

УДК 621.311

Т. К. Бараненко, канд. техн. наук, доц.;

В. Є. Саравас

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВЕНТИЛЬНОГО ДВИГУНА НА МЕРЕЖУ ЖИВЛЕННЯ

Наведено результати експериментальних досліджень системи вентильного двигуна, використаного як сервопривід на металообробному верстаті. Виконано аналіз електромагнітної сумісності цього типу привода з мережею живлення.

Вступ

Сучасні дослідження і наявний досвід показують, що частотно-регульовані електроприводи (ЧРЕ) істотно впливають на перебіг електромагнітних і електромеханічних процесів в мережах промислових підприємств. Процеси комутації в перетворювачах частоти, які використовуються для управління роботою двигуна, призводять до спотворень форм напруги і струму як в мережі електропостачання, так і в самому електроприводі. Спотворення супроводжуються генерацією вищих гармонік (ВГ), а також інтегрармонік (ІГ) [1], які вносять низку небажаних наслідків як в мережу живлення, так і в технологічний процес промислового підприємства. До таких наслідків відносяться, наприклад, додаткове перевантаження силових електричних і магнітних кіл, помилкове спрацювання апаратури захисту і управління, прискорене старіння ізоляції. Тривале існування спотвореної форми кривої напруги небезпечно для батарей статичних конденсаторів, оскільки призводить до їх перевантаження за струмом і прискореному руйнуванню. Виникнення гармонічних складових в кривій вхідного струму призводить до збільшення втрат потужності і напруги, а також до додаткового нагріву, що значно впливає на зниження терміну служби електроустаткування.

Таким чином, існує проблема забезпечення умов для електромагнітної сумісності (ЕМС) ЧРЕ як з системою електропостачання підприємства, так і з навантаженням [2].

Одним з типів ЧРЕ, що широко використовується в різних галузях промисловості, є вентильний двигун (ВД). Цей тип привода завдяки своїм високим експлуатаційним характеристикам є найперспективнішим в діапазоні малих і середніх потужностей, особливо для моментних систем електропривода. ВД конструктивно прості, надійні, мають абсолютно жорсткі механічні характеристики і не вимагають витрат енергії на збудження. Ці якості електричної машини обумовлюють застосування ВД в промислових системах автоматики, роботах і маніпуляторах, приводах подачі і головного руху металорізальних верстатів, координатних пристроях, автоматичних лініях з обробки різних матеріалів збору збірці виробів, пакувальних і друкарських машинах, принтерах і плотерах, намотувальних і стрічкопосувних механізмах, прецизійних системах стеження і наведення, в авіаційній і медичній техніці.

Одночасно основним недоліком ВД є їх негативний вплив на мережу живлення. На сьогоднішній день виконані значні дослідження питання впливу перетворювачів частоти, які входять до складу вентильного привода, на сам двигун і точність (якість) його роботи. Аналіз і оцінка вихідних параметрів ВД детально розглядаються, наприклад, в [3]. Проте розв'язання задачі дослідження спектрального складу кривої мережного струму (напруги) наведено не було.

Таким чином, виходячи з вищевикладеного, постає задача оцінки частот і амплітуд гармонічних спектрів кривих вхідних напруг і струмів ВД для вирішення проблеми їх електромагнітної сумісності з мережею живлення.

Результати дослідження

Для розв'язання поставленої задачі були проведені експериментальні дослідження. В ході досліджень використовувалися ВД типу 1FK7083-5AF71 фірми «Siemens», які є сервоприводними механізмами на металорізальних токарних верстатах типу 1P732Ф3-S V4 на підприємстві ВАТ «Азовмаш» (м. Маріуполь).

Структурна схема верстата показана на рис. 1. Верстат, призначений для точіння циліндричних, конічних, фасонних поверхонь, підрізання торців, а також для свердління і розвертування, нарізання різі та виконання інших видів обробки. Приводом головного руху є асинхронний двигун потужністю 30 кВт, який живиться через перетворювач частоти з ланкою постійного струму.

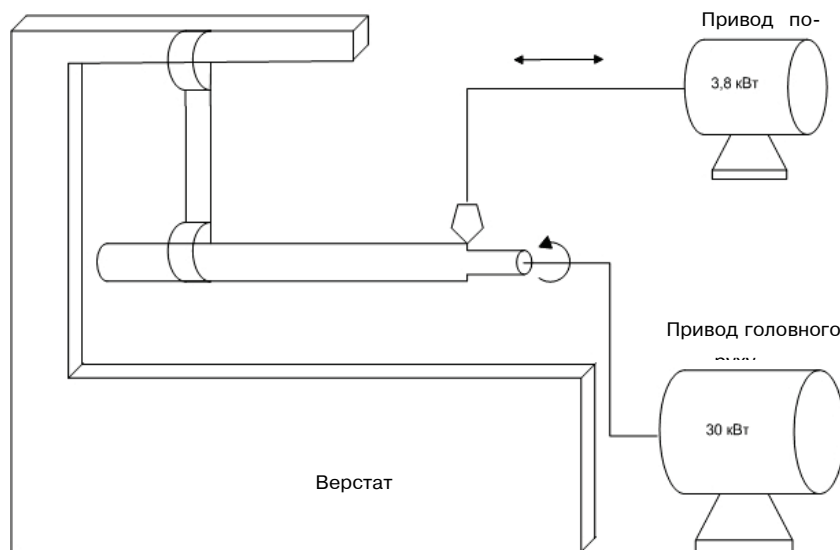


Рис. 1. Структурна схема верстата 1П732Ф3-S V4

Основні вимоги, які висуваються до сервопривода цього верстата, полягають у виконанні динамічних, високоточних процесів в широкому діапазоні регулювання швидкості і з хорошою повторюваністю. Досягти таких характеристик можливо за допомогою частотного регулювання за схемою ВД. Перетворювач частоти з ланкою постійного струму, який використовується у ВД, виконує функції пуску і регулювання швидкості двигуна, позиціонування, стабілізації швидкості і моменту.

Послідовність включення комутованих груп інвертора визначається датчиком положення ротора і залежить від заданого напрямку обертання і положення ротора двигуна щодо магнітних осей фаз статора. Комутовані ключі всередині груп відмикаються сигналами, синхронізованими з частотою мережі живлення. Число включень кожного вентиля в групі залежить від співвідношення частот мережі й обертання двигуна. Коло протікання струму через обмотки статора двигуна створюється одночасним включенням двох ключів в різних фазах мережі та статора.

В табл. 1 наведені основні параметри досліджуваної системи.

Таблиця 1

Основні параметри досліджуваної системи ВД

Параметр	Значення
Двигун	
Номинальна потужність	3,8 кВт
Номинальна напруга	0,4 кВ
Номинальний струм	10,4 А
Активний опір	0,4 Ом
Індуктивний опір	6 мкГн
Частота	3000 об/хв
Максимально допустиме число обертів	6000 об/хв
Коло постійного струму	
Ємнісний опір	470 мкФ
Мережа живлення	
Номинальна напруга	0,4 кВ
Частота мережі	50 Гц

До вагомих показників якості підготовки й проведення безпосередньо самого експерименту слід віднести час і кількість вимірювань, необхідних для подальшого аналізу гармонічних складових струму мережі й обробки отриманих результатів.

Для оцінки гармонічного складу електричних величин використовувався аналізатор якості електричної енергії Fluke 435. Аналізатор включає численний набір типів вимірювань для перевірки систем електропостачання. Деякі з них дають загальну інформацію про функціонування електромережі, інші — служать для дослідження окремих параметрів.

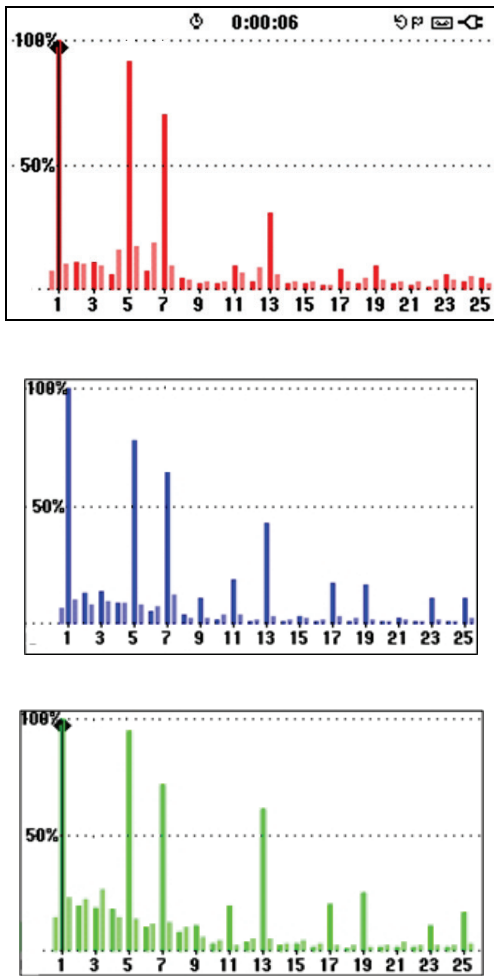


Рис. 2. Гармонічні спектри вхідного струму ВД у фазах А, В і С

Так, в режимі Harmonics вимірюються і записуються гармоніки та інтергармоніки до 50-ї. У ході вимірювання гармонік відповідні частоти порівнюються з основною частотою і ізолюються від решти частини спектра за допомогою внутрішнього цифрового фільтра. Супутні дані, такі як, наприклад, складова постійного струму DC, THD (Total Harmonic Distortion) — сумарне гармонічне спотворення, і К-фактор — коефіцієнт нелінійності, вимірюються паралельно. Результати можна проглянути на екрані гістограм в меню показу результатів вимірювань або в меню тренда.

На рис. 2 показані гармонічні спектри кривих вхідного струму у всіх трьох фазах.

В табл. 2, 3 наведені діючі і процентні значення струмів ВГ та ІГ відповідно. Як видно з рис. 2 і табл. 2, 3, спотворення кривих струму у всіх трьох фазах приблизно однакові. Як впливає з наведених спектрів, найбільший вплив на спотворення форми кривої вхідного струму надають 3-а, 5-а, 7-а, 11-а і 13-а канонічні гармоніки. З ІГ істотні спотворення привносять бічні складові 1-ї, 3-ї, 5-ї і 7-ї ВГ відповідно. Рівень ІГ коливається в діапазоні 1,8... 42,8 %, що робить істотний вплив на спотворення форми кривої вхідного струму.

Як показали числові дослідження, амплітуди ВГ та ІГ вхідного струму ВД істотно залежать від потужності й частоти обертання двигуна.

Таблиця 2

Амплітуди ВГ в кривій вхідного струму

Номер гармоніки	Амплітуда ВГ					
	фаза А		фаза В		фаза С	
	%	А	%	А	%	А
1	100	10,4	100	10,4	100	10,4
2	10,7	1,2	10,5	1,1	10,9	1,9
3	4,8	0,5	14,3	1,5	17	1,8
4	3,6	0,4	9	1	14,3	1,5
5	89	9,3	77	8	92	9,6
6	5,4	0,6	3,6	0,4	10,7	1,1
7	71	7,4	69	7,2	75	7,8
8	3,6	0,4	3,6	0,4	7,2	0,8
9	1,8	0,2	10,7	1,1	10,7	1,1
11	10,7	1,1	17,9	1,9	17,9	1,9
13	32,2	3,4	39,3	4,1	60,7	6,3
15	—	—	3,6	0,4	3,6	0,4
17	7,4	0,74	16	1,67	19,6	2,1
19	8,9	0,92	14,3	1,5	28,6	3

Номер гармоніки	Амплітуда ВГ					
	фаза А		фаза В		фаза С	
	%	А	%	А	%	А
21	—	—	3,6	0,9	3,6	0,4
23	5,4	0,6	10,7	1,1	10,7	1,1
25	—	—	10,7	1,1	16	1,7

Таблиця 3

Амплітуди ІГ в кривій вхідного струму

Номер інтергармоніки	Амплітуда ІГ					
	фаза А		фаза В		фаза С	
	%	А	%	А	%	А
0,5	7,2	0,75	7,2	0,75	14,3	1,5
1,5	10,7	1,1	10,7	1,1	28,6	3
2,5	10,7	1,1	7,2	0,75	21,4	2,2
3,5	10,7	1,1	10,7	1,1	42,8	4,5
4,5	17,9	1,9	10,7	1,1	14,3	1,5
5,5	21,4	2,2	10,7	1,1	12,5	1,3
6,5	25	2,6	10,7	1,1	10,7	1,1
7,5	10,7	1,1	14,3	1,5	10,7	1,1
8,5	3,6	0,4	1,8	0,2	9	1
9,5	1,8	0,2	1,8	0,2	7,2	0,75
10,5	3,6	0,4	3,6	0,4	3,6	0,4
11,5	5,4	0,4	3,6	0,4	1,8	0,2
12,5	7,2	0,75	1,8	0,2	3,6	0,4
13,5	5,4	0,6	3,6	0,4	3,6	0,4
18,5	5,4	0,6	3,6	0,4	5,4	0,6
19,5	3,6	0,4	1,8	0,2	3,6	0,4
24,5	5,4	0,6	1	0,1	1,8	0,2

В табл. 4 наведені діючі значення вхідного струму ВД, а також співвідношення між діючими значеннями ВГ та ІГ вхідного струму.

Таблиця 4

Порівняння діючих значень вхідного струму ВД

Визначуваний параметр	Фаза		
	А	В	С
Діюче значення вхідного струму, %	149	145	152
Основна гармоніка вхідного струму, %	100	100	100
Діюче значення ВГ вхідного струму, %	99	100	95
Діюче значення ІГ вхідного струму, %	47	32	64

Аналіз даних табл. 4 показує, що за роботи ВД у вхідному струмі разом із спектром ВГ є також істотний спектр ІГ. Певно, що за інших значень частоти обертання двигуна співвідношення між діючими значеннями ВГ та ІГ вхідного струму можуть відрізнятися від вказаних в табл. 4, проте наведені величини діючих значень вхідного струму в цілому зберігатимуться.

Проведені дослідження показують, що величина коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої струму, яка отримана тільки з урахуванням ВГ, складає 80...95 % від коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої струму, отриманого з урахуванням ІГ. Таким чином, можна зробити висновок про те, що неврахування ІГ під час визначення коефіцієнта спотворення синусоїдальності кривої струму призводить до певних похибок, що може відбитися на вирішенні питання мінімізації гармонічних спотворень.

Висновки

1. Частотно—регульований електропривод суттєво впливає на електромагнітні процеси в системі електропостачання, що виявляється в спотвореннях форм кривих напруги і струму. Прояви таких спотворень призводять до збільшення втрат потужності і напруги, а також до додаткового нагріву і зменшення терміну служби електроустаткування.

2. Спектральний склад кривої вхідного струму ВД разом з ВГ містить також ІГ, амплітуди яких досягають 1,8...42,8 % і можуть перевищувати ВГ. Розрахунок коефіцієнта несинусоїдальності без урахування ІГ може бути занижений на 5... 20 %.

3. Амплітуди ВГ, а також ІГ вхідного струму залежать від режиму роботи двигуна, його частоти обертання і номінальної потужності.

4. Під час нормування показників якості електроенергії в електричних мережах з ЧРЕ необхідно враховувати ІГ разом з ВГ. Так, наприклад, у разі дискретного спектра ІГ, пов'язаного з принципом роботи ВД, їх нормування можливо проводити за аналогією до нормування вищих гармонік, як запропоновано в [4].

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- ГОСТ 13109—97. Электрическая энергия. Требования к качеству электрической энергии в электрических сетях общего назначения. – В замен ГОСТ 13109—87; Введ. 01.01.1999. — К. : Госстандарт Украины, 1999. — 31с.
- Избранные вопросы несинусоидальных режимов в электрических сетях предприятий / [И. В. Жежеленко, Ю. Л. Саенко, Т. К. Бараненко та ін.]; под ред. И. В. Жежеленко. — М. : Энергоатомиздат, 2007. — 296 с.
- Interharmonic Task Force Working Document — IH0101 20001// IEEE.
- Grenier, D. Experimental Nonlinear Torque Control of a Permanent Magnet Synchronous Motor Using Saliency / D. Grenier, , L.—A. Dessaint, O. Akhrif, Y. Bonnassieux, B. LePioufle // IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 44, No. 5, Oct. 1997, P. 680—687.

Рекомендована кафедрою електротехнічних систем електроспоживання та енергетичного менеджменту

Стаття надійшла до редакції 11.02.11
Рекомендована до друку 1.03.11

Бараненко Тетяна Костянтинівна — доцент, **Саравас Вікторія Євгенівна** — асистент.

Кафедра електропостачання промислових підприємств, Приазовський державний технічний університет, Маріуполь