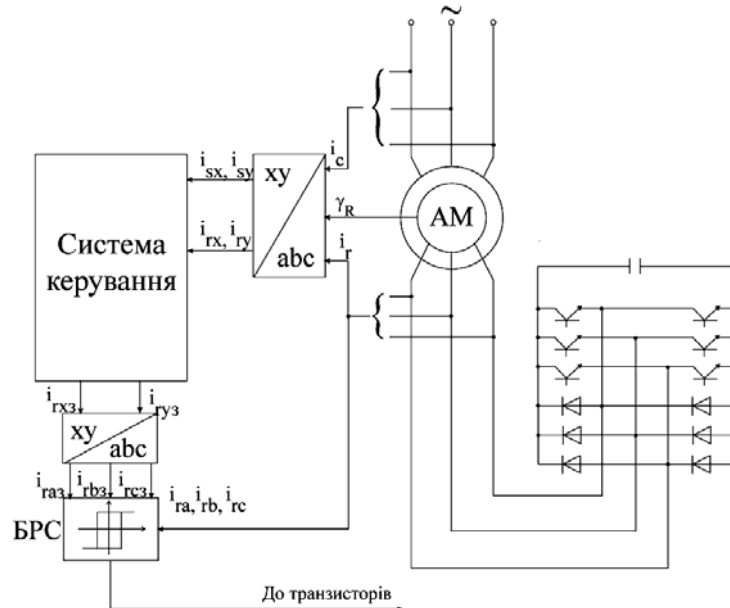


Рис. 1. Структурна схема асинхронного електроприводу зі збудженням потужністю ковзання

Компоненти струму статора визначаються з умови забезпечення заданого значення коефіцієнта потужності статора ( $\text{tg}\varphi = \frac{i_{sx3}}{i_{sy3}}$ ). Зокрема, при роботі з одиничним коефіцієнтом потужності статора  $i_{sx3} = 0$ .

Струм  $i_{sy3}$  визначає величину електромагнітного моменту (активної потужності) асинхронної машини і формується системою автоматичного регулювання швидкості АМ, яка побудована за підпорядкованим принципом і містить зовнішній контур регулювання швидкості та внутрішній контур регулювання моменту зі зворотним зв'язком за розрахунком електромагнітного моменту.

**Математична модель електроприводу.** Для створення математичної моделі асинхронного електроприводу зі збудженням потужністю ковзання було використано теорію моделювання електромашинно-вентильних систем, описану в [3]. Математична та комп'ютерна моделі були подані в об'єктно-орієнтованому вигляді згідно з описаним у [4] підходом, як сукупність об'єктив-моделей типових елементів ЕМВС, силової схеми, системи керування та системи загалом.

Об'єктно-орієнтована модель системи з використанням вибраного методу формується з математичних моделей типових елементів: трифазної мережі, інвертора напруги, АМ та конденсатора (С). Математична модель інвертора конструюється з математичних моделей анодних та катодних вентильних груп (АВГ1, АВГ2, КВГ1, КВГ2). Спосіб з'єднання елементів визначається матрицями під'єднання елементів силової схеми.

Розрахункова схема силової частини системи показана на рис. 2. На схемі позначено:  $i_0...i_{21}$  – струми електричних віток структурних елементів,  $\phi_1... \phi_{10}$  – потенціали незалежних вузлів електро-механічної системи.

Об'єкт-модель системи керування являє собою систему логічних рівнянь, що визначають умови відкривання і закривання вентилів. Вентиль представлено RL-ланкою, параметри якої задаються відповідно до стану вентиля, визначеного у об'єкті-моделі системи керування.

Під час розрахунків було використано такі параметри асинхронної машини:  $P_n = 0,8$  кВт,  $n_n = 1390$  об/хв,  $U_n = 380$  В,  $I_n = 3,5/2,0$  А,  $U_{пн} = 31$  В,  $I_{пн} = 18$  А,  $\cos\phi = 0,78$ .

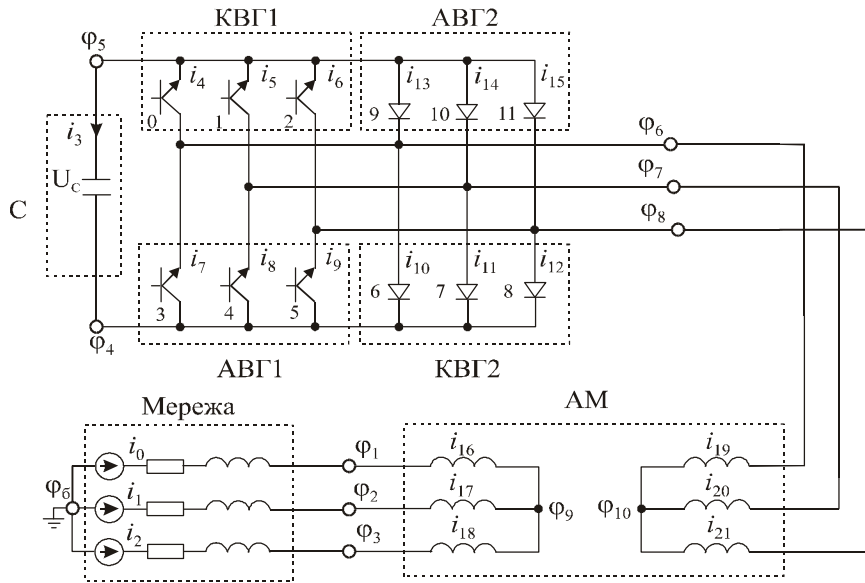


Рис. 2. Розрахункова схема силової частини системи

**Результати досліджень.** Результати математичного моделювання наведено на рис. 3–5.

На рис. 3 наведено результати дослідів запуску системи до швидкостей 50, 100 і 120 об/хв при номінальному моменті навантаження (5 Н·м). Перший етап запуску – початкове намагнічення – відбувається при розімкненому роторі. У момент часу 0,3 с починає працювати система керування. АМ розганяється до заданої швидкості. Результати дослідів показують, що виконання завдань керування (відпрацювання заданої швидкості та забезпечення  $\cos\phi = 1$ ) можливе на швидкостях, нижчих  $\sim 120$  об/хв (номінальна швидкість 157 об/хв). Заряд конденсатора в усталеному режимі відповідає енергії ковзання (чим вища швидкість, тим менше ковзання і, відповідно, енергія ковзання). При запуску до швидкостей, таких, що приблизно дорівнюють синхронній, ця енергія є малою і недостатньою для виконання завдань керування. Конденсатор повністю розряджається.

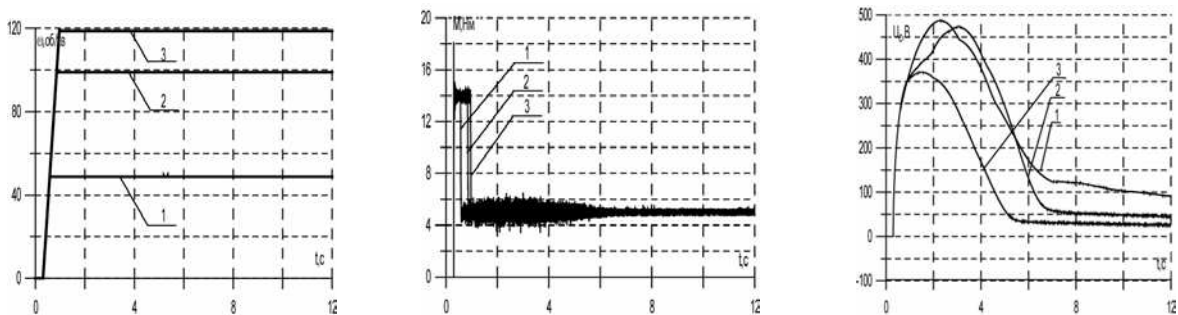


Рис. 3. Запуск системи до швидкостей 50 (1), 100 (2), 120 об/хв при номінальному моменті навантаження

На рис. 4 наведено розраховані осцилограми струмів статора і ротора в обертових ( $x, y$ ) координатах для режиму запуску до швидкості 50 об/хв. У режимі початкового намагнічення струм в статорі має суто реактивний характер і спрямований вздовж осі  $x$ . У разі досягнення заданої швидкості електромагнітний момент встановлюється на рівні моменту на валу. Струм статора набуває активного характеру, його компонента за віссю  $x$  починає дорівнювати нулю. Компонента струму статора за віссю  $y$  своїм виглядом повторює вигляд моменту. Компонента струму ротора за віссю  $x$  визначає струм намагнічення і не зазнає істотних змін, а компонента за віссю  $y$  компенсує реакцію статора і своєю формою повторює форму струму статора з протилежним знаком. Пульсуючий характер струмів пов'язаний з використанням у системі керування гістерезисних регуляторів. Після цього в момент часу 12,2 с змінювалось завдання швидкості до 120 об/хв, а в момент часу 13 с – до 100 об/хв (рис. 5). Система однозначно відпрацьовує задану швидкість. В усталеному режимі на швидкості 120 об/хв енергія ковзання є малою, тому при переході на швидкість 100 об/хв в перехідному режимі погіршується вигляд кривої моменту, струмів статора і ротора ( $i_{sx}$  стає відмінним від нуля,  $\cos \varphi \neq 1$ , тобто завдання керування не виконується).

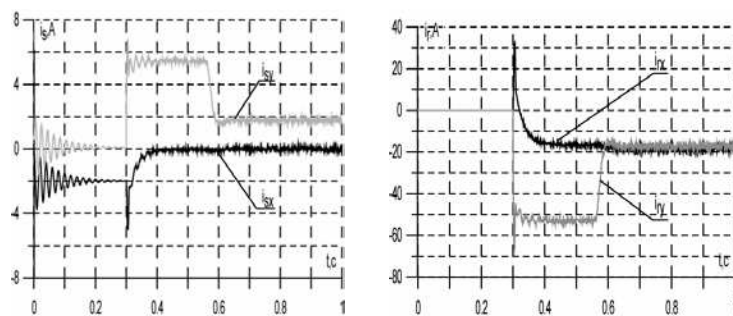


Рис. 4. Струми статора і ротора в обертових координатах ( $x, y$ ) при запуску до швидкості 50 об/хв

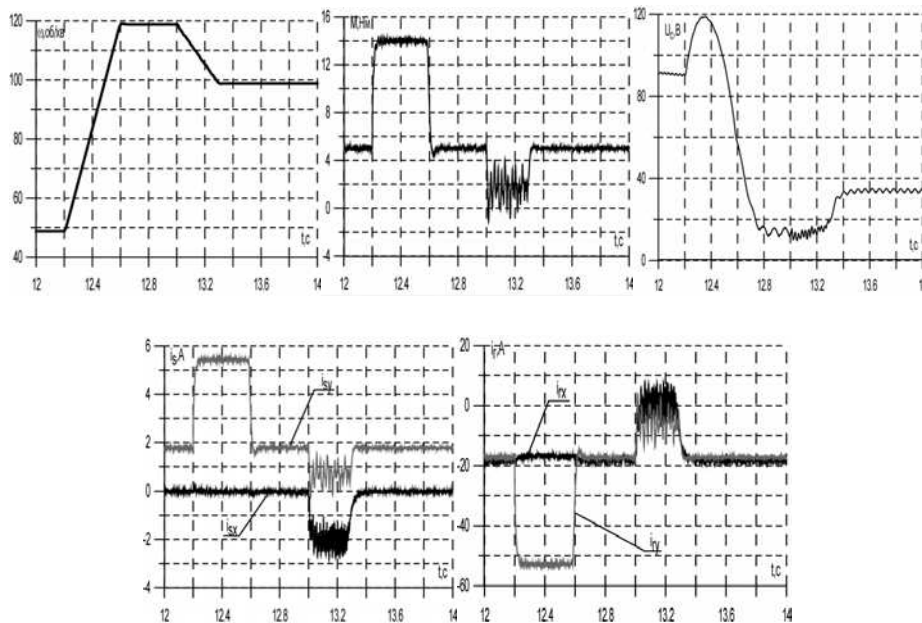


Рис. 5. Режим зміни швидкості від 50 об/хв до 120 і 100 об/хв

**Висновки.** 1. При підімкненні АМ за схемою збудження від потужності ковзання можна забезпечити виконання завдань керування (відпрацювання заданої швидкості та забезпечення  $\cos \varphi = 1$ ) без введення додаткової потужності в ротор за рахунок використання потужності ковзання.

2. При роботі на швидкостях, близьких до синхронної, ця потужність є малою і недостатньою для виконання завдань керування. Отже, запропонована система забезпечує роботу АМ в діапазоні швидкостей від нуля до  $\sim 4/5$  номінальної.

3. При наближенні до межі робочого діапазону швидкостей характеристики системи можуть погіршуватись, особливо у перехідних режимах (потужність ковзання є недостатньою).

1. Плахтина О.Г., Куцик А.С., Кузнецов О.О. *Експериментальні дослідження статичних характеристик в асинхронному електроприводі зі збудженням енергією ковзання* // Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". – 2008. – № 615: Електроенергетичні та електромеханічні системи. – С. 111–115. 2. Плахтина О.Г., Куцик А.С., Йовбак В.Д. *Електромагнітні та електромеханічні процеси асинхронної машини з інвертором напруги в колі ротора при векторному керуванні* // Технічна електродинаміка. – 2004. – № 5. – С. 30–36. 3. Плахтына Е.Г. *Математическое моделирование электромашино-вентильных систем.* – Львов: Вища шк., 1986. 4. Куцик А.С. *Аналіз та синтез систем збудження машин змінного струму електромашиновентильних комплексів генерування електроенергії: Дис. ...д-ра техн. наук.* – Львів: Нац. ун-т "Львівська політехніка", 2006. – 365 с. – Машинопис.

УДК 621.313.333

А.С. Куцик, В.Д. Йовбак

Національний університет "Львівська політехніка",  
кафедра ЕАП,  
Свалявський технічний коледж НУХТ

## КОМП'ЮТЕРНЕ ДІАГНОСТУВАННЯ БЕЗЩІТКОВИХ СИСТЕМ ЗБУДЖЕННЯ ГЕНЕРАТОРІВ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

© Куцик А.С., Йовбак В.Д., 2009

**Описано розроблений програмно-технічний комплекс для діагностування безщіткових систем збудження генераторів електростанцій з використанням працюючих в реальному часі комп'ютерних моделей генераторних блоків. Наведено результати експериментальних досліджень режимів роботи безщіткових систем збудження, знятих під час їх діагностування.**

**The program-technical complex is developed for diagnosing of the brushless excitation systems of power plant generators with the use of the real time computer models of generator blocks. The results of experimental researches of the work regimes of the brushless excitation systems obtained under their diagnosing are presented.**

**Постановка проблеми.** Модернізація існуючих систем збудження генераторів електростанцій, розробка і впровадження нових систем регулювання збудження вимагає їх обов'язкового випробування перед введенням в експлуатацію, оскільки несправності в системі регулювання збудження, спричинені дефектами та некоректним налаштуванням регулятора збудження і захистів, можуть призвести до аварійних ситуацій на діючому енергоблоці. Необхідність такого тестування відзначається, зокрема, в нормативних документах РАО "СЕС Росії" [1]. У зв'язку з цим існує проблема створення методів та засобів діагностування систем збудження, здатних забезпечити комплекс випробувань у всіх режимах роботи системи збудження та об'єкта регулювання (генераторного блока), а також здійснити налагодження регулятора збудження та системи захистів.