

ВЕКТОРНЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ГЕНЕРАТОРОМ: ЧАСТИНА 2: РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ТЕСТУВАННЯ

Пересада С.М., д.т.н., проф., Желінський М.М., аспірант, Рандюк А.А., магістрант

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу

Вступ. Заключною стадією проектування нових алгоритмів керування асинхронним генератором є їх практична реалізація з метою проведення експериментальних досліджень, що направлені на виявлення ефектів, які не враховуються при синтезі та моделюванні. До таких ефектів можна віднести: ефекти квантування за часом та рівнем, що може знизити показники якості керування, наявність шумів у вимірювальних сигналах, несиметричність машини та насичення її магнітної системи, неідеальність елементів апаратної частини.

Мета роботи. Експериментально дослідити динамічні та енергетичні показники системи векторного керування асинхронним генератором, яка представлена в першій частині цієї статті [1].

Матеріали і результати досліджень. Експериментальні дослідження алгоритмів керування, що представлені у першій частині статті, проведено на спеціально розробленій станції швидкого прототипного тестування алгоритмів керування [2], функціональна схема якої наведена на рис. 1.

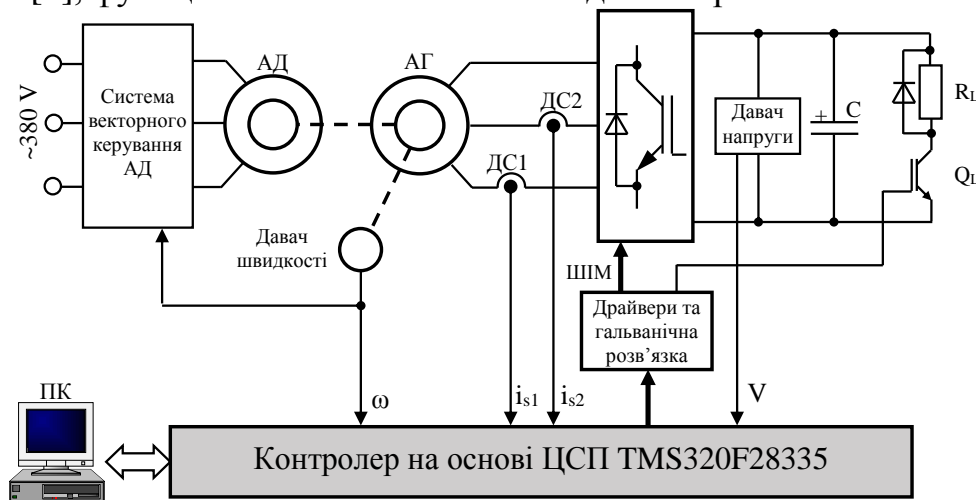


Рисунок 1 – Функціональна схема станції швидкого прототипного тестування алгоритмів керування

До складу станції входять: два АД потужністю 2.2 кВт, вали яких жорстко з'єднані муфтою, один з яких виступає у ролі первинного рушія, інший як досліджуваний АГ; фотоімпульсний дачач швидкості з роздільною здатністю 1024 імпульси на оберт; силовий напівпровідниковий перетворювач з автономним інвертором напруги на IGBT ключах 20А/380В з частотою ШІМ 5 кГц; керуючий контролер на основі 32-х розрядного цифрового сигнального процесора з плаваючою комою TMS320F28335, в якому реалізуються

досліджувані алгоритми; резистор, що виступає у ролі навантаження; персональний комп'ютер, що використовується для програмування, відлагодження та завантаження програм, візуального спостереження та запису перехідних процесів під час експериментів. Вимірювання струмів виконується за допомогою двох давачів струму, принцип роботи яких оснований на ефекті Хола. Період квантування за часом при цифровій реалізації алгоритмів керування складав 200 мкс. Ємність ланки постійного струму 1000 мкФ. Первинний рушій працює в режимі керування швидкістю, забезпечує стабілізацію швидкості електричних машин.

Параметри налаштування системи векторного керування АГ та послідовність операцій керування наведені у першій частині статті [1].

На рис. 2 представлено експериментальні перехідні процеси робастного непрямого алгоритму векторного керування (РВК) при номінальному значенні опору ротора.

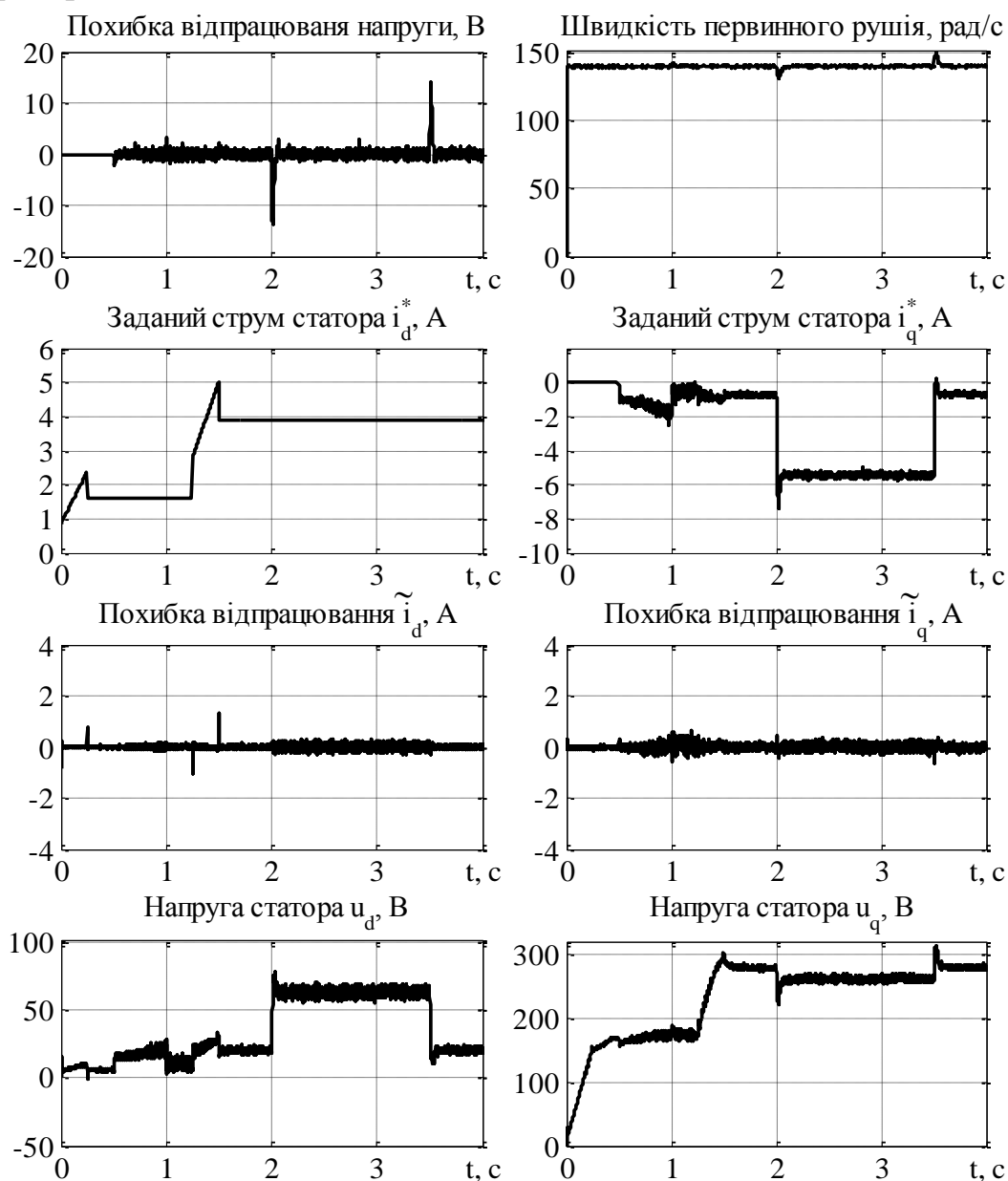


Рисунок 2 – Перехідні процеси системи РВК при номінальному опорі ротора

З рис. 2 видно, що при відпрацюванні заданої траєкторії напруги ланки постійного струму виникає динамічна похибка величиною 3 В, а у моменти під'єднання та від'єднання навантаження 15 В. Задані компоненти струму статора відпрацьовуються з динамічною похибкою в 1.2 А у моменти зміни траєкторій. Для підтримання номінального потокозчеплення 0.96 Вб необхідний струм по осі d 3.87 А, що співпадає з результатами моделювання. В тих же умовах при під'єднанні номінального навантаження величина струм по осі q склала -5.2 А (+6%).

Як показано в [1], [3], варіація $Q < 1$ призводить до зменшення величини магнітного потоку ротора, що вимагає збільшення моментної складової струму статора. При $Q > 1$ – до збільшення потокозчеплення, як наслідок, електромагнітна система входить у зону насичення, при цьому АГ працює з майже постійним модулем потокозчеплення, але з порушеним полеорієнтуванням.

На рис. 3а представлено перехідні процеси системи стандартного векторного керування (СВК) при варіації активного опору ротора $Q = 0.7$, а на рис. 3б для $Q = 1.6$. З рис. 3а ($Q = 0.7$) видно, що при під'єднанні та від'єднанні навантаження усталене значення струму статора по осі q збільшилося до -6.5 А (+25%), динамічна похибка відпрацювання напруги при цьому склала ± 16 В (+7%). Перехідні процеси при відпрацюванні напруги та струму статора по осі q мають коливальний характер.

На рис. 3б ($Q = 1.6$) видно, що при під'єднанні та від'єднанні навантаження струм статора по осі q збільшився до -7 А (+35%), а динамічна похибка відпрацювання напруги склала ± 17 В (+14%). Перехідні процеси при відпрацюванні напруги та струму статора по осі q мають затягнутий аперіодичний характер.

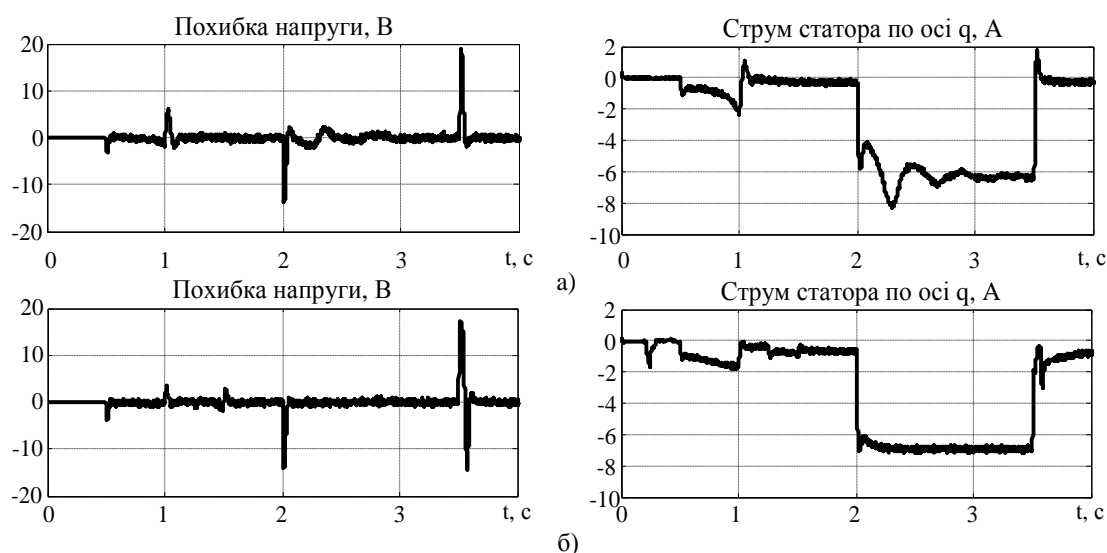


Рисунок 3 – Перехідні процеси в системі СВК при варіації
а) $Q = 0.7$; б) $Q = 1.6$

На рис. 4а,б представлені результати експериментального дослідження РВК при $Q = 0.6$ та $Q = 1.6$ відповідно.

З рис. 4а ($Q=0.6$) видно, що динамічна похибка відпрацювання напруги у моменти під'єднання та від'єднання навантаження ∓ 14 В (-7%), а струм статора по осі q під час навантаження збільшився до -5.4 А (+4%). З рис. 4б ($Q=1.6$) видно, що у тих самих умовах струм статора по осі q склав -5.2 А, а динамічна похибка відпрацювання напруги залишилася без змін.

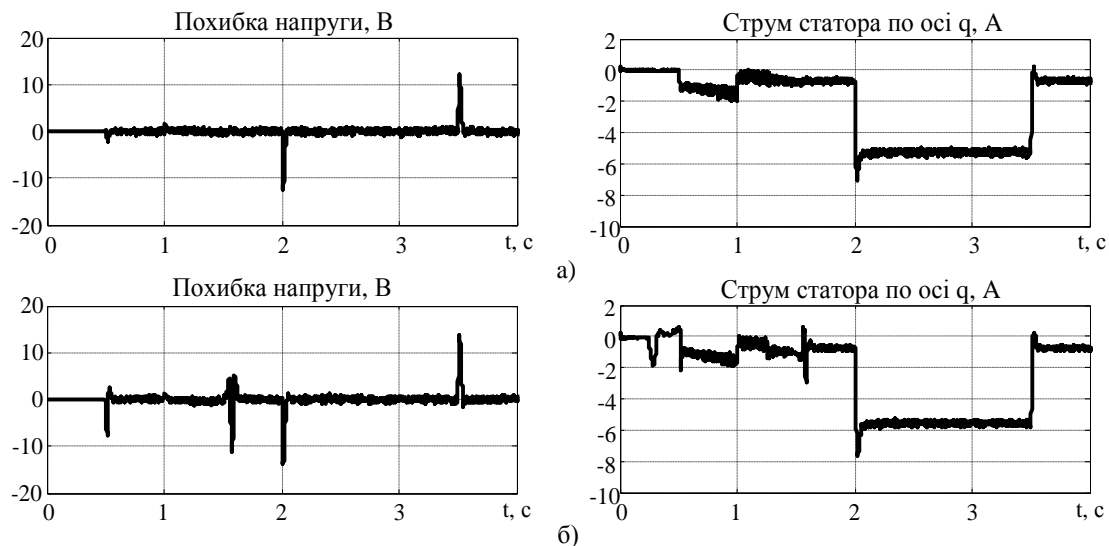


Рисунок 4 – Перехідні процеси в системі РВК при варіації
а) $Q=0.6$, б) $Q=1.6$

Для перевірки результатів дослідження енергетичних характеристик, отриманих шляхом моделювання, проведено експериментальне тестування СВК та РВК, результати якого представлено на рис. 5. В умовах тесту задавалася варіація активного опору роторного кола в діапазоні $0.6 < Q < 1.6$. В усталеному режимі роботи на швидкості 140 рад/с під навантаженням фіксувалися значення моментної компоненти струму статора та механічної потужності первинного рушія.

З рис. 5 видно, що застосування робастного алгоритму векторного керування АГ, навіть при значних відхиленнях опору ротора від номінального значення, дозволяє підтримувати моментну складову струму статора по осі q майже на постійному рівні, в той час як при використанні стандартного алгоритму ця компонента значно зростає. В результаті, для компенсації струму навантаження необхідна більша механічна потужність первинного рушія.

Як слідує з рис. 5 характеристики, які були отримані шляхом моделювання [1] та експериментального тестування, відрізняються. Так, при експериментальному дослідженні моментоутворююча компонента струму статора та вхідна механічна потужність при СВК мають параболічний вигляд, тоді, як при моделюванні присутня тільки частина параболи, коли $Q < 1$. Це є результатом того, що моделювання проведено для лінійної магнітної системи АГ, яка не враховує ефект насичення реальної електричної машини. Значення механічної потужності в результатах моделювання і експериментальних досліджень також відрізняються, оскільки при моделюванні не враховувались втрати в сталі АГ, а також втрати в перетворювачі.

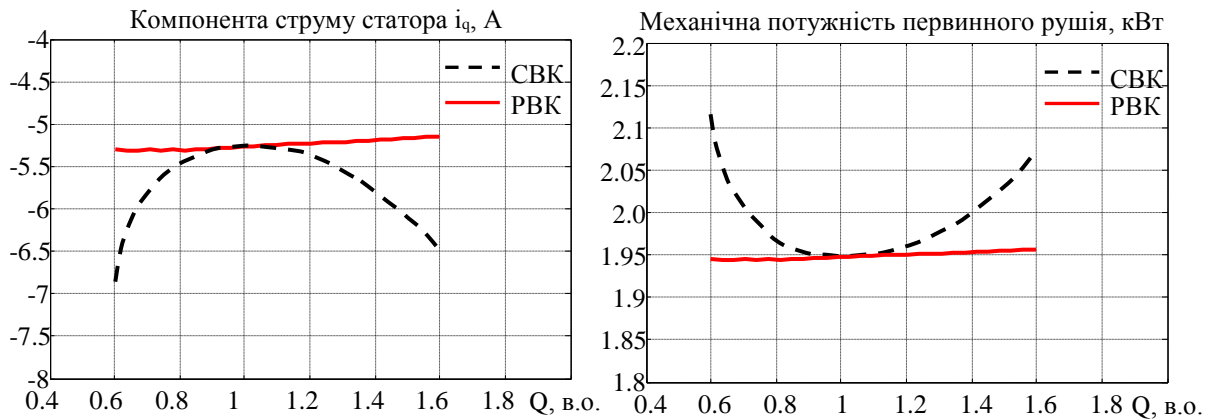


Рисунок 5 – Експериментальні енергетичні характеристики при варіації активного опору ротора

Висновки. Представлено результати експериментального тестування двох алгоритмів непрямого векторного керування АГ: стандартного та робастного до варіацій активного опору ротора. Експериментально підтверджено основні результати моделювання динамічних режимів АГ, що наведені у першій частині статті [1]. Показано, що на відміну від стандартного алгоритму, РВК [3] забезпечує робастність до варіацій активного опору ротора, гарантує робастну стабілізацію динамічних показників якості керування і енергетичної ефективності процесів електромеханічного перетворення енергії.

Дослідження енергетичних характеристик при варіації $Q > 1$ та $Q < 1$ шляхом математичного моделювання та експериментального тестування показують, що математична модель АГ з лінійним магнітним колом не відображає фізичні процеси в умовах потокозчеплень більших за номінальне значення. Це обумовлює необхідність врахуванням кривої намагнічування, як при синтезі алгоритмів керування так і їх дослідженні.

Перелік посилань

1. Пересада С. М. Векторне керування асинхронним генератором. Частина 1: робастний алгоритм керування, дослідження динамічних режимів моделюванням / С. М. Пересада, М. М. Желінський, А. А. Рандюк // Міжнародний науково-технічний журнал «Сучасні проблеми електроенергетехніки та автоматики», – Київ, 2017. – в редакції.
2. Ковбаса С. М. Высокопроизводительный унифицированный контролер на основе DSP TMS320F28335 для электромеханических систем / С. М. Ковбаса, А. Б. Воронко // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – №36 (1009). – С. 293 – 295.
3. Bozhko S. Robust Indirect Field Oriented Control of Induction Generator / S. Bozhko, S. Peresada, S. Kovbasa, M. Zhelinskyi // Int Conf. on Electrical Systems for Aircraft, Railway, Ship Propulsion and Road Vehicles and the International Transportation Electrification Conference, ESARS ITEC 2016, 2 - 4 Nov, France. – 2016. – pp. 1-6.