

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПОХИБОК СИНХРОННОГО ТАХОГЕНЕРАТОРА НА РІВЕНЬ ПУЛЬСАЦІЙ МОМЕНТУ І КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ БЕЗКОНТАКТНОГО ТИХОХІДНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Вступ. Для прецизійного керування системами наведення окремих груп спеціальних об'єктів (оптичні і радіотелескопи, системи орієнтації штучних супутників Землі і космічних апаратів, комплекси озброєнь тощо) [1] доцільно використовувати тихохідні безредукторні електроприводи (ЕП). З метою векторного керування моментом приводних безконтактних електродвигунів у цих ЕП та побудови на нижньому рівні автономної САР кутової швидкості на базі трифазного синхронного тахогенератора (ТГ) з високою крутизною вихідної характеристики та збудженням від постійних магнітів розроблено комплексний давач кута положення ротора, кутової швидкості і напрямку обертання [2]. Оскільки ЕП призначений для роботи на інфранизких частотах обертання (порядку одного оберту за добу), вказана інформація отримується в результаті цифрової обробки бігучих значень вихідних напруг трьох фаз ТГ за спеціально розробленим алгоритмом [2]. Враховуючи прецизійність ЕП, в [3] шляхом математичного моделювання проаналізовано вплив випадкових конструктивних кутових, амплітудних і гармонічних відхилень від симетрії на точність визначення кута положення і кутової швидкості. Зокрема, запропоновано прийоми вирізання (виключення з аналізу) зон максимальних значень похибок (в місцях переходу фазних напруг ТГ через нуль) та усереднення результатів, отриманих від трьох каналів в результаті попарної обробки напруг різних фаз, що дозволяє суттєво знизити вплив кутових, амплітудних і гармонічних відхилень на рівень відносної похибки визначеної кутової швидкості.

Постановка задач дослідження. Метою дослідження є оцінка на комп'ютерній моделі впливу вказаних конструктивних похибок синхронного ТГ на рівень пульсацій моменту і кутової швидкості вентильного ЕП змінного струму інфранизкої швидкості.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити математичну модель синхронного ТГ, яка б давала можливість задавати конкретні значення кутових, амплітудних і гармонічних відхилень від симетрії;
- побудувати в середовищі MatLab/Simulink комп'ютерні моделі тахогенератора з дискретним алгоритмом обробки його вихідних напруг, а також вентильного ЕП;
- дослідити на моделі вплив вказаних конструктивних відхилень на рівень пульсацій моменту і кутової швидкості ЕП, а також розробити заходи щодо зниження пульсацій.

Матеріали дослідження. У досліджуваному ЕП як двигун, так і ТГ є багатополісними машинами ($p = 44$) з постійними магнітами в роторі. На рис. 1 показано ескіз чотириполісного фрагменту ТГ з відповідною однією секцією трифазної обмотки статора ($a = 22$). Оскільки такий фрагмент ідентично (без врахування відхилень) повторюється в машині 22 рази з послідовним з'єднанням фазних обмоток, то саме він є основою математичної моделі ТГ. При побудові останньої прийняті наступні допущення, які дозволяють спростити модель, не значно вплинувши на її чутливість до конструктивних відхилень: активна частина магнітної системи приймається дво-

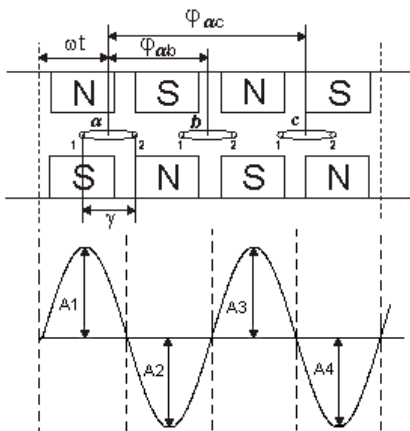


Рис. 1. Ескіз чотириполісного фрагменту ТГ

вимірною шириною l і, зважаючи на її порівняно великий діаметр, лінійною; близьку до синусоїдальної кутову залежність потокозчеплення реальних розподілених обмоток статора з магнітними полюсами ротора замінено взаємодією полюсів з синусоїдальним розподілом індукції магнітного потоку в повітряному проміжку та n ідентичних витків обмотки статора. Амплітудні відхилення напруг ТГ, викликані неідентичністю магнітів, тепер будуть задаватися у фрагменті (рис. 1) чотирима коефіцієнтами A_1 - A_4 , на які треба помножити задане значення амплітуди індукції магнітного потоку B_m ; гармонічні відхилення – різними значеннями ширини витка γ обмотки статора у 4-полісних фрагментах активної частини ТГ; кутові відхилення – різними значеннями кутів між фазами φ у цих фрагментах. Виходячи з цього, ЕРС i -ї фазної обмотки статора ТГ буде описуватися наступним виразом:

$$E_i = an\omega B_m [A_{i1}(\omega t + \varphi_i - \gamma) - A_{i2}(\omega t + \varphi_i + \gamma)], \quad (1)$$

де A_{i1} і A_{i2} – коефіцієнти амплітуди індукції магнітного потоку для лівого 1 і правого 2 провідників (рис. 1) i -го витка обмотки статора в залежності від розташування обмотки в даний момент часу t .

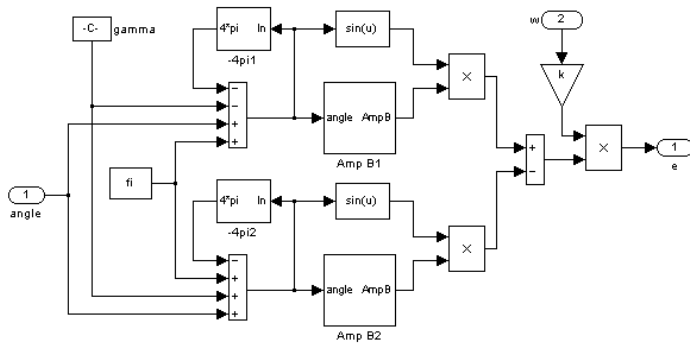


Рис. 2. Комп'ютерна модель секції фазної обмотки 4-полусного фрагмента синхронного ТГ

вихідних напруг ТГ, побудовано відповідно до запропонованого алгоритму [2,3] з досить великої кількості підпрограм з використанням переважно блоків бібліотеки Fixed-Point Blockset. Вентильний ЕП представлений функціональною моделлю в двофазній нерухомій системі координат [4], що виключає пульсації силового комутатора і дозволяє вивчати вплив на пульсації моменту лише сигналів, отриманих від досліджуваного комплексного давача координат руху.

Створена таким чином комп'ютерна модель дала можливість провести комплекс досліджень.

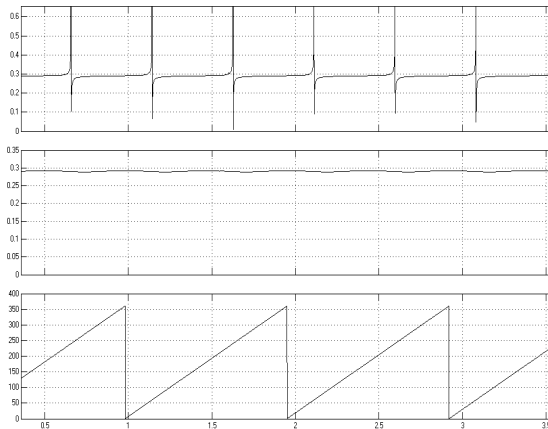


Рис. 3. Осцилограми отриманих від комплексного давача (одного фрагменту ТГ) сигналів у випадку міжфазної кутової похибки величиною 0,5 ел. град.:

- кутової швидкості за одним каналом обробки;
- кутової швидкості за трьома каналами обробки з використанням прийомів вирізання та усереднення;
- кута положення ротора за одним каналом обробки

На рис. 3 наведені осцилограми отриманих від комплексного давача (одного фрагменту ТГ) сигналів у випадку міжфазної кутової похибки величиною 0,5 ел. град. Осцилограма демонструє ефективність прийомів вирізання та усереднення, усуваючи різкі викиди кутової швидкості та забезпечуючи її максимальну відносну похибку в результаті пульсацій на рівні $\delta\omega=1,5\%$. Як показали дослідження, найбільш ефективним є вирізання інтервалу шириною 60 ел. град, що забезпечує усереднення завжди з двох значень.

На рис. 4 наведені аналогічні осцилограми у випадку амплітудних відхилень до 10%: коефіцієнти амплітуди індукції магнітного потоку відповідно рівні 1,1; 0,95; 1,05; 0,9. Після вирізання і усереднення отримано $\delta\omega \leq 3\%$. Чітко спостерігається повторюваність характеру пульсацій з періодом, рівним 4π .

Для дослідження пульсацій моменту двигуна його комутацію проводили за отриманим від комплексного давача кутом положення ротора, показаним на осцилограмах (рис. 3,4). Як видно з останньої осцилограми, наве-

Комп'ютерна модель, яка реалізує рівняння (1), показана на рис. 2. Підпрограми Amp B дають змогу визначати значення коефіцієнтів A для відповідного вхідного кута; підпрограми $-4\pi i$ скидають бігуче значення вхідного кута до нуля після досягнення ним значення 4π , чим забезпечується циклічність проходження кожним витком котушки повітряного проміжку 4-полусного фрагменту активної частини ТГ. Один фрагмент моделюється трьома моделями, показаними на рис. 2, зсунутими на заданий кут φ_i . Весь ТГ буде складатися з $p/2$ кількості вказаних фрагментів, вихідні сигнали яких пофазно додаються. Модель, що відображає алгоритм обробки

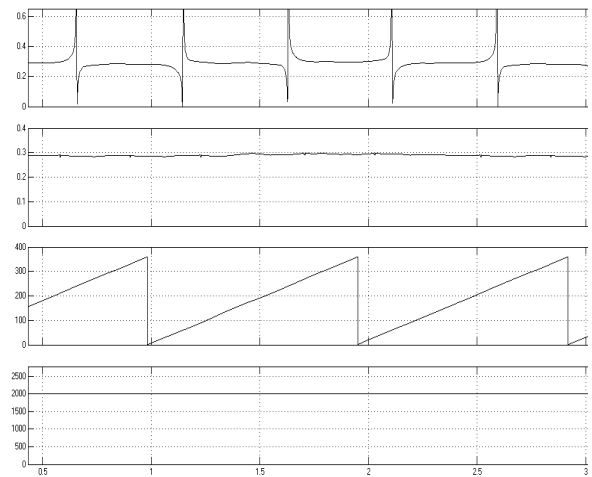


Рис. 4. Осцилограми отриманих від комплексного давача (одного фрагменту ТГ) сигналів у випадку амплітудних відхилень до 10%:

- кутової швидкості за одним каналом обробки;
- кутової швидкості за трьома каналами обробки з використанням прийомів вирізання та усереднення;
- кута положення ротора за одним каналом обробки;
- моменту двигуна з комутацією за отриманим сигналом положення ротора

деної на рис. 4, рівень пульсацій моменту у випадку амплітудних відхилень на рівні 10% не перевищує 0,1%. Ще менше значення мають пульсації моменту, зумовлені кутовими та гармонічними відхиленнями.

Для дослідження впливу гармонічних відхилень використано 4 фрагменти ТГ з різними значеннями кута γ : 60, 70, 80, 90 ел. град. Не дивлячись на значний заданий діапазон відхилень γ , отримано результат – $\delta\omega = 0,7\%$.

У досліді з поєднанням усіх трьох типів конструктивних відхилень з вищевказаними рівнями отримано наступні значення відносних пульсацій моменту і кутової швидкості: $\delta M = 0,11\%$, $\delta\omega = 2,5\%$.

Періодичний характер пульсацій підказав простий спосіб зменшення пульсацій кутової швидкості, зумовлених розкидом параметрів магнітів: попереднє тестування їх і розміщення таким чином, щоб сумарна амплітуда індукції магнітного потоку для кожної з 4-х пар полюсів усіх фрагментів була однаковою. Так, задавши значення коефіцієнтів А1-А4 для 4-х фрагментів ТГ, як показано в табл., отримано вихідний сигнал кутової швидкості практично без пульсацій, що видно із осцилограми, наведеної на рис. 5.

Коефіцієнти амплітуди індукції магнітного потоку	Значення коефіцієнтів амплітуди індукції магнітного потоку для 4-полюсних фрагментів ТГ				Сума коефіцієнтів амплітуди індукції магнітного потоку
	1	2	3	4	
A1	1,1	0,95	0,9	1,05	4,0
A2	0,95	1,0	0,95	1,1	4,0
A3	1,05	0,9	1,05	1,0	4,0
A4	0,9	1,05	1,1	0,95	4,0

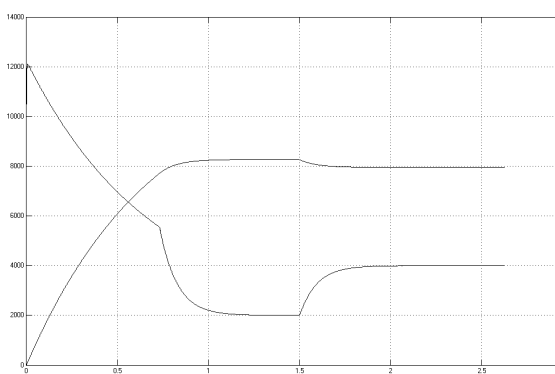


Рис. 5. Осцилограма запуску ЕП та накидання моменту навантаження 2000 Нм

Висновки.

1. Виявлена важлива особливість розробленого алгоритму обробки вихідних напруг синхронного ТГ, яка полягає у дуже малій чутливості отриманого значення кута положення ротора до конструктивних похибок ТГ.

2. Для зниження рівня пульсацій кутової швидкості, зумовлених амплітудними відхиленнями, необхідно попередньо протестувати та відповідно розмістити магнітні полюси індуктора ТГ.

3. Комплексом організаційних та алгоритмічних заходів пульсація сигналу кутової швидкості на виході ТГ, зумовлена його конструктивними похибками, може бути доведена до рівня, що не перевищує 1%.

4. У випадках більш високих вимог до рівня пульсацій вимірюваної ТГ кутової швидкості доцільно, враховуючи періодичність характеру пульсацій, апроксимувати експериментально отриману їх залежність від кута положення ротора та використати отриману функцію для корекції сигналу ТГ.

Література.

1. Следящие приводы: В 3 т. / Под ред. Б.К.Чемоданова. Т. 2: Электрические следящие приводы / Е.С.Блейз, В.Н.Бродовский, В.А.Введенский и др. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2003. – 880 с.
2. Щур І.З., Малайчук С.О., Козій В.Б. Алгоритм роботи комплексного давача електричного кута положення, швидкості і напрямку обертання для тихохідного електропривода // Електроенергетичні та електромеханічні системи: Вісн. Націон. ун-ту “Львівська політехніка”. – № 544. – Львів: Вид-во Націон. ун-ту “Львівська політехніка”, 2005. – С.168-173.
3. Щур І.З., Козій В.Б., Костинюк Л.Д. Підвищення точності визначення кутової швидкості за напругами синхронного тихохідного тахогенератора // Електроенергетичні та електромеханічні системи: Вісн. Націон. ун-ту “Львівська політехніка”. – №563. – Львів: Вид-во Націон. ун-ту “Львівська політехніка”, 2006. – С. 165-173.
4. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0. – СПб.: КОРОНА принт, 2001. – 320 с.

***INFLUENCING OF STRUCTURAL ERRORS OF SYNCHRONOUS
TACHOGENERATOR ON LEVEL OF PULSATIONS OF MOMENT AND ANGULAR
SPEED OF CONTACTLESS SLOW ELECTRIC DRIVE***

The computer model of synchronous tachogenerator is built, which enables to design his structural deviations from symmetry. The conducted researches on the model of whole system of electric drive allowed to estimate influencing of concrete angular, amplitude and harmonic deviations in the tachogenerator construction on the level of pulsations of moment and angular speed, and also to offer the organizational and algorithmic measures directed on diminishment of these pulsations.