

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОЗТАШУВАННЯ КОТУШКИ РОГОВСЬКОГО ВІДНОСНО СИСТЕМИ ШИН ГЕНЕРАТОРА ІМПУЛЬСНИХ СТРУМІВ

Лагодний І.О., магістрант, Шостак В.О., к.т.н., доц., Ластівка Я.С., студент НТУУ «КПІ», кафедра техніки і електрофізики високих напруг

Вступ. Котушки Роговського (КР) часто застосовують для реєстрації струмів безконтактним способом. Принцип їхньої роботи полягає у використанні ефекту індукування електрорушійної сили (ЕРС) під дією магнітного поля струму. КР успішно працюють з високочастотними та імпульсними полями. Зазвичай вважають, що сумарна напруга на виході КР мало залежить від позиції провідника зі струмом відносно вісі КР. В попередніх роботах було розроблено котушку Роговського (КР) і схему реєстрації [1], а також проведено їх експериментальні випробування і первинне калібрування за допомогою малоіндуктивного резистивного шунта [2]. Під час випробувань виявилось, що форма струму, зареєстрована обома пристроями, є практично однаковою, але була помітна розбіжність в величинах струму, що вимірюється шунтом та оцінюється за сигналом напруги з КР. За сигналом з КР струм виходить більшим приблизно у 1,34 рази. Однією з причин такої розбіжності може бути вплив конфігурації системи шин стенду і розташування КР відносно шин, що потребує додаткового дослідження.

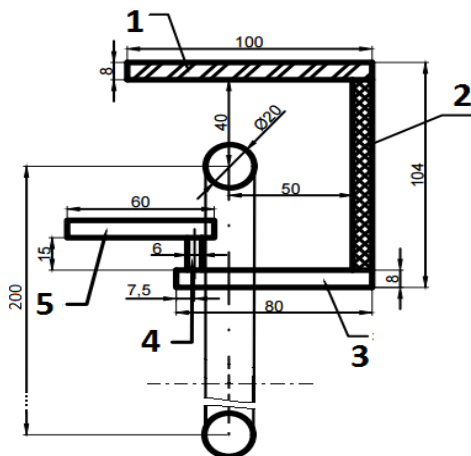


Рисунок 1 – КР та система шин

кількісного впливу усіх складових шин на загальну ЕРС у КР та порівняння сигналу КР в реальній конфігурації шин з таким, що очікувався би в ідеальній системі (лише одна внутрішня довга шина по осі КР). Отже, йдеться про можливість вироблення підходу для оцінки коригувального коефіцієнту щодо визначення струму для застосування КР в будь-якій реальній конфігурації шин.

Результати досліджень. Для перевірки гіпотези щодо можливого впливу на вихідний сигнал КР близького розташування зовнішніх шин, в першому наближенні аналітично розраховано вплив кожної з шин на величину ЕРС, що наводиться в КР з 4-ма (рис. 2а) та 8-ма витками (рис. 2б). Просторова конфігурація шин та витків КР моделювалася в пакеті SolidWork. Магнітне поле в центрі кожного витка визначалося від кожної шини кінцевої довжини [4]. Також визначалися кути між вектором поля та нормаллю до площини

кожного витка. Під час моделювання струм брався з формою аперіодичного коливального імпульсу (14 кА, час фронту – 5.5 мкс, час першої півхвилі – 12 мкс). За результатами розрахунку на рис. 4 – 11 видно суттєві впливи від верхньої і бокової шин на величину ЕРС у верхніх витках та в меншій мірі їхній вплив у нижніх витках КР.

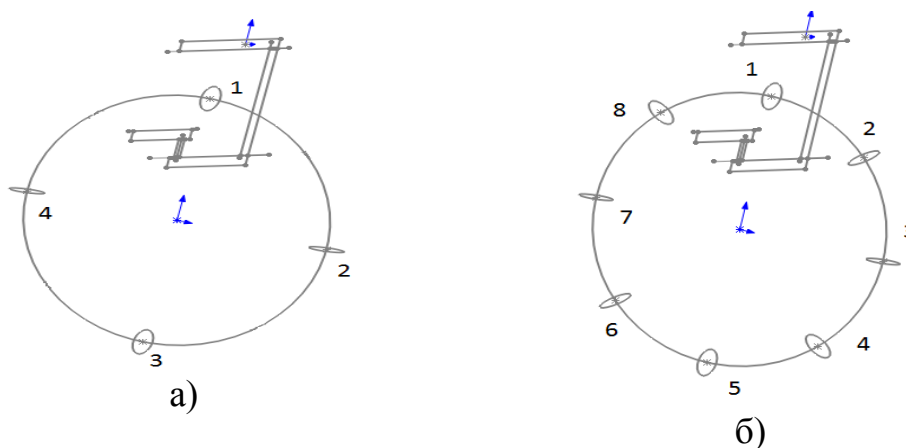


Рисунок 2 – Моделі КР та системи шин:
а – 4 витки; б – 8 витків

Це пов'язано з тим, що верхні витки котушки розташовані близько до всіх трьох шин. Так відстань верхнього витка до вісі верхньої шини складає 46 мм, до бічної – 54 мм, до нижньої – 25 мм. Тоді як крайній нижній виток знаходиться на відстані 244 мм від верхньої шини, 50 мм від бокової та 160 мм від нижньої. Також розраховано ЕРС для взірцевої системи, коли КР розташована симетрично і рівно віддалено від країв тонкого прямого та довгого провідника (наприклад, з довжиною 1 м). Проведено порівняння отриманих величин сумарних ЕРС в реальній системі шин з величиною ЕРС, яка наводиться у взірцевому провіднику. Розрахунки виконано як для 4-х так і для 8-ми витків КР.

У першому випадку (рис. 3 - 6) наведено графіки індукованої ЕРС для 4-х витків КР (крайній верхній, крайній нижній та два симетричних бокових). Порівняння величини ЕРС в реальній системі шин з розрахованою для 4-х витків взірцевої («ідеальної») конфігурації подано на рис. 6.

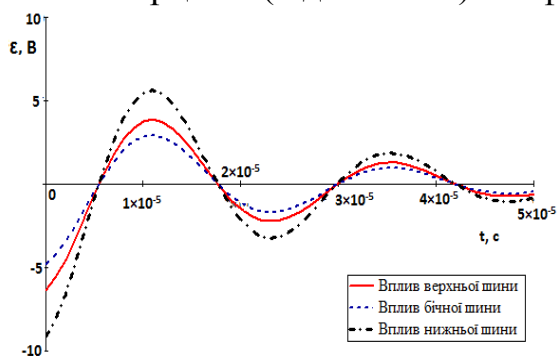


Рисунок 3 – Складові ЕРС, що наводяться у витку №1

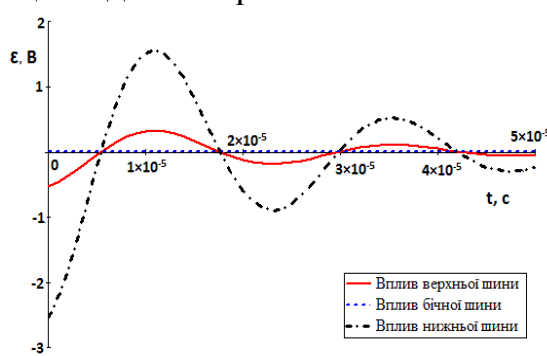


Рисунок 4 – Складові ЕРС, що наводяться у витку №2

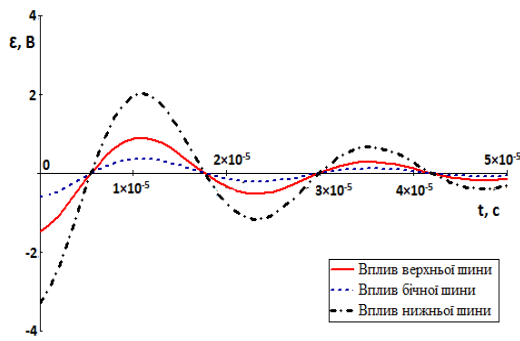


Рисунок 5 – Складові ЕРС, що наводяться у витку №3

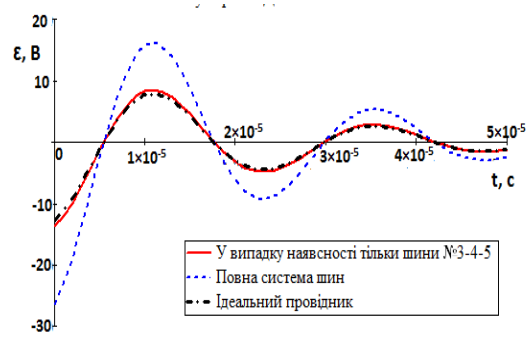


Рисунок 6 – Сумарна ЕРС для 4 витків

Можна побачити помітно різні рівні сигналів в окремих витках КР, що супроводжується ще і збільшенням сумарної величини ЕРС, що наводиться в КР – вона є приблизно в 1,9 рази більшою, ніж при наявності тільки шини № 3-4-5. Аналогічно проведено розрахунок для моделі КР з 8-ма витками і, відповідно, розраховано взірцеву ЕРС для 8-ми витків. Результати розрахунків представлено на рис. 7 - 10.

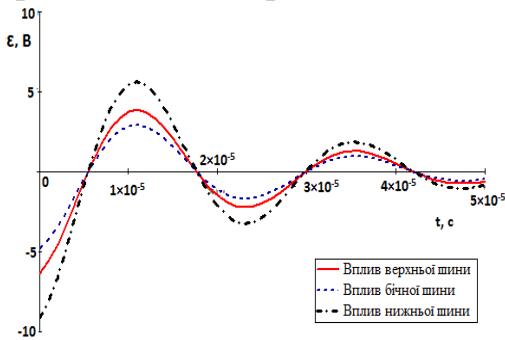


Рисунок 7 – Складові ЕРС, що наводяться у витку №1

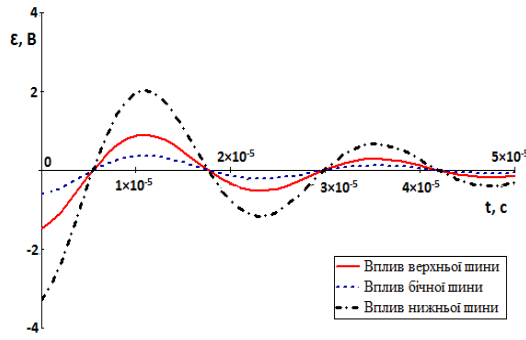


Рисунок 8 – Складові ЕРС, що наводяться у витку №2

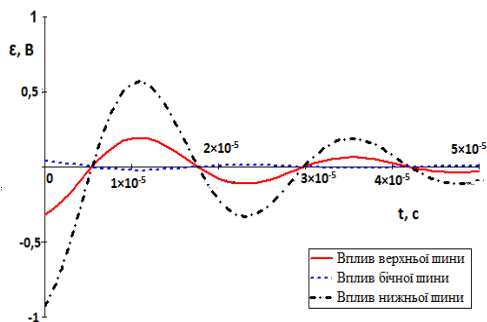


Рисунок 9 – Складові ЕРС, що наводяться у витку №4

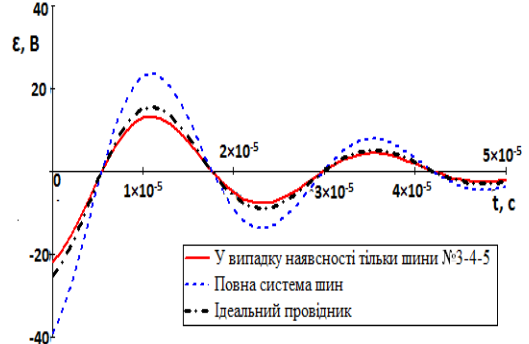


Рисунок 10 – Сумарна ЕРС для 8 витків

Спостерігається схожа картина як і у випадку моделі КР з 4-ма витками. Тут збільшення сумарного сигналу КР порівняно зі взірцевою системою становить близько в 1.55 рази. Тобто є тенденція певного зменшення коригувального коефіцієнту із зростанням кількості витків в моделі і наближенням його до експериментального значення 1.34. Таким чином, для обох спрощених моделей КР можна бачити суттєвий вплив положення КР

відносно системи шин та конфігурації шин на сигнал КР. Якби була лише нижня шина (№ 3-4-5), сигнал КР був би близьким до випадку згаданої ідеальної конфігурації (див. рис. 6 та 10).

На рис. 11 наведено порівняння отриманих результатів для обох випадків між собою з приведенням значень до відносних одиниць (базовий варіант – ідеалізована пряма і довга шина, аксіальна з КР).

Висновки. Проведено аналіз впливу розташування КР відносно системи шин та конфігурації шин на величину ЕРС в ній. Розраховано компоненти ЕРС, що наводяться від всіх шин у витках модельних КР. Згідно результатів, верхня

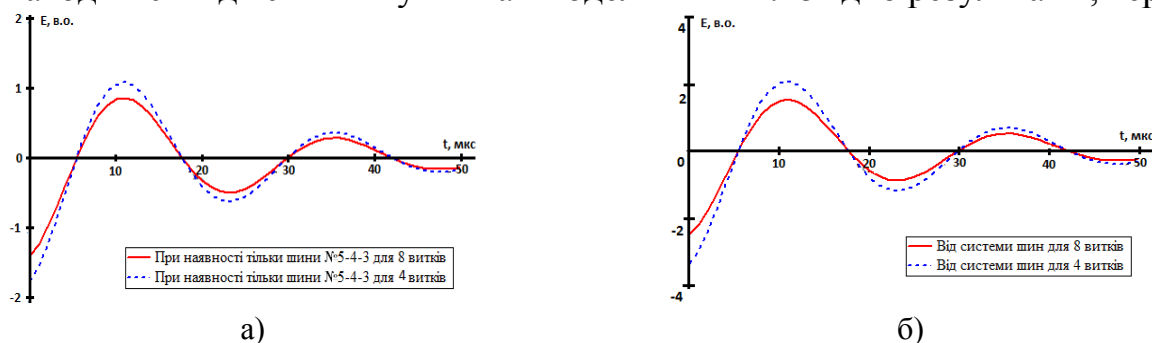


Рисунок 11 – Порівняння ЕРС, що наводяться у 4-х та 8-ми витках КР у в.о.:
а – за наявності тільки шини №3-4-5; б – повна система шин

частина КР дає помітно більший внесок в сумарний сигнал КР внаслідок близького розташування витків до шин (в т.ч. зовнішніх). З цього можна зробити висновок про:

- 1) можливість при вимірюванні струму застосовувати КР і в системах шин, які близько підходять до неї з різних боків;
- 2) необхідність враховувати розташування КР в реальній системі шин;
- 3) можливість визначення відповідного коригувального коефіцієнту.

Вже для простої моделі КР з 8-ма витками коригувальний коефіцієнт становить 1.55 і наближається до експериментального значення 1.34 для КР з великою кількістю витків (200). В подальшому планується розробити алгоритм та програму з визначення коригувального коефіцієнта для довільної реальної конфігурації шин та КР з повною кількістю витків, а також розробити пропозиції до відповідної лабораторної роботи.

Перелік посилань

1. Лагодний І. О., Шостак В. О. Розробка котушки Роговського для вимірювання грозових імпульсних струмів на лабораторному стенді // Тези допов. Міжн. н.-т. конф. «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики», НТУУ «КПІ», Київ: «Політехніка», грудень 2013, с.476-479.
2. Хомініч В.І. Дослідження комплексу високовольтного ємнісного генератора імпульсних струмів (методичні вказівки до лабораторної роботи), Київ, 2013, 15 с. (рукопис).
3. Лагодний І.О., Шостак В.О., Драпей М.В., Лабораторні випробування котушки Роговського для реєстрації грозових імпульсних струмів // Тези допов. Міжн. н.-т. конф. «Сучасні проблеми електроенерготехніки та автоматики», НТУУ «КПІ», Київ: «Політехніка», грудень 2014, с.357-358.
4. Сивухин Д. В. Общий курс физики. — Изд. 4-е, стереотипное. — М.: Физматлит; Изд-во МФТИ, 2004. — Т. III. Электричество. — 656 с.