

УТОЧНЕННЯ ВИСОКОЧАСТОТНИХ ПАРАМЕТРІВ КРОКОВОГО ДВИГУНА 57SHD0437-20В ПРИ ЖИВЛЕННІ ВІД ПРИВОДУ ТВ6600

Горбатко Д.Д., магістрант, Стулішенко А.С., PhD, асистент

КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра електромеханіки

Вступ. З розвитком науки і техніки та постійним зростанням потреб промисловості у нових електромеханічних перетворювачах енергії з відмінними від класичних машин характеристиками та вимогами з'явився новий тип двигунів, а саме крокові двигуни. Відносити їх повністю до звичайних синхронних машин не є зовсім вірним, так як вони є машинами імпульсної дії, та працюють як правило від спеціальних електронних схем керування. Вони мають ряд суттєвих переваг над класичними машинами, до яких можна віднести дуже низьку швидкість обертання валу без використання редуктора, високу точність та стабільність у відпрацюванні сигналів керування, момент фіксації, який виключає самовільне провертання ротора. До недоліків належать низький ККД, мала вихідна потужність на одиницю ваги, ступінчаста зміна кута повороту при обертанні [1]. Дані недоліки вже частково вирішуються за рахунок використання перетворювачів з високим дробленням кроку та покращення матеріалів активної частини.

Основні переваги даного електроприводу над іншими полягають саме у дуже високій керованості та можливості позиціонування. Цього можливо досягнути лише коли кроковий двигун живиться від сучасного спеціального перетворювача під'єданого до системи керування, яка надсилає приводу інформацію про необхідне переміщення та напрямок обертання. Більшість таких схем для реалізації мікрокрокового режиму використовують широтно-імпульсну модуляцію з високою частотою імпульсів. При цьому у обмотці виникають перехідні процеси, дослідження яких є актуальним завданням враховуючи зростаючу популярність приводів з ШІМ.

Наразі крокові двигуни дуже широко використовують у складі різних верстатів з числовим програмним керуванням. До прикладу у 3Д принтерах різної конструкції, а також у верстатах для лазерного гравіювання.

Мета роботи. Уточнити параметри високочастотної схеми заміщення обмотки крокового двигуна типорозміру NEMA 23, що живиться від перетворювача з ШІМ у режимі дроблення кроку. Провести дослідження перехідних процесів у квазістатичному режимі роботи.

Матеріали і результати досліджень. З загального курсу електричних машин добре відомі не високочастотні параметри обмотки. Для проведення розрахунків статичних характеристик при номінальній частоті мережі їх виявляється достатньо. Проте для моделювання перехідних процесів, а також проведення розрахунків при дії на обмотку швидкоплинних напруг необхідно мати значення ряду додаткових високочастотних параметрів. До них можна віднести ємність обмотки до корпусу, індуктивність розсіювання та активний опір пов'язаний з протіканням вихрових струмів у магнітопроводі статора [2].

Необхідно враховувати, що чим точніше буде визначено всі параметри і чим правильніше буде складено високочастотну електричну схему заміщення, тим якіснішим буде результат розрахунку або моделювання у випадку використання спеціальних програм.

Задля досягнення поставленої мети було прийнято рішення визначити частину параметрів за допомогою LCR-метру, а інші (повздовжній активний опір R та індуктивність розсіювання L) шляхом зняття частотної характеристики обмотки. В результаті проведених досліджень встановлено, що резонансна частота при підключенні генератора з діючим значенням вихідної напруги 0,85 В двома виводами до початку та кінця фази дорівнює 2,4 МГц. Очевидно, що таке значення є дуже віддаленим від частоти широтно-імпульсної модуляції, яка складає для обраного приводу ТВ6600 приблизно 48 кГц. Тому необхідно посунути точку резонансу у бік нижчих частот шляхом підключення додаткової ємності паралельно обмотці. Експериментальним шляхом встановлено, що необхідне значення дорівнює 8,5 нФ. На рис. 1 наведено амплітудно та фазочастотні характеристики. Вони були отримані за допомогою двоканального осцилографа DSO2512G з вбудованим генератором сигналів. Результати вимірювання параметрів обмотки наведені у таблиці 1.

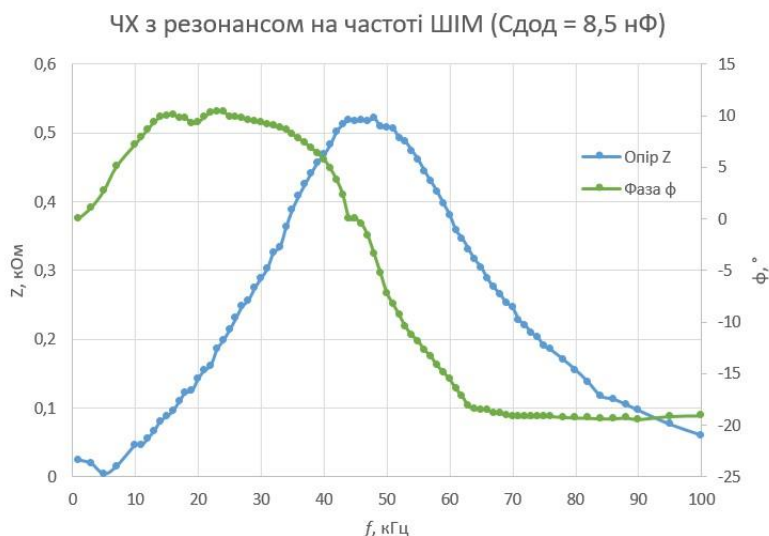


Рисунок 1 – Частотні характеристики крокового двигуна з додатковою ємністю 8,5 нФ та частотою резонансу 48 кГц

Таблиця 1 – Експериментально виміряні параметри обмотки досліджуваного двигуна.

R_m , Ом	R , Ом	L , мГн	C , нФ	$C_{\text{дод48}}$, нФ
1,2	520	1,29	0,106	8,5

У таблиці 1 значення R та L наведені для частоти 48 кГц. Значення індуктивності розраховано за наступною формулою [3]:

$$L = \frac{1}{\omega^2 C}$$

160

Наступним етапом є складання високочастотної схеми заміщення обмотки біполярного крокового двигуна у середовищі Matlab Simulink. Він має явнополюсну конструкцію статора. Зв'язками між фазами можна для спрощення знехтувати. У кожній фазі по чотири котушки, які намотані на одному з восьми зубців кожна. Враховуючи це доцільним є використати чотириланкову схему заміщення для обидвох фаз.

Для проведення моделювання необхідно зібрати у середовищі Matlab Simulink схеми з типових блоків. Для порівняння зроблено дві схеми, у одній з яких основним елементом є стандартний блок крокового двигуна, а в іншій високочастотна схема заміщення його обмотки. Час розрахунку було обрано 0,4 с. В результаті отримано осцилограми на рис. 2. Хоча візуально результат може здатись однаковим, пульсації струму на частоті модуляції для високочастотної схеми заміщення є в декілька разів більшими.

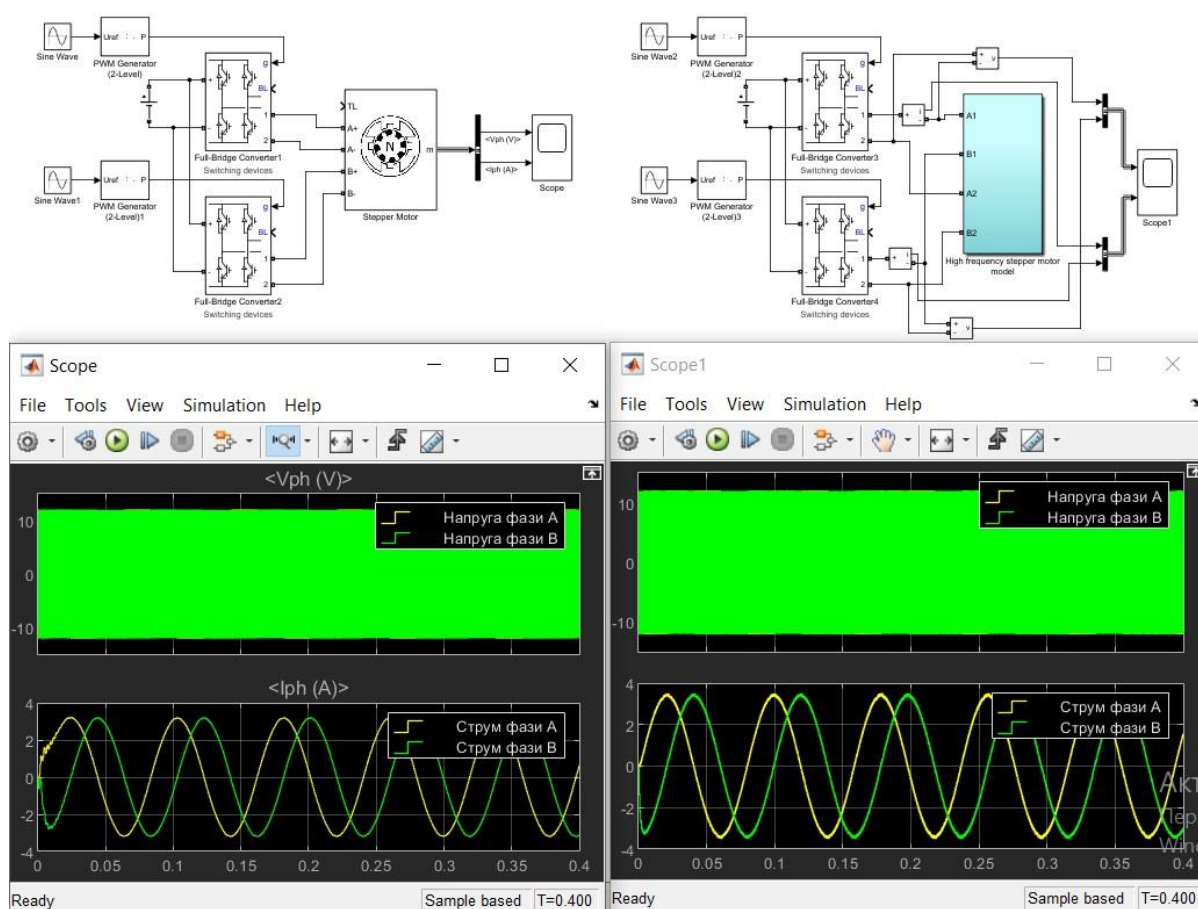


Рисунок 2 – Осцилограми струмів і напруг отримані шляхом моделювання у Matlab Simulink

Для того, щоб переконатись у правильності побудованої моделі та отриманого результату було прийнято рішення провести також експериментальне дослідження. Воно проводилось як і зняття частотних характеристик за допомогою двоканального осцилографа. Двигун був підключений до приводу ТВ6600 і працював без навантаження. Струм вимірювався за напругою на резисторі опором 0,1 Ом. Результати у вигляді осцилограм представлені на рис. 3.

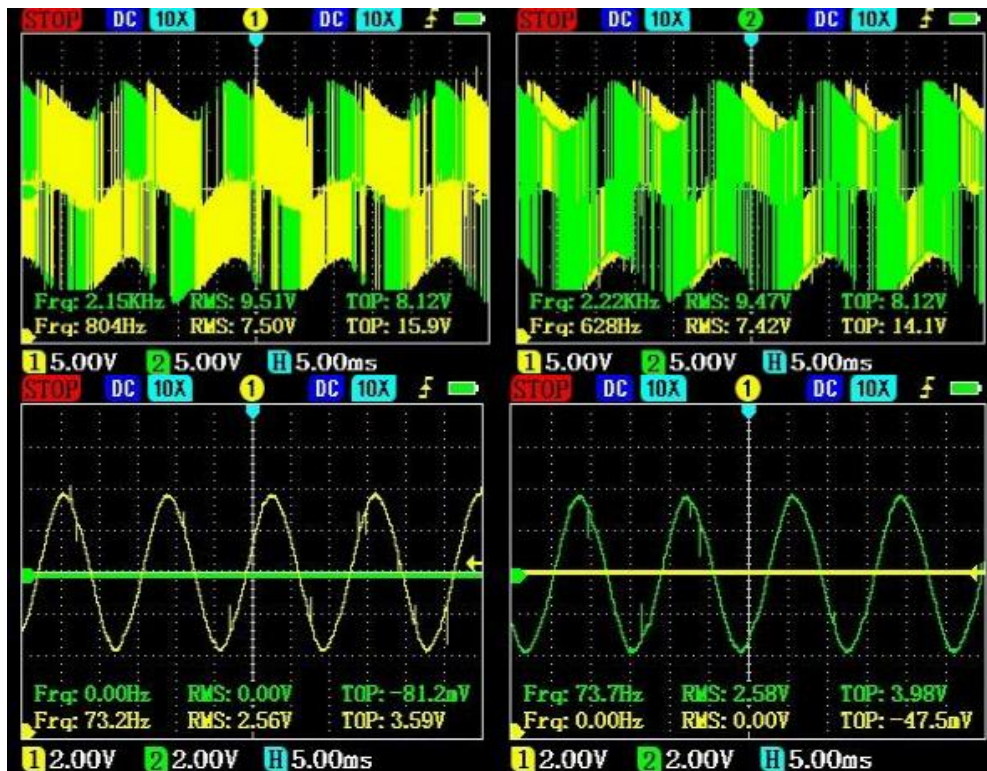


Рисунок 3 – Експериментально виміряні осцилограми струмів і напруг

Попередньо з отриманих результатів можна зробити декілька висновків. По-перше реальний перетворювач відрізняється від ідеального, і через це напруга на його виході не повністю відповідає отриманій на рис. 2. По-друге на осцилограмах отриманих з шунта 0,1 Ом наявні голкоподібні сплески струму, яких не було помічено при моделюванні. Виміряти достовірно амплітуду коливань струму на частоті модуляції не вдалось через наявність суттєвих короткочасних пульсацій струму які не дають змоги стабілізувати осцилограму для ділення напруги на клітинку 100 мВ.

Враховуючи викладене вище для спрощення виконання дослідження та можливості порівняння результатів моделювання і експерименту з точки зору характеру перехідних процесів доцільним є замінити джерело модульованої синусоїдної напруги на просто джерело імпульсів однієї полярності частотою 48 кГц та з такою щільністю, щоб середнє значення постійного струму, що протікає через обмотку дорівнювало діючому значенню змінного струму, який було отримано при живленні від перетворювача.

На рис. 4 наведено результати моделювання та експерименту. Аналізуючи осцилограми зображені зліва бачимо, що для уточненої високочастотної моделі обмотки амплітуда пульсацій струму суттєво більша порівняно з пульсаціями струму у звичайної моделі (див. рис. 2) і складає приблизно 120 мА. Для моделі з стандартним блоком Stepper motor амплітуда пульсацій дорівнює наближено 40 мА. Якщо порівняти ці результати з отриманими експериментально на осцилограмі праворуч, можна побачити більшу відповідність пульсацій струму за амплітудою та формою результатам високочастотної моделі.



Рисунок 4 – Осцилограми струму при живленні обмотки імпульсами напруги частотою 48 кГц

Якщо не враховувати раптові зміни струму пов'язані з перериванням його та з високим початковим струмом через наявність ємності, то амплітуда пульсацій наближено дорівнює 110 мА, що досить близько до отриманих 120 мА в результаті моделювання.

Не відповідність форми кривої зміни струму отриманої шляхом експерименту пов'язана з тим, що при моделюванні джерелом імпульсів була мостова схема зі зворотними діодами, через які замикався струм у періоди вимкненого стану транзисторів (ділянка спадання струму). Окрім того перетворювач у моделі та сигнали керування ним є дещо ідеалізованими (спрощеними) та відрізняються від реальних напівпровідникових приладів і інтегральних мікросхем.

Висновок. Було виміряно високочастотні повздовжні і поперечні параметри R, L та C обмотки. Проведено дослідження та порівняльний аналіз роботи високочастотної та не високочастотної моделей від перетворювача з широтно-імпульсною модуляцією, а також проведено практичні дослідження на реальному кроковому двигуні 57BSHD0437-20В при живленні від перетворювача ТВ6600. Виявлено, що перехідні процеси високочастотної схеми заміщення мають більшу відповідність з тими, що відбуваються у дійсності. Амплітуда пульсацій струму майже дорівнює експериментальній. Це вказує на достатньо високу точність отриманої високочастотної моделі обмотки.

Перелік посилань

1. Електричні машини і трансформатори: навч. посібник / М. О. Остапівський, О. Ю. Юр'єва; за ред. д-ра техн. наук, професора В. І. Мілих. – Київ: Каравела, 2018. – 452 с.
2. Чумак В.В., Вишневський О.В., Стулішенко А. С., Ігнатюк Є. С. Удосконалена високочастотна модель асинхронного двигуна // Енергетика: економіка, технології, екологія : науковий журнал. – 2018. – № 3 (53). – С. 151-156.
3. Теоретичні основи електротехніки : підручник / В. С. Маляр. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 416 с.