

УДК 681.586

Граняк В. Ф., к.т.н., доцент

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАКЛАДНОГО ТРАНСФОРМАТОРНОГО ВИХРОСТРУМОВОГО СЕНСОРА ОСЬОВОГО ЗМІЩЕННЯ РОТОРА

Перспективними для вимірювання осьового зміщення ротора електричних машин є засоби вимірювання абсолютного переміщення, в основу яких покладено вихрострумний метод вимірювання. Такі сенсори дозволяють вимірювати абсолютні переміщення феромагнітних конструкцій порядку 0,1 мк при забезпеченні необхідної для роботи системи технічного контролю чи діагностування швидкодії. А також, у випадку використання накладних вихрострумних вимірювальних перетворювачів (ВВП) не потребують втручання у конструкцію електричної машини [1]. Однак, широке застосування таких ВВП та засобів вимірювання осьового зміщення, побудованих на їх основі, ускладнюється відсутністю високоточних математичних моделей вихрострумних сенсорів [6]. Тож, розробка таких математичних моделей має значне як загальнотеоретичне, так і прикладне значення.

Накладні ВВП можуть бути параметричними, які мають одну обмотку, та трансформаторними, з двома і більше обмотками [2]. Про те трансформаторні сенсори мають ряд суттєвих переваг перед параметричними. Зокрема, вони характеризуються більш високою стабільністю вихідного сигналу. З точки зору розрахунку вихідних сигналів накладних ВВП при певних умовах (зазорі, частоті, струмі тощо) основною задачею є розрахунок комплексної внесеної напруги на вимірювальній обмотці двохобмоткового ВВП. Найчастіше на практиці використовується котушка з коловими витками. Типова конструктивна схема такого сенсора без каркаса та елементів кріплення наведена на рис. 1 [2].

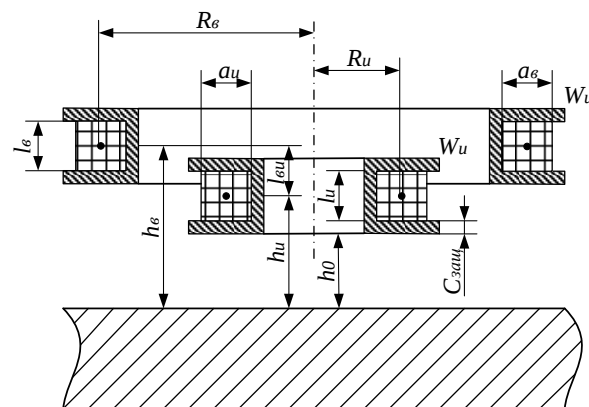


Рисунок 1 – Розрахункова модель накладного двохобмоткового ВВП

Основним вихідним параметром трансформаторного вихрострумного сенсора є значення ЕРС або напруги на вимірювальних обмотках.

Коли поблизу накладного ВВП немає об'єкта контролю, то початкова напруга на його вимірювальній обмотці буде визначатися взаємоіндуктивністю

M між його котушками:

$$\underline{U}_2 = -j\omega M_{12} \underline{I}, \quad (1)$$

при чому значення взаємодуктивності між обмотками для конкретного сенсора сенсора M_{12} можна знайти за допомогою відомих співвідношень [3, 4].

Виконавши ряд перетворень, можна отримати відповідні точні вирази ЕРС вимірювальної обмотки для середовищ різної структури. Проте, інтерпретація цих виразів навіть з допомогою електронно-обчислювальної техніки є достатньо трудомісткою. Звідси доцільним є використання саме наближених розрахунків для поля у верхньому півпросторі. Враховуючи це, доцільно записати залежність для ЕРС вимірювальної обмотки у деякому наближенні:

$$\begin{aligned} EPC_2 = & -j \frac{\omega \mu_0}{4\pi} (34x - 10) W_1 W_2 \sqrt{R_1 R_2} e^{-\frac{3c}{2R_2}} \underline{I} - \\ & -j \frac{\omega \mu_0}{4\pi} (34x - 10) W_1 W_2 \sqrt{R_1 R_2} e^{-3\frac{h_1+h_2}{2R_2}} \underline{I} \varphi_1(\lambda). \end{aligned} \quad (2)$$

У наведеному виразі

$$c = |h_2 - h_1|, \quad (3)$$

$$\lambda = \frac{3}{2R_2}. \quad (4)$$

Підставимо у (2) $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ (Гн/м), отримаємо:

$$\begin{aligned} EPC_2 = & -j\omega 34 \cdot 10^{-7} (x - 0,3) W_1 W_2 \sqrt{R_1 R_2} e^{-\frac{3c}{2R_2}} \underline{I} - \\ & -j\omega 34 \cdot 10^{-7} (x - 0,3) W_1 W_2 \sqrt{R_1 R_2} e^{-3\frac{h_1+h_2}{2R_2}} \underline{I} \varphi_1(\lambda). \end{aligned} \quad (5)$$

Враховуючи відносно невелике значення напруженості магнітного поля, що створюється струмовою обмоткою, значення відносної магнітної проникності торцевої частини ротора можна вважати постійним. В такому випадку [3]:

$$\varphi_1(\lambda) = j \frac{3\mu - \sqrt{9 + 14\beta^2}}{3\mu + \sqrt{9 + 14\beta^2}}, \quad (6)$$

де μ – відносна магнітна проникність торцевої частини ротора; β – коефіцієнт, що враховує електромагнітні властивості торцевої частини ротора (феромагнітного середовища, що впливає на сенсор) та визначається наступним чином:

$$\beta = R_2 \sqrt{\omega \sigma \mu \mu_0}, \quad (7)$$

де σ – питома електропровідність торцевої частини ротора; μ – відносна магнітна проникність торцевої частини ротора.

Введемо позначення:

$$\begin{cases} \underline{U}_2 = -EPC_2, \\ \underline{U}_{2n} = 34 \cdot 10^7 \omega (x - 0,3) W_1 W_2 \sqrt{R_1 R_2} \underline{I}, \end{cases} \quad (8)$$

де $\underline{U}_2$ – напруга на вимірювальній котушці; U_{2n} – модуль початкової напруги на вимірювальній котушці при відсутності провідного середовища.

З урахуванням (8), а також того, що відстань між сенсором та струмовідним середовищем x дорівнює h_2 прив'язавши нульову початкову фазу до початкової фази струму у струмовій обмотці наближено можемо записати:

$$\underline{U}_2 = jU_{2n} \left(e^{-\frac{3c}{2R_2}} + e^{-\frac{6x-c}{2R_2}} j \frac{3\mu - \sqrt{9 + 14R_2^2 \omega \sigma \mu \mu_0}}{3\mu + \sqrt{9 + 14R_2^2 \omega \sigma \mu \mu_0}} \right). \quad (9)$$

Отриманий вираз однозначно пов'язує вхідну (відстань між сенсором та струмовідним середовищем) на вихідну (комплексну напругу на вимірювальній котушці) величину. Як видно з аналізу (9), від відстані між сенсором та струмовідним середовищем залежать два параметри – діюче (амплітудне) значення вихідної напруги та її зміщення за фазою.

Висновок. Отримано математичну модель накладного трансформаторного ВВП. Показано, що у функціональній залежності від відстані між сенсором та струмопровідним середовищем при постійному значенні струму струмової обмотки перебуває як діюче значення напруги вимірювальної обмотки, так і зміщення її початкової фази.

Список літератури

1. Троицкий В. А. Вихретоковый контроль : учебн. пособие. Киев: Феникс. 2011. 148 с.
2. Кухарчук В. В., Ведміцький Ю. Г., Граняк В. Ф. Вимірювання параметрів обертального руху електромеханічних перетворювачів енергії в перехідних режимах роботи : монографія. Вінниця: ВНТУ. 2019. 152 с.
3. Учанин В. Н. Вихретоковые накладные преобразователи: расширенная классификация, сравнительный анализ и характерные примеры реализации. *Техническая диагностика и неразрушительный контроль*. 2010. Вип. 4. С. 22–28.
4. Соболев В. С., Шкарлет Ю. М. Накладные и экранные датчики: монография. Новосибирск: Наука, 1967. 144 с.

УДК 629.7.083

Котов О. Б., д.т.н., директор

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ, м. Кременчук, Україна

ДІАГНОСТИКА АВІАЦІЙНИХ ГТД ЗА ДОПОМОГОЮ НАБОРУ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ І РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ

Створення моделі діагностики є важливим етапом розробки методу інформаційної оцінки діагностичних параметрів для будь-якої складної технічної системи, зокрема, для авіаційних газотурбінних двигунів (ГТД).

До числа основних етапів створення моделі слід віднести: вибір вхідних параметрів (незалежних змінних), підбір залежностей і подальший аналіз