

УДК 621.317.714

В. В. Кухарчук, д. т. н., проф.; В. І. Родінков, к. т. н., доц.; А. М. Коваль**ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ НЕСИНУСОЇДНИХ ВЕЛИЧИН
ПРИЛАДОМ МАГНІТО-ЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ**

У роботі розглянуто проблему вимірювання струмів і напруг несинусоїдної форми. Представлено й розв'язано математичну модель приладу магніто-електричної системи під час вимірювання сигналів складної форми. Показано, що під час вимірювання несинусоїдних струмів і напруг виникає значна похибка вимірювання.

Ключові слова: несинусоїдні струми та напруги, математична модель, похибка вимірювання, вимірювальний прилад, вимірювальні величини, форма струму.

Вступ. Останнім часом усе більший інтерес викликають проблеми вимірювань несинусоїдних величин. Такі задачі виникають під час вимірювання в пристроях силової перетворювальної техніки, які за своїми характеристиками є нелінійними елементами, а тому в них протікають струми й напруги складної негармонічної форми. Засоби вимірювання, які використовуються під час вимірювання таких величин і які є комплектуючими елементами промислових зразків силових перетворювачів не задовольняють вимог щодо точності вимірювань таких величин.

Зокрема з такою проблемою доводиться зустрічатися під час вимірювання випрямлених струмів і напруг керованих і некерованих випрямлячів. Ці пристрої побудовані таким чином, що вказані величини мають пульсуючий характер і мають несинусоїдну форму, а їх гармонічний склад залежить від різних режимів роботи випрямляча та його навантаження. Такі величини здебільшого вимірюють електромеханічними приладами магніто-електричної системи, які вимірюють середнє значення. [1] Однак дослідження проведені у [2 – 4] показали, що під час вимірювання постійних величин із значною змінною складовою ці прилади не забезпечують необхідну точність вимірювання. Похибка вимірювання залежить від форми вимірювальної величини й зростає із збільшенням змінної несинусоїдної складової до 10 – 15 %.

Тобто за наявності змінної складової вимірювальної величини стрілка приладу відхиляється на кут менший за кут, який відповідає середньому значенню цієї величини. Це відбувається внаслідок механічних властивостей самого приладу, які не враховує рівняння перетворення приладу. Тому постає завдання створення математичної моделі приладу цієї системи, яка враховувала б механічні властивості приладу під час вимірювання постійних пульсуючих струмів і оцінку похибок вимірювання вказаних величин з її допомогою.

Метою пропонованої роботи є оцінка точності вимірювання струмів і напруг стандартних форм (прямокутної, трикутної, трапецієподібної тощо), а також реальних форм, які мають місце в пристроях перетворювальної техніки.

Матеріал та результати досліджень. З метою оцінки похибок вимірювання вказаних вище величин створена математична модель приладу зазначеної системи, яка враховує його механічні властивості. Ця математична модель є диференціальним рівнянням другого порядку, у правій частині якого міститься залежність струму від часу:

$$J \cdot \frac{d^2 \alpha}{dt^2} + P \cdot \frac{d \alpha}{dt} + W \cdot \alpha = BS \omega \cdot i(t), \quad (1)$$

де J – момент інерції рухомої частини, P – коефіцієнт заспокоєння рамки, W – питомий протидійний момент пружини, B – магнітна індукція, яку створює постійний магніт у зазорі, S – площа рамки, ω – кількість витків обмотки, $i(t)$ – струм, який протікає в обмотці.

Розв'язком даного рівняння є залежність зміни кута відхилення стрілки приладу в часі під час протікання через обмотку приладу струмів різної форми. Порівнюючи їх із значенням кута відхилення стрілки під час протікання постійного струму, який дорівнює за величиною середньому значенню пульсуючого струму відповідної форми, отримуємо похибку, яка виникає під час вимірювання струмів такої форми.

У пропонованій роботі для дослідження використовувався амперметр М330. Його механічні характеристики такі, що рівняння (1) набуде вигляду:

$$0,87 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{d^2\alpha}{dt^2} + 9,835 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{d\alpha}{dt} + 185,5 \cdot 10^{-9} \cdot \alpha = 455,36 \cdot 10^{-6} \cdot i(t). \quad (2)$$

Проаналізуємо відхилення стрілки під час протікання через рамку приладу ідеального постійного струму та, наприклад, трапецієподібного сигналу, аналітичний запис якого можна представити гармонічним рядом:

$$i_2(t) = 30 \cdot 10^{-3} + \frac{12 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{\pi^2} \left(\sin\left(\frac{\pi}{3}\right) \sin(\omega t) + \frac{1}{3^2} \sin\left(\frac{2\pi}{3}\right) \sin(3\omega t) + \frac{1}{5^2} \sin\left(\frac{5\pi}{3}\right) \sin(5\omega t) + \dots \right). \quad (3)$$

Досліджувані струми графічно представлені на рис. 1, із якого видно, що середнє значення функції несинусоїдного струму дорівнює за величиною ідеальному постійному струму й складає 30 мА.

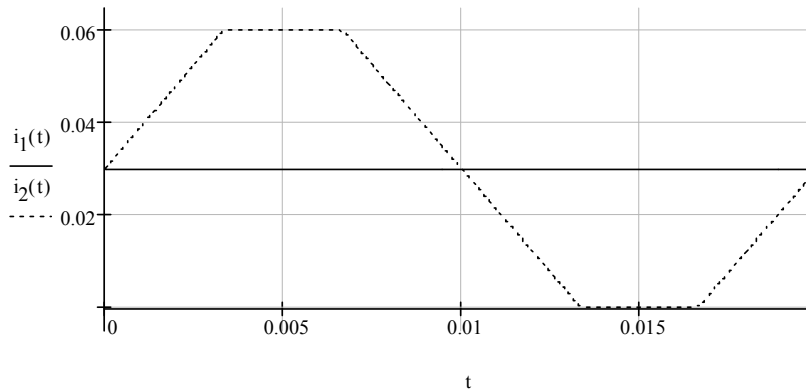


Рис. 1. Форма досліджуваних сигналів

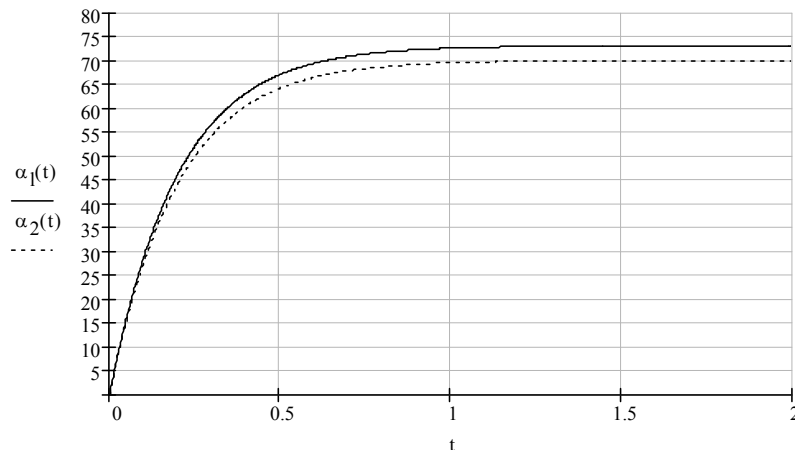


Рис. 2. Графіки зміни кута відхилення стрілки в часі

На рис. 2 представлено графічний розв'язок математичної моделі для двох вказаних вище форм вимірювальних сигналів. Як видно з отриманих залежностей, кінцевий кут відхилення стрілки різний для сигналів різної форми, хоча їхнє середнє значення однакове. Кут відхилення під час дії постійного струму складає 73° , і його можна вважати кутом, який відповідає середньому значенню, а друга залежність моделює відхилення стрілки під час

протікання через обмотку приладу струму складної форми, яка в результаті відхилилась на кут 69,9°. Тому з цих залежностей можна знайти відносну похибку вимірювання трапецієподібного сигналу:

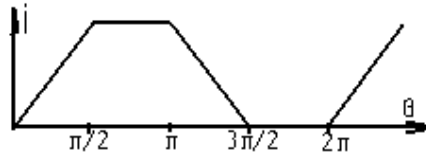

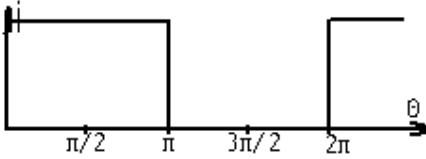
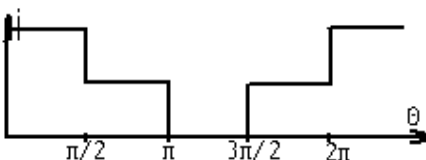
$$\delta = (73 - 69,9) \cdot 100\% / 73.$$

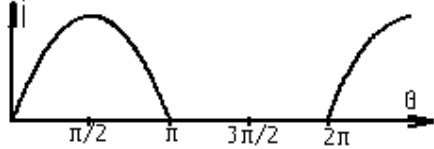
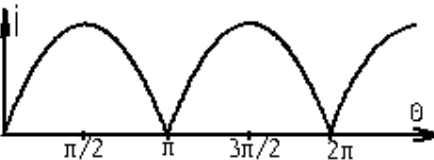

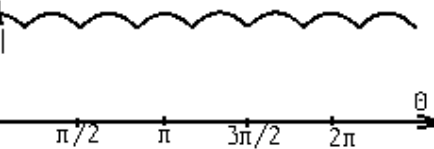
Проведемо аналогічні розрахунки для сигналів правильних форм. У таблиці 1 наведено графічне представлення сигналів, аналітичний запис у вигляді тригонометричного ряду, а також вказано результати моделювання й оцінено відносну похибку, яка виникає під час вимірювання струму відповідної форми.

Отримані результати показують, що вимірювання несинусоїдних струмів і напруг супроводжуються значними похибками, які досягають 10%, що виходить за межі класу точності досліджуваного приладу, і залежать від форми вимірювального сигналу. Ці похибки зумовлені механічними властивостями цього приладу й збігаються з результатами експериментальних досліджень, проведених у [2 – 4].

Таблиця 1

Результати розрахунків похибок вимірювання струмів різних форм

№	Форма струму та його аналітичне представлення	Відхилення стрілки під час дії		Похибка %
		постійного струму	струму вказаної форми	
1	 $i(t) = 30 \cdot 10^{-3} + \frac{12 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{\pi^2} \left(\sin \frac{\pi}{3} \cdot \sin \omega t + \frac{1}{9} \sin \pi \cdot \sin 3\omega t + \frac{1}{25} \sin \frac{5\pi}{3} \cdot \sin 5\omega t + \dots \right)$	73	69,9	4,2
2	 $i(t) = 30 \cdot 10^{-3} + \frac{8 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{\pi^2} \left(\sin 314t - \frac{1}{9} \sin 3 \cdot 314t + \frac{1}{25} \sin 5 \cdot 314t - \dots \right)$	73	68,5	6,1
3	 $i(t) = 30 \cdot 10^{-3} + \frac{4 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5\omega t + \dots \right)$	73	66,3	9,2
4	 $i(t) = 30 \cdot 10^{-3} + \frac{4 \cdot 30 \cdot 10^{-3}}{\pi} \left(\sin \frac{\pi}{3} \cdot \cos \omega t + \frac{1}{3} \sin 3 \cdot \frac{\pi}{3} \cdot \cos 3\omega t + \frac{1}{5} \sin 5 \cdot \frac{\pi}{3} \cdot \cos 5\omega t + \dots \right)$	73	66,7	8,4

5	 $i(t) = 60 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{2} + \frac{\pi}{4} \cdot \cos \omega t + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \dots \right)$	73	63,4	13,2
6	 $i(t) = 60 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \dots \right)$	73	70,4	3,5
7	 $i(t) = 60 \cdot 10^{-3} \left(\frac{1}{2} + \frac{1}{2 \cdot 4} \cos 3\omega t - \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t + \dots \right)$	73	72,1	1,3
8	 $i(t) = 30 \cdot 10^{-3} \left(1 + \frac{2 \cos 6\omega t}{5 \cdot 7} - \frac{2 \cos 12\omega t}{11 \cdot 13} + \dots \right)$	73	72,7	0,37

Висновки

У ході проведеного дослідження було створено математичну модель приладу магніто-електричної системи під час вимірювання несинусоїдних струмів і напруг. Її розв'язок для серійного приладу показав, що під час вимірювання сигналів складної форми виникає значна похибка, яка виходить за межі класу точності цього приладу. Створена модель математично обґрунтовує експериментальні дані, отримані на попередніх етапах дослідження. Отримані з її допомогою результати можуть використовуватися для оцінки й корекції похибок вимірювань несинусоїдних струмів і напруг магніто-електричними вимірювальними засобами. Зокрема, результати, отримані в досліді № 5 – 8, можуть бути використані для оцінки точності вимірювання в пристроях силової перетворювальної техніки, де протікають струми й напруги вказаних форм.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Рудольф Лаппе Измерение в энергетической электронике: [Перевод с нем. В.А. Лабунцова] / Фридрих Фишер. – М.: Энергоиздатом, 1986. – 230 с.
2. Родінков В. Оцінка точності вимірювання струмів та напруг складної форми у трифазному однофазному керуваному випрямлячі / В. І. Родінков, А. М. Коваль // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 1. – С. 51 – 55.
3. Родінков В. Вплив параметрів фільтруючих установок на точність вимірювання електричних величин в трифазному мостовому випрямлячі / В. І. Родінков, А. М. Коваль // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – № 3 (1). – С.113 – 115.
4. Родінков В. Вплив параметрів Г-подібних фільтрів на точність вимірювання електричних величин в трифазному мостовому випрямлячі / В. І. Родінков, А. М. Коваль // Вісник Хмельницького національного

університету. – 2006. – № 5. – С.124 – 127.

Кухарчук Василь Васильович – д. т. н., професор, завідувач кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, тел.: (0432)-598-444.

Родінков Валерій Іванович – к. т. н., доцент, кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, тел.: (0432)-598-444.

Коваль Андрій Миколайович – аспірант кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, , тел.: (0432)-598-444.

Вінницький національний технічний університет.