

104-110.

21. **Безручко Б.П., Смирнов Д.А.** Математическое моделирование и хаотические временные ряды. - Саратов: ГосУНЦ "Колледж", 2005. – 263-264.

22. **Takens F.** On the numerical determination of the dimension of an attractor. In: Dynamical systems and bifurcations (Eds. L.J. Braaksma, H.W. Broer and F. Takens). Lect. Notes in Math. 1125, Springer, Heidelberg. 1985

23. **Takens F.** Detecting Strange Attractors in Turbulence // Dynamical Systems and Turbulence: Lecture Notes in Mathematics. Berlin., 1981. Vol. 898. P. 366 – 381.

Рукопись поступила в редакцию 11.03.14

УДК 621.313

В.В. КАНЕВСЬКИЙ, канд. техн. наук, доц., О.Р. ТКАЧУК, магістрант
Криворізький національний університет

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗІ ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ ЗА ОЦІНКОЮ ДИНАМІЧНОГО МОМЕНТУ

Розглянуто актуальну тему синтезу і дослідження системи асинхронного ЕП зі скалярним частотним управлінням і зворотним зв'язком за оцінкою динамічного моменту, аналіз характеристик синтезованої САК методом математичного моделювання.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Для різних механізмів виникає необхідність регулювання частоти і напруги по певному закону, відповідному вигляду механічної характеристики і технологічним вимогам виконавчого механізму. Розроблена система асинхронного ЕП з частотним управлінням і зворотним зв'язком за оцінкою динамічного моменту є астатичною за навантаженням і може бути рекомендована до застосування у широкому колі промислових механізмів. Переваги таких систем перед іншими відомими астатичними системами скалярного частотного управління полягають перш за все у більшій простоті реалізації: замість 1 - 3 внутрішніх контурів регулювання струму або напруги достатньо організувати регулювання величини динамічного моменту за умови оцінювання його величини за допомогою спостерігачів стану.

Аналіз досліджень та публікацій. У приводах загального призначення з асинхронними двигунами звичайного виконання, а також у високошвидкісних установках використовується перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму і з автономним інвертором.

Для індивідуальних і багато рухомих нереверсивних приводів загального призначення малої і середньої потужності з діапазоном регулювання частоти до 20 і для високошвидкісних приводів з номінальною, частотою 200 - 2000 Гц і тим же діапазоном регулювання доцільний перетворювач з автономним інвертором напруги [1]. Для індивідуальних нереверсивних і реверсивних приводів і приводів, що працюють в напруженому і повторно-короткочасному режимі, при діапазоні регулювання до 20:1, незалежно від потужності раціональне вживання перетворювача з автономним інвертором струму. Для приводів, що вимагають широкого регулювання швидкості (понад 20:1), незалежно від потужності, може бути використаний перетворювач з автономним інвертором напруги з широко-імпульсною модуляцією [1].

Оптимізація статичних і динамічних режимів електроприводів змінного струму може бути досягнута в замкнутих системах управління. Найбільш універсальними системами частотного управління є такі, в яких стабілізуються або регулюються три величини: потік (струм), швидкість і абсолютне ковзання (не рахуючи внутрішніх контурів стабілізації напруги або струму). У статичному режимі така система, що працює з інвертором напруги, містить два контури стабілізації - потоку і швидкість [2]. При обмеженні моменту і в перехідних режимах діє контур стабілізації абсолютного ковзання.

При частотному управлінні високошвидкісними АД зазвичай першочерговими виявляються вимоги, що пред'являються до динамічних властивостей приво-ду, - найчастіше вимога пуску

двигуна за мінімальний час при обмеженні струму на заданому рівні.

Якнайповніше і порівняно простими засобами виконання цієї вимоги забезпечується в системі, що підтримує задані значення струму статора двигуна I_1 та абсолютного ковзання β [3].

Використовуючи системи автоматичного управління, що містять контури регулювання абсолютного ковзання і струму статора двигуна, вдається найпростіше і раціонально вирішувати завдання оптимізації не лише статичних, але і динамічних режимів асинхронного електропривода по різних критеріях оптимальності.

Дослідження в цьому напрямі розробляються на кафедрі електроприводу Уральського політехнічного інституту. Питання оптимізації динамічних режимів асинхронного електропривода розглядаються і вирішуються в наступних аспектах:

забезпечення максимальної швидкодії при управлінні швидкістю і кутом повороту двигуна з врахуванням обмежень на координати системи;

мінімізація енергії електричних втрат в асинхронному двигуні при виконанні заданої програми роботи [4].

Постановка завдання. Метою даної роботи є синтез і дослідження системи асинхронного ЕП зі скалярним частотним управлінням і зворотним зв'язком за оцінкою динамічного моменту, аналіз характеристик синтезованої САК методом математичного моделювання.

Викладення матеріалу та результати. Однією з важливих характеристик якісної системи автоматичного керування (САК) є її точність в ustalених режимах. Забезпечення астатизму системи за навантаженням сприяє підвищенню продуктивності роботи механізму і підвищує ефективність застосування САК.

В той же час організація регулювання будь-якої координати за принципом негативного зворотного зв'язку вважає за необхідне вимірювання або оцінку відповідної величини з достатньою точністю.

В теперішній час теорія синтезу спостерігачів стану (СС) стаціонарних систем розроблена достатньо широко, проте невирішеними залишаються окремі питання застосування принципів теорії СС до електроприводу (ЕП) змінного струму.

Метою даної роботи є синтез і дослідження системи асинхронного ЕП зі скалярним частотним управлінням і зворотним зв'язком за оцінкою динамічного моменту, аналіз характеристик синтезованої САК методом математичного моделювання.

Відомі рівняння рівноваги напруг статора та ротора короткозамкненого АД в ортогональній системі координат x, y , що обертається відносно нерухомої із кутовою частотою напруги статора $\omega_s = 2 \cdot \pi \cdot f_s$, і орієтована за вектором напруги статора [4] за умови прийняття додаткових припущень про малий вплив активного опору статора та про малу величину абсолютного ковзання АД можуть бути представлені у вигляді

$$\sigma \cdot L_s \cdot p \cdot i_{sx} = (\omega_s - \omega_R) \cdot \gamma - L_s \cdot \alpha_R \cdot i_{sx}, \quad M = \frac{3}{2} \cdot z_p \cdot \gamma \cdot i_{sx},$$

де співвідношення $\gamma = U_s / \omega_s$ визначається обраним законом частотного керування. Якщо перетворювач частоти (ПЧ) в колі статора спрощено представити аперіодичною ланкою з коефіцієнтом передачі і сталою часу, то на основі отриманої лінійної структурної схеми можуть бути синтезовані СС повного порядку (рис.1), які відрізняються один від одного перш за все порядком обраного об'єкту спостереження.

Оцінка точності встановлення величини динамічного моменту за допомогою синтезованих СС показала, що в режимі прямого пуску АД середнє значення динамічного моменту оцінюється з достатньою точністю.

При цьому найбільшу точність забезпечує СС першого порядку (похибка оцінювання середнього значення динамічного моменту не перевищує 5%).

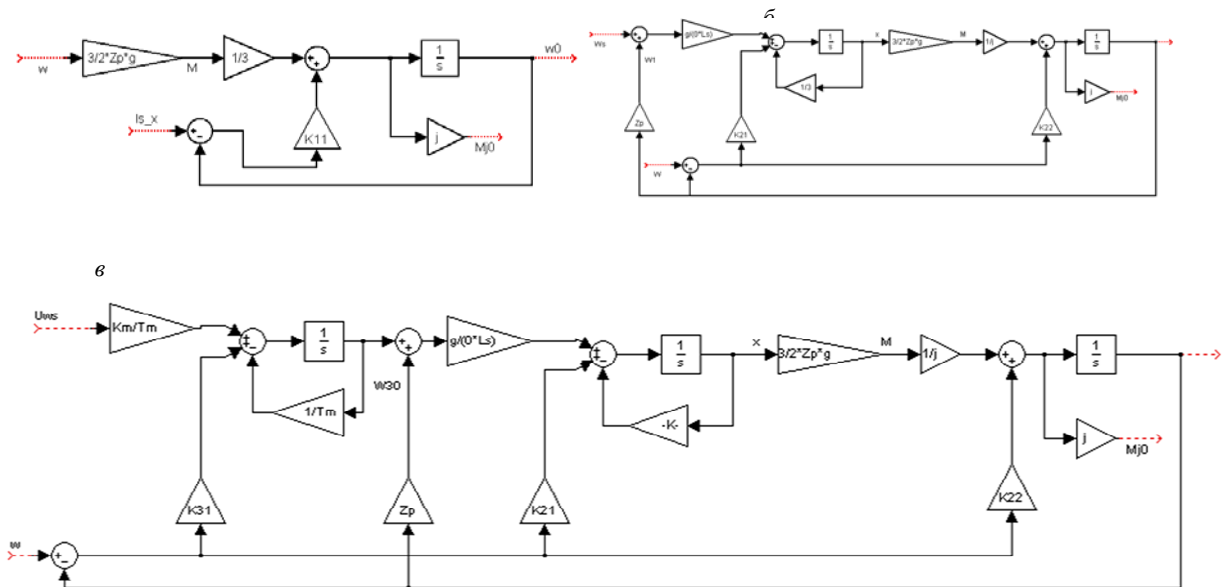


Рис.1. Структурні схеми спостерігачів стану повного порядку

Запропонована узагальнена функціональна схема САК зі зворотним зв'язком за оцінкою динамічного моменту наведена на рис. 2.

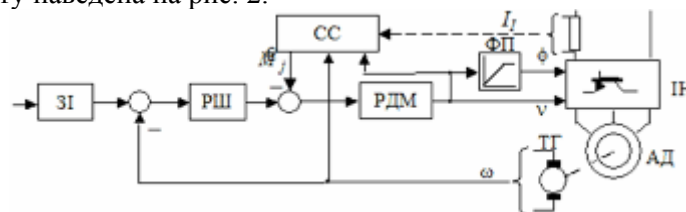


Рис. 2. Функціональна схема системи асинхронного ЕП із зворотнім зв'язком за оцінкою динамічного моменту

Дослідження, що були проведені методом математичного моделювання, показали, що системи асинхронного ЕП зі зворотнім зв'язком за оцінкою динамічного моменту практично забезпечують абсолютно жорсткі статичні механічні характеристики. Відносно динамічних характеристик розробленої системи встановлено, що найбільш несприятливим режимом є режим першого пуску при незбудженому двигуні. Робота в цьому режимі без вживання спеціальних заходів характеризується відносно нетривалими амплітудними коливаннями потокозчеплення, і внаслідок цього, - струму і моменту АД. В загальному випадку поліпшенню динаміки перехідного процесу під час першого розгону сприяють такі фактори:

- зменшення статичного навантаження під час пуску;
- підвищення інерційності внутрішнього контуру динамічного моменту;
- застосування спеціального закону зміни вихідного сигналу за датчика інтенсивності (ЗІ), який відрізняється від лінійного.

Система перетворювач частоти - асинхронний двигун (ПЧ-АД) знаходить все більше використання завдяки високим техніко-економічним показникам. При цьому для різних механізмів виникає необхідність регулювання частоти і напруги по певному закону, відповідному вигляду механічної характеристики і технологічним вимогам виконавчого механізму. Все це викликає потребу в створенні математичної моделі названої системи електропривода, в якій амплітуда і частота напруги ПЧ є незалежними координатами, що дозволяють виробляти над ними різні перетворення. У представленій нижче математичній моделі (рис. 3.) можна варіювати:

- час наростання величин, що управляють, тобто виконується функція задатчика інтенсивності;
- час переходу з одного сталого стану в інший, що дозволяє обмежувати кутове прискорення робочого органу;
- закон зміни співвідношення напруга / частота, що дає можливість застосовувати модель при аналізі різних механізмів

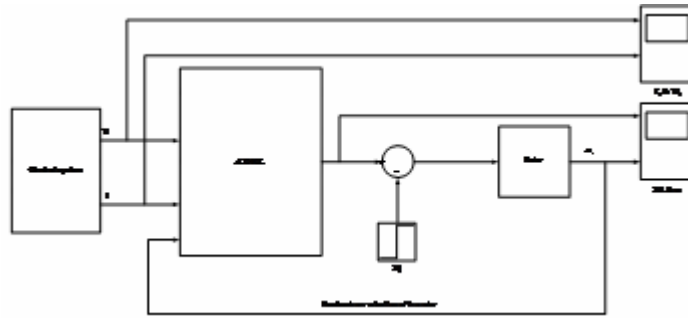


Рис. 3. Структурна схема моделі

Моменти часу t_1, t_2, t_3 , величини U_1, f_1, U_2 і f_2 відповідають величинам, приведеним на (рис. 4.), згідно технологічному режиму механізму.

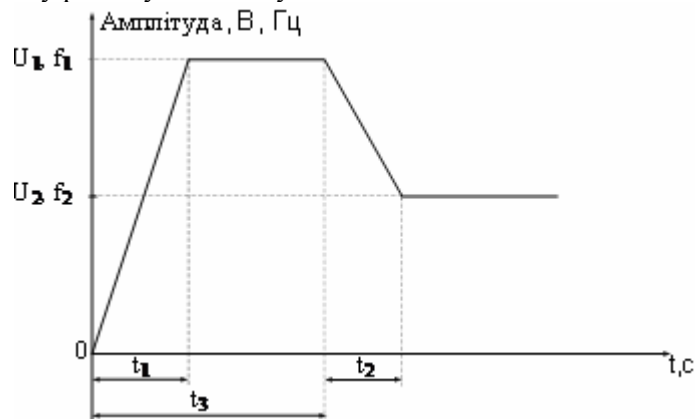


Рис. 4. Тимчасова діаграма зміни параметрів

На рис. 4. введено наступні позначення: t_1 - час наростання амплітуди (час пуску), с; t_2 - час переходу амплітуди з одного значення на інше, с; t_3 - момент часу, в який відбувається перехід на знижену швидкість, с.

U_1, f_1 - первинні значення напруги і частоти відповідно, В, Гц; U_2, f_2 - штучні значення напруги і частоти відповідно, В, Гц.

Необхідні умови $t_1 > 0, t_2 > 0, t_3 > 0, t_3 > t_1$.

Параметри $t_1, t_2, t_3, U_1, f_1, f_2$ задаються безпосередньо, а параметр U_2 обчислюється залежно від вибраного закону управління відношення частота/напруга.

$$1 \rightarrow \frac{U_1}{f_1} = \text{const}; 2 \rightarrow \frac{U_1}{f_1^2} = \text{const}; 3 \rightarrow \frac{U_1}{\sqrt{f_1}} = \text{const}.$$

На рис. 5 наведено графіки перехідних процесів при роботі ЕП за тахограмою для компромісного варіанту налагодження САК, робота якої відбувається при постійно діючому реактивному навантаженні, яке спадає.

Під час першого розгону застосований параболічний закон зміни вихідного сигналу ЗІ, а до контуру моменту внесено додаткову інерційність.

Аналіз графіків (див. рис. 5) показує, що значення всіх сигналів не перевищують припустимих значень.

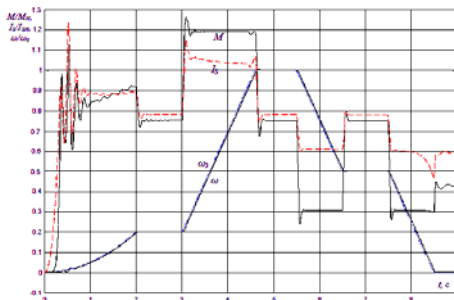


Рис. 5. Графіки перехідних процесів в системі при роботі за тахограмою

Таким чином, в даній роботі показано, що лінійні СС, які синтезуються на основі лінеаризованої моделі об'єкту "ПЧ - АД", можуть бути застосовані для достатньо точного встановлення параметрів реально нелінійного об'єкту. Синтезовані СС першого, другого та третього порядків, які достатньо точно встановлюють значення динамічного моменту як в усталених, так і в перехідних режи-

мах, і можуть бути рекомендовані до застосування у замкнених системах, які забезпечують достатню плавну зміну керуючого впливу.

Висновок та напрямок подальших досліджень. Розроблена система асинхронного ЕП з частотним управлінням і зворотним зв'язком за оцінкою динамічного моменту є астатичною за навантаженням і може бути рекомендована до застосування у широкому колі промислових механізмів. Переваги таких систем перед іншими відомими астатичними системами скалярного частотного управління [4] полягають перш за все у більшій простоті реалізації: замість 1 - 3 внутрішніх контурів регулювання струму або напруги достатньо організувати регулювання величини динамічного моменту за умови оцінювання його величини за допомогою спостерігачів стану. Результати теоретичного і експериментального дослідження дають підстави для вибору структур технічно оптимальних САУ, що забезпечують комплексне рішення задачі статичної і динамічної. При цьому, відкриваються можливості ефективного використання принципів підлеглого регулювання і елементів УБСК і, отже, єдиного підходу до проектування і уніфікації засобів управління електроприводами змінного і постійного струму.

Список літератури

1. Сандлер А. С., Аввакумова Г. К., Кудрявцев А. В., Никольский А. А. Преобразователи частоты на тиристорах для управления высокоскоростными двигателями. М., «Энергия», 1970.
2. Сандлер А. С., Сарбатов Р. С. Частотное управление асинхронными двигателями. М., «Энергия», 1986.
3. Сандлер А. С., Кудрявцев А. В., Никольский А. А. Системы частотного управления высокоскоростным электродвигателем средней мощности. – «Труды МЭИ. Электрооборудование промышленных предприятий», 1972, вып. 149.
4. Бродовский В. Н., Иванов Е. С. Бесконтактный электропривод с частотно – токовым управлением для замкнутых систем регулирования. – «Электричество», 1967, № 10.

Рукопис подано до редакції 19.03.14

УДК 621.331 (477)

О.В. ХРОМЕЙ, аспірант, Криворізький національний університет

ДО ПРОБЛЕМИ НЕОБХІДНОСТІ ТА НАПРЯМКІВ РОЗВИТКУ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Розглянуто найгостріші проблеми тягового електроприводу. Проаналізовано існуючі підходи до вирішення цих проблем на прикладі декількох типів локомотивів. Окреслено шляхи виходу з кризового становища електрорушійного складу з урахуванням державних програм та концепцій.

Проблема і її зв'язок з науковими та практичними завданнями. До проблем, які слід розв'язати для забезпечення подальшого розвитку тягового електроприводу, зокрема залізничного транспорту, належить низький рівень конкуренції на споживчому ринку [2]. Потребує вирішення питання щодо подолання відставання у розвитку мережі українських залізниць від залізниць країн ЄС та Росії, які також перебувають на різних стадіях реформування, але при цьому істотно випереджують залізниці України. Загальний ступінь зносу рухомого складу становить 68 відсотків, 30 відсотків загальної протяжності колій потребують ремонту [2]. 75 відсотків локомотивів випрацювали нормативний строк служби. Темпи старіння локомотивного парку значно перевищують темпи придбання нових сучасних зразків тягового рухомого складу. Станом на 2014 р. увесь парк електровозів ВЛ 8 потребує списання за строком служби, технічним станом і критерієм безпеки [4]. У зв'язку із цим обмежується швидкість руху поїздів, створюється реальна загроза безпеки руху на залізничному транспорті [2]. Отже, технічний стан рухомого складу не відповідає сучасним вимогам для транспортної системи ХХІ століття. Одна з найгостріших проблем - фізичне і моральне старіння локомотивного парку. Так, майже увесь тяговий рухомий склад українських залізниць побудовано згідно з вимогами шістдесятих років минулого століття, експлуатаційні витрати, якого постійно зростають, а економічність постійно знижується в порівнянні з новим поколінням локомотивів [4.] За обсягами вантажообігу «Укзалізниця» займає перше місце у Європі та друге в СНД. Є основним вузлом, що з'єднує Європу з Росією та Центральною Азією. На другій позиції у СНД та на четвертій у Європі за обсягами