

2) експериментальний зразок АД з індукційними опорами на базі промислового двигуна типу ВАОИ-71-4;

3) тахогенератор постійного струму ЕТ-4;

4) амперметри, вольтметри та ватметри класу 0,5 для вимірювання фазних величин АД.

Як показали експериментальні дослідження механічних характеристик розімкнутої системи регулювання напруги живлення, їх похибка від реальних не перевищує 15% в зоні, близькій до критичного ковзання.

Механічні ж характеристики замкнутої за швидкістю системи, побудовані згідно з розробленим способом, практично мають точність порядку 1-2%, тобто відрізняються від експериментальних не більше, ніж на 5-8 об/хв.

Висновки. Запропонована методика побудови механічних характеристик замкнутої автоматичної системи привода з регулятором ТРН може бути використана при виконанні інженерних розрахунків електропривода. Крім того, вона може бути корисною для студентів ВНЗ, які виконують дипломні і курсові проекти з означеної тематики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Розов Ю.М. Новый тип ротора для асинхронного электропривода в схеме дроссельного регулирования / Розов Ю.М. // Энергетика и электротехническая промышленность. – ИТИ, УССР. – 1970. – №4. – С.6-9.
2. Власов В.Г. Регулируемый электропривод ВАПИ / В.Г.Власов // Механизация и автоматизация производства. – 1967. – №3. – С.5-9.
3. Булгаков А.А. Основы динамики управляемых вентильных систем / Булгаков А.А. – М.: Изд. АН СССР. – 1955. – 256с.
4. Войтех А.А. Исследование асинхронных двигателей с переменным составом гармоник поля / Войтех А.А., Сторожко С.П. – К.: ИЭД АН УССР, 1974. – 65с.

Надійшла до редколегії 30.06.2013.

УДК 621.313.322

СТОРОЖКО С.П., к.т.н., доцент
ДЕНИСЕНКО Є.І., студент

Дніпродзержинський державний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ЧАСТОТНОГО ПУСКУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Вступ. Асинхронні двигуни (АД) найкраще регулюються частотними перетворювачами напруги живлення з метою одержання максимального діапазону зміни швидкості до 1:15. Частотне керування швидкістю обертання ротора АД передбачає також режим частотного пуску.

З метою оптимізації режиму (мінімальний період пуску, ліквідація коливань електромагнітного моменту та ін.) виникає необхідність обмежити час пуску. В сучасних частотних електроприводах формування необхідного перехідного процесу реалізують за допомогою відповідної математичної моделі в синхронних координатах [1]. Ця модель закладена в систему векторного керування швидкістю АД і є досить складною для інженерних розрахунків.

Постановка задачі. Задачею даної роботи є зменшення коливань моменту і швидкості в перехідних режимах під час частотного пуску двигуна.

Результати роботи. Найбільш простою для моделювання частотного пуску АД слід вважати координатну систему α, β, γ , тому що вона записується в нерухомих осях АД (α, β), що характерно, струм еквівалентної фази i_α дорівнює струмові реальної фази i_A .

Аналітично математична модель АД в системі координат α, β записується наступним чином [2]:

$$\frac{d\psi_{\alpha 1}}{dt} = U_\alpha - \omega_0 \cdot \alpha'_s \cdot \psi_{\alpha 1} + \omega_0 \cdot \alpha'_s \cdot K_r \psi_{\alpha 1}; \quad (1)$$

$$\frac{d\psi_{\beta 1}}{dt} = U_{\beta 1} - \omega_0 \cdot \alpha'_s \cdot \psi_{\beta 2} + \omega_0 \cdot \alpha'_s \cdot K_r \psi_{\beta 2}; \quad (2)$$

$$\frac{d\psi_{\alpha 2}}{dt} = 0 - \omega_0 \cdot \alpha'_r \cdot \psi_{\alpha 2} + \omega_0 \cdot \alpha'_r \cdot K_s \psi_{\alpha 1} - \psi_{\beta 2}; \quad (3)$$

$$\frac{d\psi_{\beta 2}}{dt} = 0 - \omega_0 \cdot \alpha'_r \cdot \psi_{\beta 2} + \omega_0 \cdot \alpha'_r \cdot K_s \psi_{\beta 1} + \omega \psi_{\alpha 2}; \quad (4)$$

$$M = \frac{3}{2} p \omega_0 \frac{K_r}{\delta X_s} (\psi_{\alpha 2} \cdot \psi_{\beta 1} - \psi_{\beta 2} \cdot \psi_{\alpha 1}); \quad (5)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{P}{J_\Sigma} (M - M_{CT}), \quad (6)$$

де $\psi_{\alpha 1,2}, \psi_{\beta 1,2}$ – потокозчеплення фаз статора α, β , індекси 1, 2 означають статор, ротор.

Напруги живлення фаз моделі α та β записуються так:

$$U_\alpha = v_m \cdot \cos \omega_0 t; \quad U_\beta = v_m \cdot \sin \omega_0 t \quad [2],$$

тут ω_0 – кутова частота мережі, $\omega_0 = 314 \text{ c}^{-1}$;

α'_s (α'_r) – коефіцієнт затухання статора (ротора);

p – кількість пар полюсів.

Коефіцієнти $K_r = \frac{X_m}{X_2 + X_\mu}$; $K_s = \frac{X_\mu}{X_1 + X_\mu}$ – визначаються параметрами за-

ступної схеми АД.

Коефіцієнти перед функціями (ψ_α, ψ_β) не залежать від частоти мережі живлення. Простий аналіз показує, що, наприклад, [2]:

$$\alpha'_s K_r \omega_0 = \omega_0 \frac{\alpha_s}{\delta} \cdot \frac{X_m}{X_r} = \omega_0 \frac{R_1}{X_2} \cdot \frac{X_m}{X_r \cdot \delta} = \frac{\omega_0 R_1}{\omega_0 L_s} \cdot \frac{\omega_0 L_m}{\omega_0 L_r \left(1 - \frac{X_m^2}{X_s \cdot X_r} \right)} = const,$$

тут L_s (L_r) – повні індуктивності статора (ротора).

Це означає, що коефіцієнти диференціальних рівнянь не залежать від вибору координатної системи.

Не залежним від частоти мережі буде також і коефіцієнт в рівнянні (5).

Таким чином структурна схема в програмі SIMULINK комплексу MATLAB буде незмінною для вирішення, якщо амплітуда напруги мережі U_m та кутова частота ω_0 взаємодіють пропорційно згідно з законом Костенко М.П.: $\frac{U_m}{F} = const$.

На рис.1 наведено структуру АД, яка може бути використана для будь-якого режиму живлення АД (від мережі або від перетворювача).

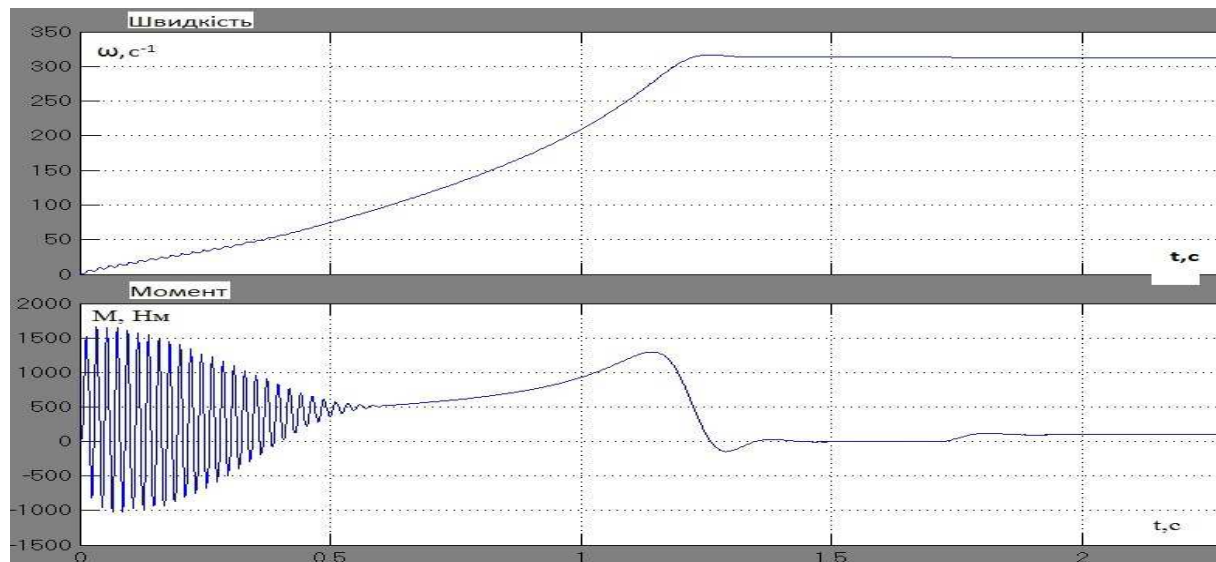


Рисунок 1 – Прямий пуск

Особливість цієї структурної схеми в формуванні напруг живлення фаз $U\alpha_1$; $U\beta_1$. Вона включає одиничний задатчик інтенсивності частоти пуску, інтегратор $\frac{1}{S}$, два блоки перемноження та максимальні значення $U_m\omega_0$.

Практичне моделювання виконується для АД серії 4А, для якого паспортні дані мають значення: $U_1 = \frac{380}{220}$; $P_n = 45$ кВт; $\eta_n = 0,92$; $\cos\varphi_n = 0,9$; тип 4А200L4У3. Параметри Г-подібної схеми (у.в.о): $X_\mu = 4,6$; $R'_1 = 0,039$; $X'_1 = 0,087$; $R''_1 = 0,017$; $X''_1 = 0,14$; $S_n = 0,016$. На підставі цих даних були розраховані відповідні коефіцієнти диференціальних рівнянь, які записані в структурну схему моделі (рис.2).

Наведена структурна схема має універсальний характер, тобто дає можливість промоделювати прямий пуск АД від мережі, частотний пуск інтенсивного розгону АД при параболічному зростанні $\frac{U}{F}(t)$, лінійний закон зміни напруги і частоти (пом'якшений пуск).

Прямий пуск реалізується тоді, коли задатчик інтенсивності видає максимум сигналу (одиниця) при $t = 0$.

Наявність інтегратора в структурі $\frac{1}{S}$ дає можливість прискорити режим пуску використанням параболічного закону зміни вхідної напруги і частоти.

Без інтегратора має місце лінійний закон зміни цих величин.

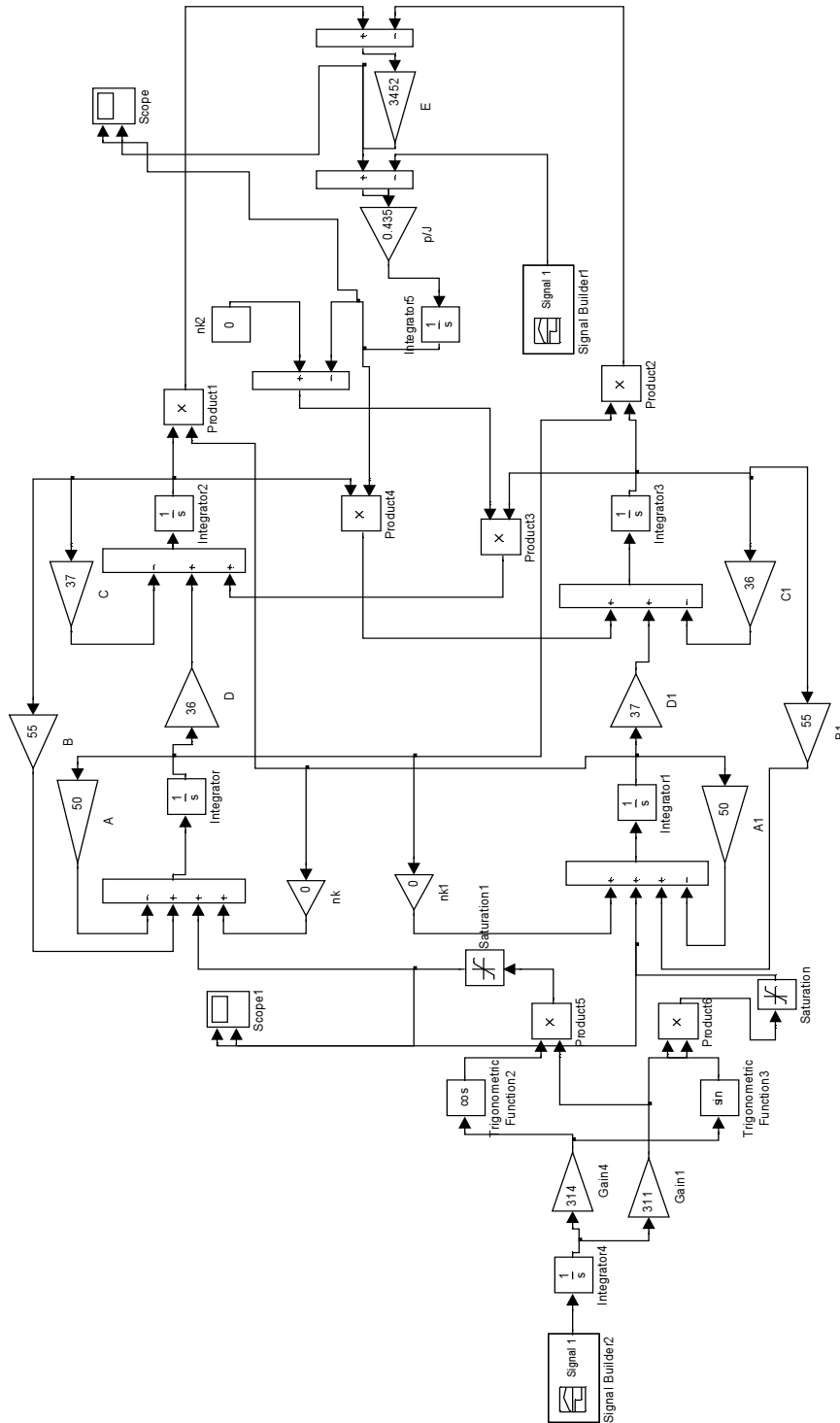


Рисунок 2 – Структурна схема

Висновки. Як видно з рис.2, модель з інтегратором дає можливість виконати пуск без ривка, плавно з підвищеним прискоренням по мірі розгону. Для АД з малим моментом інерції можливе перевищення швидкості в кінці пуску вище синхронної і два-три напівколивання моменту перед усталеним режимом (ідеалізований пуск $M_{CT} = 0$) (рис.1).

Необхідний час для задатчика інтенсивності можна знайти, промодельовавши прямий пуск АД. З графіка (рис.3) видно амплітуди і час коливальності перехідного

моменту. Ця величина (або більша, якщо є технологічна потреба) вибирається в якості періоду лінійної частини задатчика.

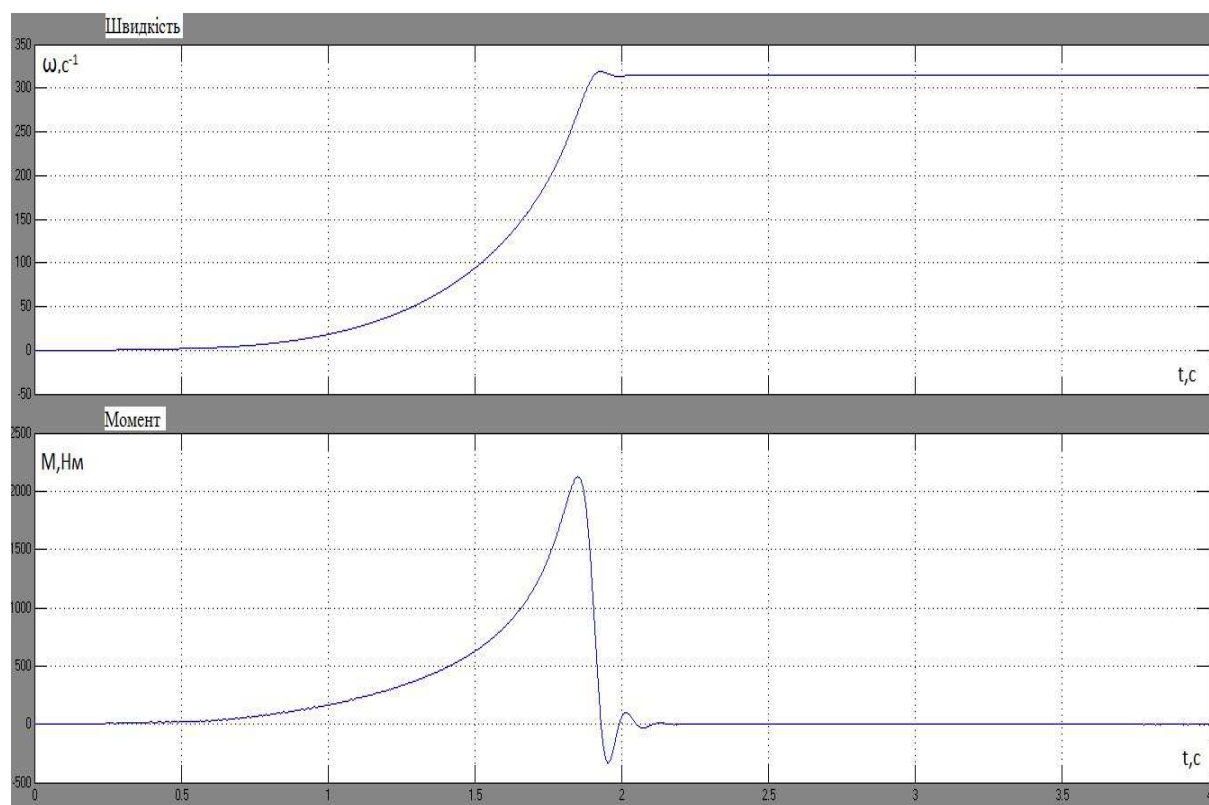


Рисунок 3 – Частотний пуск АД

Характерна особливість схеми-структури в тім, що з метою обмеження амплітуди і напруги живлення вводяться нелінійні симетричні ланки типу «насичення». Ця процедура необхідна при застосовуванні інтегратора $\frac{1}{S}$ в схемі.

Основний висновок полягає в тім, що за допомогою наведеної структури можливе формування будь-якого перехідного режиму безударного пуску АД.

ЛІТЕРАТУРА

1. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин: учеб. для вузов / Копылов И.П. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2001. – 327с.
2. Уэйд С. Моделирование и имитация асинхронной машины векторного управления / Уэйд С., Дюниган М.В., Уильямс Б.В. – Силовая электроника. – 1997. – Vol. 12, № 3. – С.495-505.

Надійшла до редколегії 30.05.2013.