

## ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РУХОМОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОНТАКТУ

Сільвестров А.М., д.т.н., проф., Спінул Л.Ю., к.т.н., доц.

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра теоретичної електротехніки*

Вещиков Г.В., магістр

*КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації електромеханічних систем та електроприводу*

**Вступ.** Закони реального світу (загального взаємозв'язку, єдності матерії і руху та ін.) не дозволяють отримати фізико-математичну модель (ФММ) ізоморфну до досліджуемого реального об'єкту. Всі ФММ є наближеними. Вони будуються у кінцевомірному просторі суттєвих факторів, ігноруючи несуттєві. Суттєвість факторів визначається їх впливом на основну задачу, для якісного вирішення якої будується ФММ. Наприклад, ФММ термостабільного резистора визначається законом Ома:

$$U \cong R \cdot I,$$

де  $R = const$ ,  $U$ ,  $I$  - напруга і струм відповідно.

Однак, ФММ активного опору котушки індуктивності з мідним проводом повинна враховувати ще закон Джоуля-Ленца та рівняння термодинаміки. Тоді отримаємо уточнену ФММ котушки з постійним струмом [1]:

$$U \cong I \cdot R\left(\theta^\circ(I^2)\right).$$

Таким чином, структура і параметри спрощеної ФММ повинні бути підпорядковані цілі, з якою дана модель будується.

**Мета роботи.** Побудова фізико-математичної моделі рухомого контакту спрямованої на вирішення проблеми теоретичного обґрунтування ефекту Ж.Губера.

**Матеріали і результати досліджень.** Виходячи з мети роботи, а саме дати пояснення ефекту Губера [1], необхідно побудувати ФММ процесів у зоні дотику феромагнітних колес і рейок рухомого поїзду, за умови, що від однієї рейки до іншої через рухому колісну пару проходить електричний струм. Відсутність адекватної ФММ такого контакту не дозволяла дослідниками отримати обґрунтоване пояснення ефекту [2].

Будь-який контакт струмопровідних тіл завжди має кінцеву площу. Тим паче, кінцеву площу має контакт колеса поїзду з рейкою. Під дією ваги поїзду на кожне колесо діє сила у декілька тисяч ньютонів. Тому в зоні контакту поверхні колеса і рейки деформуються і замість контакту у точці має місце контакт на площині  $S_K$ . Окрім цього, багатократне використання колес і рейок значно підвищує гладкість цих поверхонь. Тому зазор у зоні контакту між колесом і

рейкою (особливо у центральній частині контакту) може складати десяти-тисячні долі мікрон. Кінцева вологість та можлива замазюваність повітряного зазору теж збільшує його діелектричну провідність  $\epsilon$ . Все це обґрунтовує ФММ контакту, як  $RC$ -елемента, де  $R$  – омичний опір контакту,  $C$  – ємність (рис. 1).

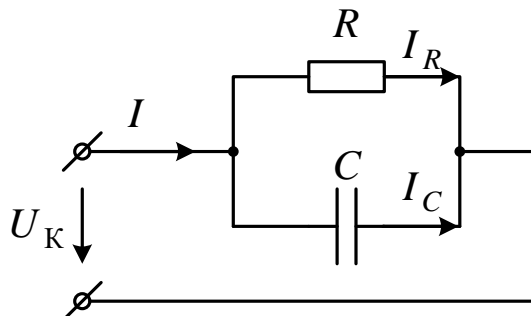


Рисунок 1 –  $RC$ -модель контакту

Опір рейок і колес значно менший від опору  $R$  контакту. Тому майже вся напруга  $U_D$  буде прикладена до двох (якщо розглядається колесна пара) послідовно з'єднаних контактів. Тоді на кожен контакт прикладено напругу  $U_K = 0,5U_D$ . За постійного струму  $I$  опір ємнісного елемента є нескінченно великим, за змінного – теж суттєво більший від  $R$ . Тому напруга  $U_K$  визначається опором  $R$  і струмом  $I_R$ :  $I \approx I_R \approx \frac{U_K}{R} = \frac{U_D}{2R}$ .

Внаслідок несуттєвого впливу ємності на струм у ФММ контакту вона раніше не враховувалась. На неї майже ніхто не звертав уваги. Але саме у створенні  $RC$  моделі контакту лежав ключ до пояснення ефекту Губера. Дійсно, якщо є напруга  $U_K$  і ємність  $C$ , то існує заряд  $q$ :  $q = C \cdot U_K$ . За наявності заряду у зоні дотику колеса і рейки, який (за наявності руху поїзду) рухається у тілі колеса і рейки, у відповідності до закону Біо-Савара-Лапласа, створюються умови виникнення магнітного поля. Магнітне поле, замикаючись ліворуч і праворуч від зони контакту, створює прямий і зворотній імпульси енергії. Тоді, з урахуванням кінетичної енергії  $\frac{mv^2}{2}$  рухомого поїзду, сумарна енергія  $T$  руху колеса складає:

$$T = \frac{F_1}{2g} v^2 - \frac{F_2}{2g} v^2 + \frac{mv^2}{2} = \frac{v^2}{2g} (F_1 - F_2 + mg),$$

де  $F_1, F_2$  - сили з фронтальної та тильної сторін, відносно напрямку руху, відповідно,  $m$  – маса поїзду.

Внаслідок руху повітряний зазор із фронтальної сторони за будь який малий  $\Delta t$  інтервал часу  $t$  зменшується, а з тильної – збільшується. Усталене

значення швидкості  $v$  залежить від маси  $m$  поїзду і встановлюється внаслідок збільшення плеча сили  $F_2$  в результаті переміщення потоку електронів у тильний бік [2]. Цей зсув струму обумовлений наявністю індуктивності у колі живлення. Оскільки струм в індуктивності миттєво змінитися не може, то із збільшенням швидкості  $v$  потік електронів за рахунок іскріння зміщується у тильну, відносно напрямку руху, сторону. В результаті швидкість обертання колеса  $\omega$  залежно від струму  $I$  і маси  $m$  виходить на усталене значення. Це підтверджується багатьма дослідженнями з двигуном Косирєва-Мільроя [2,3], який працює на ефекті Губера.

Фізична модель зони контакту колеса і рейки являє собою дві паралельні пластини, розміром  $16,8\text{мм} \times 19\text{мм}$ , які за допомогою струбцини і мікрометра розташовувались на заданій відстані  $\delta$  одна від одної. Ємність такого конденсатора вимірювалась цифровим мультиметром. У табл.1 подано результати експериментальних вимірів і теоретичних прогнозних у зону малих і дуже малих зазорів  $\delta$ .

Таблиця 1 – Експериментальні і прогнозні значення ємності контакту

	Експеримент			Прогноз			
$\delta \cdot 10^{-6}$ м	10	25	35	1	0,1	0,01	0,001
$C \cdot 10^{-12}$ Ф	142	54	37				
$C_{\text{теор}} \cdot 10^{-12}$ Ф	135,5	54,24	37,71	1355	13550	135500	1355000

Виходячи з апріорі відомої залежності, що ємність плаского конденсатора  $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S_K}{\delta}$ , розраховувалось середнє значення  $\hat{K}$  чисельника  $\hat{K} = \epsilon_0 \epsilon_r S_K = C\delta$ :

$$\hat{K} = \frac{(142 \cdot 10 + 54 \cdot 25 + 37 \cdot 35)}{3} = 1355 \cdot 10^{-18}$$

і, відповідно до  $\hat{K}$ , теоретичні значення ємності  $C_{\text{теор}}$ .

Середньоквадратична похибка становила

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^3 (C_i - C_{i\text{теор}})^2}{3}} = 3,7 \cdot 10^{-12}.$$

Прогнозні значення ємності розраховувались виходячи з  $K = \hat{K}$ .

На рис. 2 подано графіки  $C(\delta)$  у межах експерименту та прогнозу  $C_{\text{теор}}(\delta)$  на малі зазори  $\delta$ .

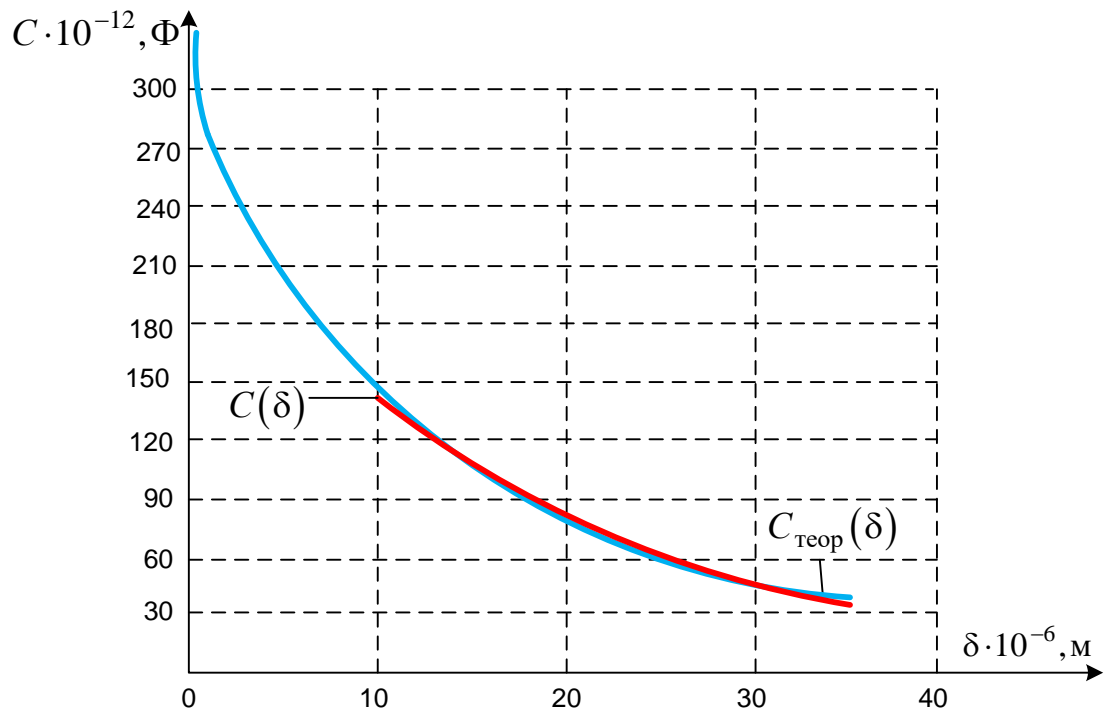


Рисунок 2 – Залежності  $C$  і  $C_{\text{теор}}$  від повітряного зазору

Як можна побачити з табл.1 за реально малих зазорів між колесом і рейкою у зоні контакту, ємність  $C$  може суттєво зростати.

**Висновок.** Наявність ємності у ФММ рухомого контакту свідчить про наявність заряду, який також рухається. У відповідності до закону Біо-Савара-Лапласа рухомий заряд створює магнітне поле. Саме врахування ємності і заряду у моделі рухомого контакту і дозволило пояснити ефект Ж.Губера [2, 3].

#### Перелік посилань

1. Островерхов М.Я., Сільвестров А.М., Скринник О.М. Системи і методи ідентифікації електротехнічних об'єктів: монографія. К.: НАУ, 2016. 324 с.
2. Сільвестров А.М., Зіменков Д.К. Ефект Ж.Губера (лабіринти наукового пошуку): монографія. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 132 с.
3. Сільвестров А.М., Зіменков Д.К. Аналіз теоретико-експериментальних досліджень ефекту Ж. Губера. *Український фізичний журнал, Інститут теоретичної фізики імені ММ Боголюбова НАН України*. Київ, 2017. Т.62, № 11. С. 994-999.