

УДК 620.179.14

Козлов В. В.¹, Набокова О. В.²

¹ канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

² доц. НУ «Запорізька політехніка»

ЕФЕКТ ВІЛЛАРІ ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ

Ефект Вілларі названо на честь італійського фізика Еміліо Вілларі, який відкрив це явище в 1865 році. Явище також називають магнітопружним ефектом. Його фізична суть полягає в зміні магнітної проникності, а також пов'язаних з нею магнітних властивостей під впливом механічної деформації зразків, які виготовлені з феромагнетиків. При накладенні на феромагнітний зразок постійного пружного зусилля намагніченість магнітного поля зразка зі збільшенням механічної напруженості спочатку зростає, проходить через максимум (точка Вілларі), а потім убуває до нуля. На данім принципі базується робота магнітопружних вимірювальних перетворювачів.

Для прикладу можна глянути на петлі гістерезису пермалою й нікелю в умовах дії механічного розтягання на виготовлені з даних матеріалів зразки. При розтяганні зразка з нікелю, з ростом напруги розтягання - петля гістерезису нахилиється. Це значить, що чим більше розтягання нікелю — тем менше його магнітна проникність. Залишкова індукція при розтяганні нікелевих зразків також зменшується. А ось коли розтягують зразок з пермалою, форма його петлі гістерезису наближається до прямокутної, відповідно магнітна проникність пермалою при розтяганні збільшується та залишкова індукція також зростає. Якщо напруга змінюється з розтягання на стиснення, то й знак зміни магнітних параметрів змінюється на протилежний.

Причина прояву ефекту Вілларі у феромагнетиках при механічній деформації полягає в наступному. Коли на феромагнетик діє механічна напруга, то вона змінює його доменну структуру, тобто межі доменів зміщуються, їхні вектори намагніченості повертаються. Це подібно до ефекту намагнічування осердя струмом. Якщо дані процеси мають однаковий напрям, то магнітна проникність зростає, якщо ж напрям процесів протилежно — зменшується.

Це явище використовується для виготовлення магнітострикційних резонаторів, у яких виникає механічний резонанс під дією змінних магнітних полів. Магнітострикційні резонатори можуть бути виготовлені для частот до 100 кГц і навіть вище й на цих частотах знаходять собі різні застосування для стабілізації частоти (аналогічно п'єзокварцам) для одержання ультразвуків і т.б.

З позиції магнітопружного ефекту, матеріал можна характеризувати таким параметром як коефіцієнт магнітопружної чутливості. Він являє собою відношення зміни відносної магнітної проникності зразка до його відносної деформації

$$k_{\mu} = \frac{\Delta\mu/\mu}{\Delta l/l} \quad (1)$$

або до прикладеної механічної напруги

$$k_{\sigma} = \frac{\Delta\mu/\mu}{\Delta\sigma}. \quad (2)$$

А оскільки відносна зміна довжини й механічна напруга зв'язані законом Гука, то ці коефіцієнти зв'язані один з одним через модуль Юнга:

$$k_{\mu} = E \cdot k_{\sigma}. \quad (3)$$

Зміна магнітної проникності матеріалу при його деформації може бути перетворене в електричний сигнал за допомогою індуктивного вимірювання (індуктивне або індуктивне перетворення).

Відомо, що індуктивність котушки на замкненому осерді постійного перетину обчислюється за наступною формулою:

$$L = \mu \cdot \omega^2 \frac{S}{l_{\text{сер}}} . \quad (4)$$

Якщо під дією якоїсь зовнішньої сили магнітопровід (осердя котушки) деформується, то зміняться його геометричні розміри та магнітна проникність. Таким чином, при механічній деформації змінюється індуктивність котушки. Зміну індуктивності можна обчислити за допомогою диференціювання попередньої формули

$$\Delta L = \frac{dL}{d\mu} \cdot \Delta\mu + \frac{dL}{dS} \cdot \Delta S + \frac{dL}{dl_{\text{сер}}} \cdot \Delta l_{\text{сер}} . \quad (5)$$

Для феромагнітних матеріалів із сильно вираженим ефектом Віллари можна знехтувати зміною геометричних розмірів, тобто вважати, що:

$$\Delta L = \frac{dL}{d\mu} \cdot \Delta\mu = L \cdot k_{\mu} \cdot \frac{\Delta}{l_{\text{сер}}} = L \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma . \quad (6)$$

У випадку взаємодуктивного вимірювального перетворення змінюється взаємна індуктивність котушок:

$$\Delta M = \frac{dM}{d\mu} \cdot \Delta\mu = M \cdot k_{\mu} \cdot \frac{\Delta}{l_{\text{сер}}} = M \cdot k_{\sigma} \cdot \sigma . \quad (7)$$

Ефект Віллари застосовують в сучасних магнітопружних вимірювальних перетворювачах, які дозволяють вимірювати значні сили й тиски, механічні напруги й деформації в різних об'єктах. У порівнянні з тензометричними датчиками, які зазвичай використовують для вимірювання сил, магнітопружні датчики відрізняються підвищеною надійністю й рівнем вихідного сигналу, а також дозволяють використовувати більш прості схеми вимірювання. Вони знайшли застосування в тих областях техніки, де пред'являються підвищені вимоги до надійності у зв'язку з експлуатацією в тяжких умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Козлов В.В. Динамічні характеристики магнітопружних перетворювачів / В.В. Козлов, В.Ф. Безотосний, О.В. Набокова, М.Л.

Антонов / Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Серія : Техніка та електрофізика високих напруг. - 2016. - № 14. - С. 5-9. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vcpitevn_2016_14_28.