

МОДЕЛЮВАННЯ КВАЗІВЕКТОРНОЇ СИСТЕМИ ЧАСТОТНО РЕГУЛЬОВАНОВОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА БЕЗ ДАВАЧА ШВИДКОСТІ

Вступ. Сучасний рівень розвитку перетворювальної техніки та жорсткі вимоги з боку споживачів ставлять перед колективом ВАТ НДІ «Перетворювач» питання розробки новітніх перетворювачів частоти для асинхронних електроприводів змінного струму. Потужний і результативний розвиток силової бази на протязі останніх років дозволяє сконцентрувати увагу на проектуванні системи керування з заданими техніко-економічними характеристиками за рахунок покращення параметрів регуляторів та алгоритмів керування [1].

Постановка задачі дослідження. При розробці автоматичних систем частотного регулювання асинхронних електроприводів (АЕП) знаходять широке використання три принципи керування: амплітудний, векторний та квазівекторний [2]. За першим принципом контролюються і регулюються тільки амплітудні значення електричних величин асинхронного двигуна (АД): статорних струму або напруги, електрорушійної сили (ЕРС) або потужності. Вадами даного принципу керування є неповне врахування електромагнітних процесів АД, що накладає певні обмеження на динамічні характеристики АЕП, а в ряді випадків не дозволяє забезпечити стійку їх роботу в робочому діапазоні зміни швидкості та навантаження.

Векторне керування, засноване на контролі та регулюванні як амплітуди та частоти, так і фазних значень електричних величин. При керуванні за цим принципом формується нормована висока якість електромеханічних процесів АЕП, близька до процесів в електроприводах постійного струму з підпорядкованим керуванням, при будь-яких значеннях швидкості та навантаження. Проте векторне керування вимагає складної технічної реалізації в АЕП, що зумовлено встановленням збільшеної кількості інформаційних давачів для контролю та керування фазних значень електричних величин або давача положення ротора на валу двигуна, а також спеціальних обчислювальних пристроїв координатного перетворювача, векторного аналізу, фазового зсуву, особливо в системах з автономним інвертором напруги при широтно-імпульсній модуляції (АІН - ШІМ).

Як відомо, в усталених режимах частотно-регульованих АЕП якість регулювання при скалярному та векторному принципах керування приблизно однакова. Вагомі відмінності ж з'являються лише в динамічних (перехідних) режимах роботи АЕП. При скалярному керуванні, на відміну від векторного, важко нормувати перехідні процеси регулювання АД, оскільки передаточні функції розімкнених контурів регулювання АД значно варіюються в залежності від режиму роботи АЕП. Проте, розроблено невелику кількість АЕП, в яких поряд з простою технічною реалізацією процесу регулювання та контролю вдається досягти нормованих якостей перехідних процесів. В таких електроприводах вплив чиниться безпосередньо на частоту та амплітуду основних гармонічних складових струмів та напруг, а керування фазними значеннями здійснюється через додатковий вплив на канал управління частотою. Даний принцип керування названо «квазівекторним». На сьогодні цей принцип є перспективним до використання через значну кількість економічних та технічних переваг при побудові систем електроприводів за його положеннями.

Проте, поряд з цим при налаштуванні таких систем для кожного конкретного випадку на об'єкті, не вдається отримати заданого характеру перехідного процесу, властивого багатьом системам підпорядкованого керування. Тому гостро постає питання розробки універсального принципу налаштування таких систем за умов знижених опорних частот, що надасть уніфікації налаштувань та дозволить зменшити втрати в системі керування до 10 – 15% за рахунок зменшення комутаційних втрат силових ключів та втрат в самих ключах АІН.

Проблема даного виду систем у загальному вигляді полягає в тому, що жорсткі інтенсивно зростаючі вимоги, які виникають останнім часом внаслідок переходу до повністю автоматизованих комплексів створює обставини, в яких для управління квазівекторною АЕП необхідна потужна система керування з оптимальними техніко-економічними показниками, яка повністю б при цьому задовольняла споживачів за своїми експлуатаційними якістьми.

Матеріали дослідження. Модель реалізована в обчислювальному середовищі Simulink Matlab, що дозволило забезпечити стандартний рівень інтерфейсного сервісу та інтегрувати в одну модель засоби аналізу даних та алгоритми їх імітації (симулювання) [3].

Особливістю розробленої квазівекторної системи АЕП (рис.1) є розімкненість системи за частотою обертання вала АД. Це робить дану систему універсальною і забезпечує можливість її використання в усіх галузях промисловості. Для орієнтації векторів використовується ЕРС двигуна, вимірювана непрямим способом за допомогою давачів активного струму та діючої напруги в ланці постійного струму. Але для реалізації систем регулювання без зворотного зв'язку за частотою обертання необхідні додаткові міри, що забезпечують стійку роботу приводу [3]. В каналі регулювання активного струму і, відповідно, моменту двигуна, помітний вплив чинить ЕРС, наведена потужності ротора. При компенсації ЕРС обертання, для приводів з невисокими вимогами до динаміки, іншими перехресними зв'язками можна знехтувати. При цьому введення стабілізації потужності ротора суттєво полегшує завдання технічної реалізації забезпечення компенсуючих сигналів. В

розроблюваному АЕП відсутні автоколивання, що в поєднанні зі зміною інтенсивності темпів розгону та введенні в задаючий генератор додаткового сигналу в функції ЕРС двигуна дозволило забезпечити високу якість регулювання частоти обертання АД в системі АІН – АД.

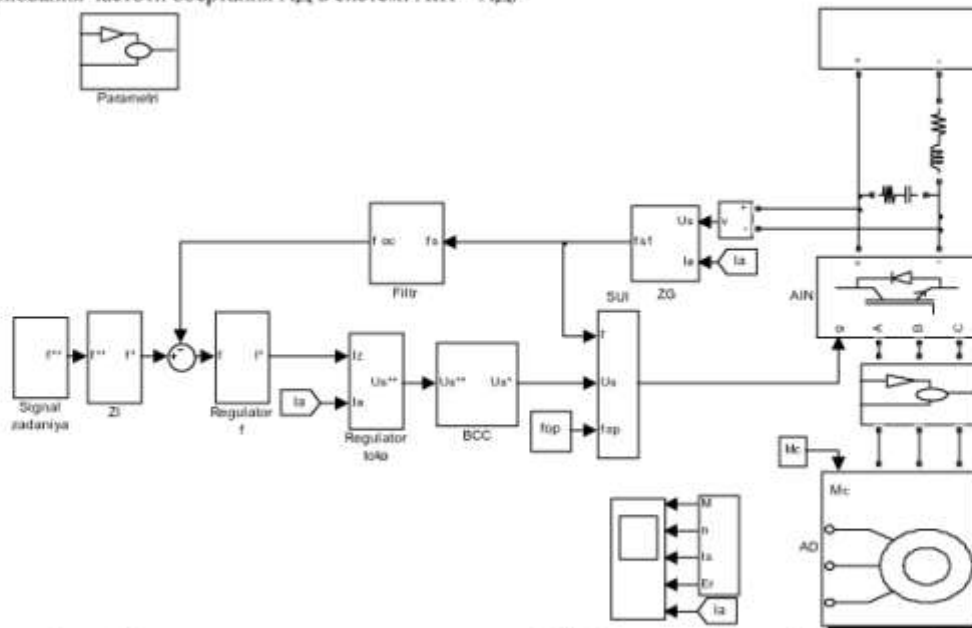


Рис. 1. Структурна схема системи регулювання АЕП без давача частоти обертання вала АД

З точки зору проектування перетворювачів, для АЕП потужністю 10 – 500 кВА з вихідною частотою до 1 кГц, встановлена потужність обладнання (конденсаторів, дроселів, напівпровідникових приладів) ряду схем АІН незначним чином відрізняються одне від одного. Тому в цих умовах висувуються вимоги мінімізації кількості допоміжних пристроїв, та оптимізація їх схемних рішень, алгоритмів керування. Досягати останнього можливо при синтезі оптимізованих регуляторів для певних контурів системи. Передавальні функції регуляторів частоти, що відповідають налаштуванню контурів регулювання частоти на модульний та симетричний оптимум, визначаються виразами:

$$W_{p.c.1}(p) = \frac{\kappa_c \cdot J}{4 \cdot T_\mu \cdot \Psi_r \cdot \kappa_u \cdot \kappa_r} \quad (1)$$

$$W_{p.c.2}(p) = \frac{(8T_\mu p + 1) \cdot \kappa_c \cdot J}{32 \cdot T_\mu^2 \cdot \Psi_r \cdot \kappa_u \cdot \kappa_r \cdot p} \quad (2)$$

де κ_c та κ_u – коефіцієнти передачі за струмом та частотою обертання; T_μ – стала часу випрямляча; J – приведений момент інерції приводу; p – оператор Лапласа; Ψ_r – модуль вектора потокозчеплення ротора АД.

Подібність структур АЕП та систем керування двигуном постійного струму (ДПС) показує можливість єдиного підходу до компенсації ЕРС обертання АД та внутрішньої ЕРС двигуна [4]. Це дозволяє сформувати єдиний уніфікований підхід до синтезу регуляторів активного струму, що забезпечать компенсацію ЕРС обертання. Оскільки внутрішній зв'язок за ЕРС викликає погіршення якості регулювання струму та швидкості двигуна, то повстає завдання її компенсації. В АЕП вплив ЕРС системи надто великий в порівнянні з системами ДПС, а компенсація самої ЕРС обертання дозволяє лінеаризувати систему АІН-АД і в більшості випадків знехтувати зв'язками двигуна. Синтезовані методом підпорядкованого керування передавальні функції регуляторів струму мають вигляд:

$$W_{p.c.1}(p) = \frac{1}{4 \cdot T_\mu} \quad (3)$$

$$W_{p.c.2}(p) = \frac{k}{T_s p + 1} \quad (4)$$

де T_s – постійна часу обмотки статора; k – коефіцієнт, що враховує модуль комутаційної функції АІН, опори фільтрів, параметри об'єкта керування та коефіцієнт передавання вентиляного перетворювача за напругою.

На рис. 2 наведено результати імітаційної роботи АЕП з АІН та двигуном типу АД906У1 ($P_{ном} = 240$ кВт, $n = 982$ об/хв, $I_{ном} = 135$ А), який встановлюється в якості тягового АД на дизель-поїзді ДЭЛ-02. Моделювання проводилося за опорної частоти 300 Гц. Масштаб на осі часу складає 10:1 – через великий момент інерції дви-

гуна для зменшення розтягнутості графіків.

Настройка регулятора частоти виконувалася за симетричним оптимумом. Мала стала струмового контуру складала 5 мс.

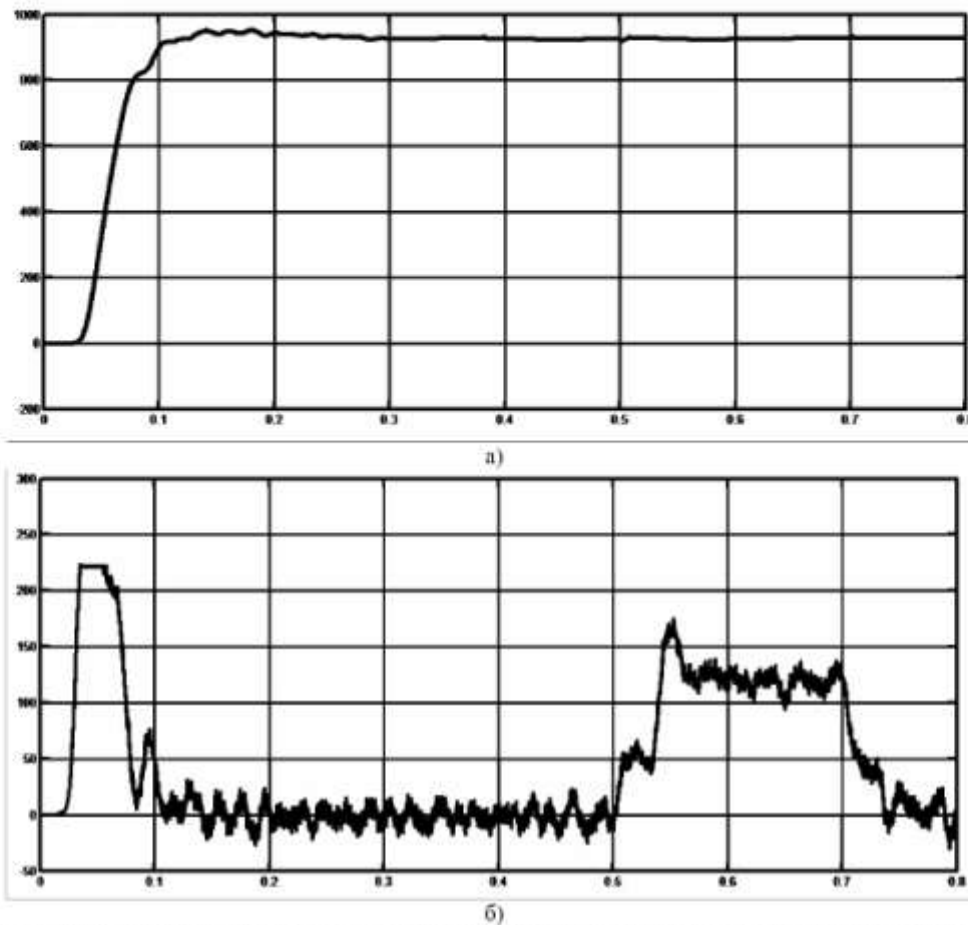


Рис. 2 Перехідні процеси частоти обертання (а) та активного струму (б) системи регулювання АЕП без давача частоти обертання вала АД за умов зниженої опорної частоти (300 Гц)

Отримані перехідні процеси показують якість синтезованої системи при моделюванні високовольтних приводів з АІН-ШІМ. Коливальність системи пояснюється низькою опорною частотою та статизмом системи, що принципово відрізняє даний вид електроприводу від структури зі зворотнім зв'язком за частотою обертання ротора. Проте дане питання має перспективні рішення, які будуть втілені у майбутніх розробках авторів.

Висновки. Викладені положення регулювання частоти розімкнених в квазівекторних частотно – регульованих електроприводах забезпечують необхідний характер перехідних процесів та стійку роботу привода в робочому діапазоні зміни навантажень та частоти незалежно від виду перетворювача, що дозволяє уніфікувати системи керування для серійного випуску. Розглянуті принципи регулювання АЕП без зворотного зв'язку за частотою обертання ротора АД та при понижених опорних частотах перемикання силових ключів АІН підтверджено результатами імітаційного моделювання та підготовлено до втілення у практичне використання на серійних АЕП, що випускаються ТОВ НДІ «Перетворювач».

Література.

1. Волков А.В., Пивняк Г.Г. Современные частотно – регулируемые асинхронные электроприводы с широтно – импульсной модуляцией. – Днепропетровск, 2006. – 421 с.
2. Дацковский Л.Х., Роговой В.И., Абрамов В.И. Современное состояние и тенденции в асинхронном частотно – регулируемом электроприводе (краткий аналитический обзор) // Электротехника.-1996.-№10. - с.18-28.
3. Калужный О. Я. Моделирование систем передачи сигналов в числительном окружении MATLAB-Simulink. Навч. посіб. - К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", 2004. -136 с.
4. Андриенко П.Д., Шрейнер Р.Т., Волков А.В. Динамика двухконтурной системы регулирования скорости асинхронного двигателя с обратной связью по частоте // ЭП. Электропривод. – 1982. - №9. – с. 5-8.