

**ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ І ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНІ ПРОЦЕСИ В АСИНХРОННОМУ
ДВИГУНІ ПРИ ЖИВЛЕННІ ЙОГО ВІД ДЖЕРЕЛА СТРУМУ**

Тенденція заміни електроприводів (ЕП) постійного струму асинхронними з частотним керуванням вимагає більш повного знання процесів в машині при живленні її як від автономних інверторів напруги, тобто джерел напруги (ДН), так і від інверторів струму – джерел струму (ДС). Незважаючи на велику кількість опублікованих робіт з цього питання, останнє залишається досить актуальним, оскільки електромагнітні процеси в асинхронній машині (АМ) формують динаміку ЕП, його якісні та кількісні показники.

Метою роботи є акцентування уваги розробників ЕП на особливостях протікання перехідних процесів в АМ у випадку живлення її від ДС.

Електромагнітні процеси. Дослідимо вплив тільки електромагнітних процесів на момент машини. Знайдемо аналітичний вираз для електромагнітного моменту в динаміці при незмінній швидкості. Для цього використаємо опис АМ, при живленні від ДС, в фазовому просторі « $I_s - \Psi_r$ » в загальній ортогональній системі просторових координат, пов'язаній з вектором струму статора ($\omega_k = \omega_{0e}$, $i_{su} = I_{sm}$, $i_{sv} = 0$)

$$\begin{cases} (T_r p + 1)\Psi_{ru} - \frac{s}{s_{ki}}\Psi_{rv} = L_m I_{sm}; \\ \frac{s}{s_{ki}}\Psi_{ru} + (T_r p + 1)\Psi_{rv} = 0; \end{cases} \quad (1)$$

$$M_e = \frac{3}{2} p_n K_r (-\Psi_{rv} I_{sm}),$$

де T_r – електромагнітна стала часу ротора, $T_r = L_r / R_r = 1 / (\omega_{0e} s_{ki})$.

s_{ki} – критичне ковзання АМ при живленні від джерела струму, $s_{ki} = R_r / (x_m + x_2) = R_r / x_r$.

В результаті аналітичного розв'язку (1) одержимо

$$M_e(t) = \frac{2M_{ki}}{(s/s_{ki}) + (s_{ki}/s)} \left[1 - e^{-\omega_{0e} s_{ki} t} \left(\frac{s_{ki}}{s} \sin(\omega_{0e} s t) + \cos(\omega_{0e} s t) \right) \right], \quad (2)$$

де M_{ki} – критичний момент машини при живленні від ДС, $M_{ki} \cong 3I_1^2 x_m^2 / (2\omega_0 x_r)$.

Як бачимо з (2), процеси змінення моменту при сталій швидкості та живленні АМ від ДС, мають коливальний характер з частотою $\omega_{0e} s$, і загасанням зі сталою часу $T_r = 1 / (\omega_{0e} s_{ki})$.

На рис. 1 наведені перехідні процеси змінення моменту при живленні від ДС при різних сталих ковзаннях. Для порівняння подані процеси $M_e(t)$ для тих же ковзань при живленні АМ від ДН, які розраховані аналітично. Процеси одержувалися для машини типу МТК-41-8. Рівні струмів, при розрахунку процесів при живленні від ДС, встановлювалися такими, щоб при однаковому ковзанні забезпечити такі ж усталені рівні моментів, як і при живленні АМ від ДН при $U_s = U_{sh} = const$.

Для порівняння загасань процесів в АМ при живленні від ДС і ДН розглянемо відносне загасання процесів. При живленні від ДС $\alpha_i = s_{ki}$. Загасання α_i не залежить від швидкості ротора. Загасання ж при живленні від ДН α_{u1} , α_{u2} ($\alpha_{u1} < \alpha_{u2}$) залежать від ковзання [1]. Найменше значення загасання α_{u1} буде при ковзанні $s = 1$.

$$\alpha_{u1}(1) = \frac{1}{2} \left((\alpha'_s + \alpha'_r) - \sqrt{(\alpha'_s + \alpha'_r)^2 - 4\alpha'_s \alpha'_r \sigma} \right). \quad (3)$$

Для машини типу МТК-41-8 залежності $\alpha_{u1}(s)$ і $\alpha_{u2}(s)$ наведені на рис. 2,а. За параметрами машини ($\alpha'_s = 0,3698$, $\alpha'_r = 0,7313$, $\sigma = 0,1043$) одержуємо $\alpha_{u1}(1) = 0,0263$, а $\alpha_i = 0,0763$. Отже $\alpha_{u1}(1) < \alpha_i$. На рис. 2,б, для порівняння, наведені залежності меншого загасання $\alpha_{u1}(s)$ та $\alpha_i(s) = const$. Бачимо, що при великих ковзаннях, близьких до одиниці, $\alpha_{u1} < \alpha_i$, а при малих, близьких до нуля, $\alpha_{u1} > \alpha_i$. Для розглянутого двигуна при ковзанні $s = 0,5164$ загасання процесів при живленні від ДС і ДН будуть однаковими. Однак слід зауважити, що коефіцієнт загасання є прямим показником якості регулювання лише для систем другого порядку, в яких коливання відбуваються біля незмінного усталеного значення – в нашому випадку коливання моменту АМ при живленні від ДС. В об'єктах більшого порядку, особливо при наявності декількох коливальних складових (наприклад процес моменту при живленні АМ від ДН), за коефіцієнтом загасання однієї з них не можна оцінити процес в цілому. Це спостерігаємо за рис. 1, порівнюючи процеси $M_e(t)$ при $s = 0,5164$: при однакових α процес при живленні від ДН більш якісний з меншим першим сплеском та більш повільним змінням «середнього» значення, навколо якого відбуваються коливання. Це можна пояснити уповільненою динамікою встановлення потоків при живленні АМ від ДН.

Змінення загасань спостерігаємо за графіками перехідних процесів (рис. 1) для розглянутого двигуна – при великих ковзаннях, і живленні від ДН, електромагнітні процеси загасають повільніше, ніж при живленні від ДС, а при малих ковзаннях – навпаки, процеси при живленні АМ від ДС загасають значно повільніше, ніж при живленні від ДН (процеси при $s=0,05$ на рис. 1).

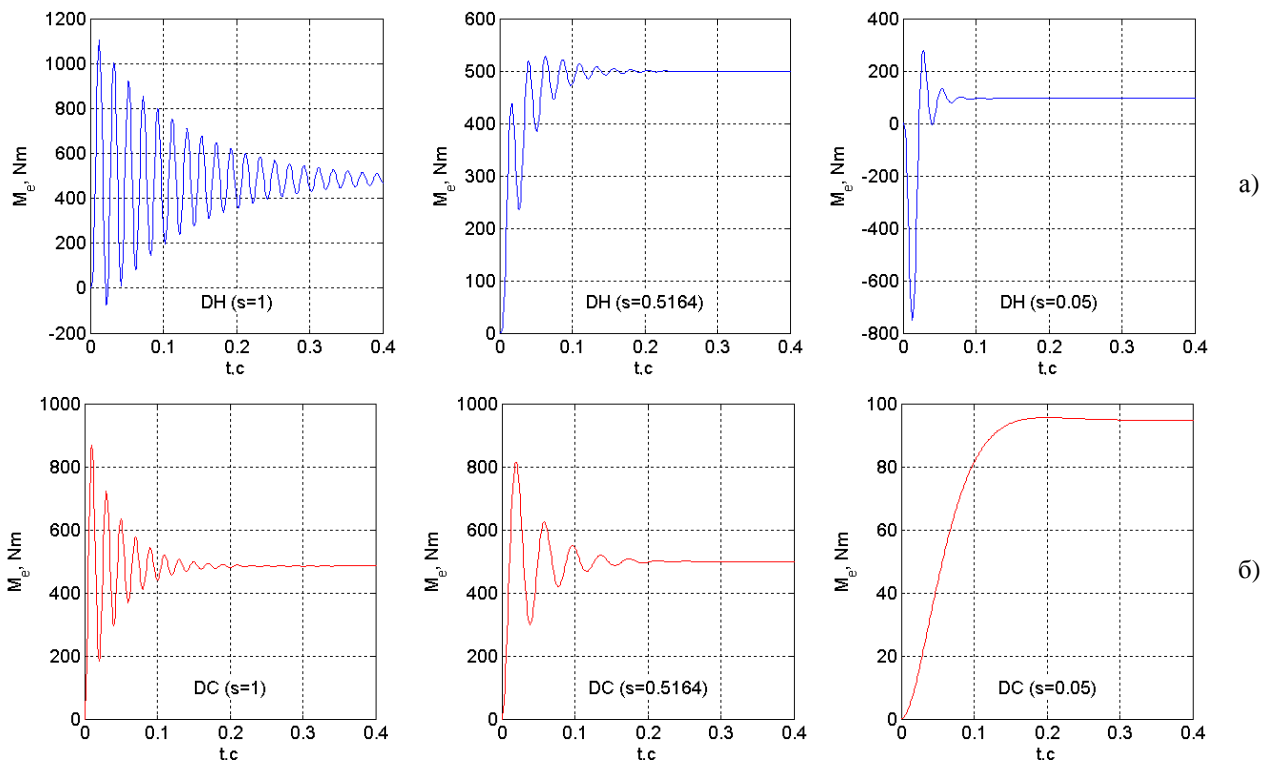


Рис. 1 Перехідні процеси $M_e(t)$ при різних сталих ковзаннях і живленні АМ від ДН (а) та ДС (б)

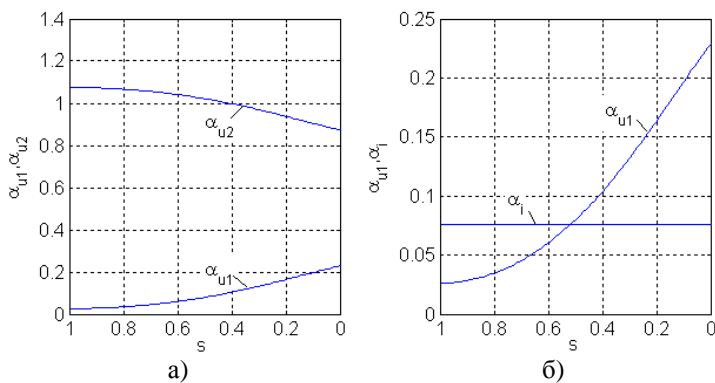


Рис. 2 Залежності коефіцієнтів загасання коливань електромагнітних процесів при живленні АМ від ДН (α_{u1} , і α_{u2}) і ДС (α_i) від ковзання

Дійсно, для ковзань в режимі двигуна $0 < s < 1$, початкова швидкість обертання поля більша за швидкість ротора

$$\omega_{\psi_r} = \left(1 - \frac{s}{2}\right) \omega_{0e} > \omega_e = (1-s) \omega_{0e}.$$

Електромеханічні процеси. Розглянемо роботу АМ при живленні від ДС з врахуванням механічних процесів: порівняємо процеси пуску АМ до синхронної швидкості при живленні її від ДС і ДН з номінальними частотами струму й напруги. При цьому струм статора задається таким, що змінюється залежно від ковзання у відповідності зі статичною електромеханічною характеристикою, яку має АМ при живленні від ДН

За графіками перехідних процесів спостерігаємо ще одну особливість АМ при живленні від ДС – відсутність переходу в режим рекуперативного гальмування при швидкостях $(0,5 \div 1,0) \omega_0$. Це викликано тим, що початкова швидкість обертання поля при живленні АМ від ДС залежить від швидкості ротора, і завжди ближче до синхронної ніж швидкість ротора, на відміну від випадку живлення від ДН, при якому початкова швидкість поля від швидкості ротора не залежить. Проаналізувавши в момент часу $t=0$ за методикою, викладеною в [2] дійдемо висновку, що швидкість обертання поля ротора АМ при живленні її від ДС в початковий момент часу становить

$$\omega_{\psi_r} = \left(1 - \frac{s}{2}\right) \omega_{0e}. \quad (4)$$

$$I_1 = U_1 \sqrt{\frac{r_2'^2 + (x_r' s)^2}{(r_2' r_1 - (x_r' x_1 + x_m x_2') s)^2 + (r_1 x_r' s + r_2' x_s')^2}} \quad (5)$$

Графіки моментів та швидкості при пуску машини МТК-41-8 наведені на рис. 3. При моделюванні повний момент інерції прийнято $5J_\delta$. Як бачимо, на початковому етапі пуску, при живленні АМ від ДН коливання момента більші, а загасання їх гірше ніж при живленні від ДС. Однак, при малих ковзаннях в АМ з живленням від ДН процеси більш швидкі, до того ж з меншими коливаннями, що спостерігалось і при розгляді тільки електромагнітних процесів (рис. 1, при $s = 0,05$). В цілому ж, час пуску в двох випадках приблизно однаковий.

Взагалі зробити висновок з порівняння електромеханічних процесів пуску АМ при живленні її від ДН та ДС складно, тому що складно забезпечити єдину базу для порівняння. Так, на динаміку електромеханічних процесів при живленні АМ від ДС впливає динаміка зміння струму статора за певним законом від швидкості (ковзання), до того ж нелінійним.

Накид навантаження. Дослідимо процеси накиду навантаження при живленні АМ від ДС для випадку коли струм статора формується в залежності від ковзання за законом (5). На рисунку 4 для порівняння показані процеси накиду навантаження ($M_c = 2M_n$) при живленні АМ від ДС та від ДН. Як бачимо, час встановлення усталеного режиму в обох випадках практично однаковий і визначається механічною інерцією. Властивості АМ при живленні від ДС проявляються в наявності коливальної складової. Загасання ж коливань при живленні від ДС в основному визначається не властивостями машини, а фактором зміння струму статора в залежності від ковзання за (5).

Процеси в АМ при живленні від ДС можна простежити в «чистому вигляді», коли струм статора незмінний. В цьому випадку динаміка визначається процесами перерозподілу енергії між контурами намагнічування та ротора. Дослідження процесів накиду навантаження при незмінному струмі статора показали, що в цьому випадку, момент АМ встановлюється значно повільніше, ніж при живленні від ДН.

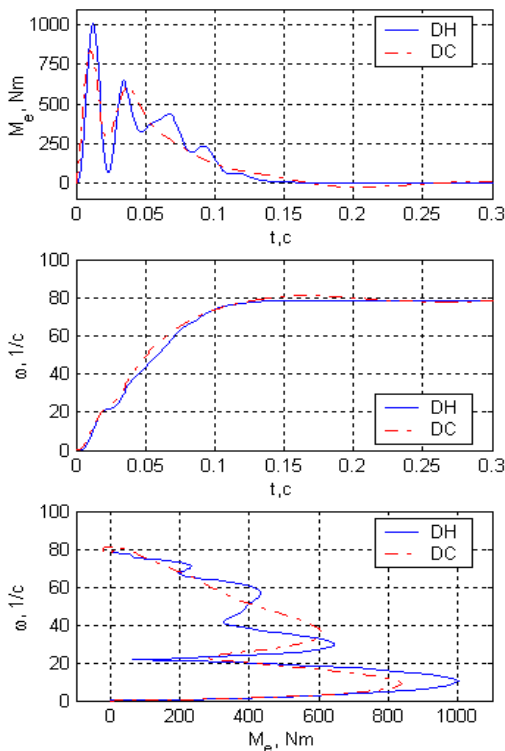


Рис. 3 Процеси пуску АМ при живленні від ДН (—) і ДС (---)

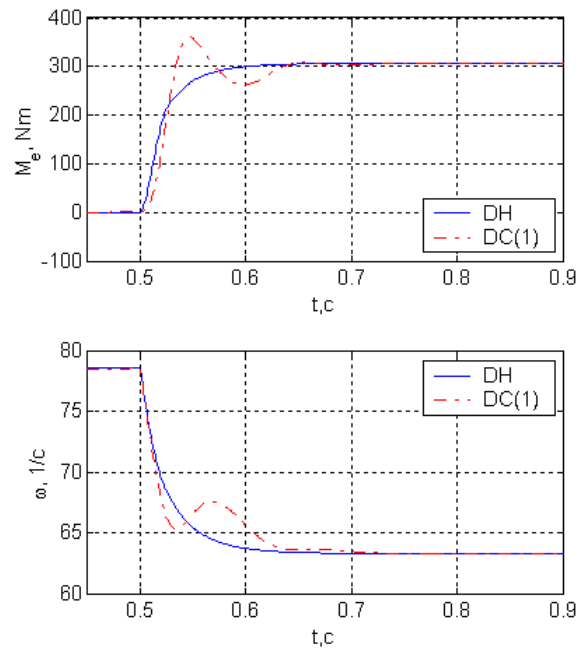


Рис. 4 Процеси накиду навантаження при живленні АМ від ДН (—) та ДС (---)

Висновки. 1) Процеси загасання коливань у системі АІС-АД більш сильні, ніж в системі АН-АД при великих ковзаннях ротора, і навпаки – при малих ковзаннях. 2) При пусках в системі ДС-АД не буває початкових викидів негативних моментів, оскільки магнітне поле завжди має більшу швидкість обертання ніж ротор.

ЛІТЕРАТУРА

1. Теория автоматизированного электропривода: Учеб. пособие для вузов / Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. – М.: Энергия, 1979. – 616 с.
2. Онищенко Г.Б., Локтева И.Л. Метод колеблющихся координат в исследовании электромагнитных переходных процессов асинхронных электроприводов / Автоматизированный электропривод в промышленности. Труды VI Всесоюзной конф. по автоматизированному электроприводу. Под общ. ред. М.Г. Чиликина, И.И. Петрова, М.М. Соколова, М.Г. Юнькова. – М.: Энергия, 1974. – С. 68-71.