

УДК 534. 63

О.С. Кучугурний, О.П. Шпінь, д-р техн. наук

Підвищення чутливості магнітострикційних вимірювальних систем на відбиттях

Обнаружена способность волноводных магнитострикционных измерительных систем к увеличению чувствительности при введении в процесс преобразования дополнительного количества отражений несущего акустического сигнала. Это качество способствует расширению функциональных возможностей магнитострикционных преобразователей параметров движения.

An ability of waveguide magnetostrictive measuring systems to the increase of sensitivity at introduction to the process of transformation of additional amount of reflections of bearing acoustic signal was found out. This quality opens an opportunity for expansion of functional possibilities of magnetostrictive transformers of motion parameters.

Вступ

Головна функціональна перевага магнітострикційних вимірювальних структур (МВС), в порівнянні з іншими акустичними системами, наприклад, п'єзоелектричними, полягає в можливості безконтактної зміни положення акустичного хвилеводу відносно місця розміщення системи збудження і реєстрації (прийому) акустичних хвиль. В результаті, на основі МВС, можна без механічного опору, перетворити координати об'єкту контролю у просторі або його параметри руху у пропорційний електричний еквівалент. Аналіз метрологічних характеристик МВС передбачає оцінювання значення коефіцієнта перетворення, яке ототожнюють величиною чутливості.

Основні положення

У якості базової структури для перетворення параметрів руху об'єкту (переміщень, швидкості) доцільно використовувати акустичну систему [1] (рис. 1), що включає кільцевий акустичний хвильовід 1, який жорстко прив'язаний до вхідного валу 2, кутове положення якого потрібно визначити. Функції вхідного і вихідного електроакустичних перетворювачів, що призначені відповідно для збудження і прийому акустичних хвиль, поєднані в одній магнітній головці 3, яка виконана у вигляді обмотки на кільцевому магнітному осередді з поперечним розрізом. При збудженні на обмотку подається імпульс електричного струму $i(t)$, який в результаті прямого магніто-

стрикційного ефекту (ефекту Джоуля) перетворюється в акустичний імпульс або імпульс пружної хвилі, що розповсюджується вздовж хвилеводу. Суміщення функцій збудження і прийому акустичних хвиль в одній магнітній головці, яка своєю обмоткою з'єднана з електронною схемою формування і обробки сигналів тільки однією лінією зв'язку, дозволило реалізувати дуже важливий технологічний прийом: зробити перетворення безконтактним. Дійсно, рухомий хвильовід не потребує електричного зв'язку зі схемою, а допускає пряме (збудження) і зворотне (прийом) електроакустичне перетворення при невеликому зазорі між головкою і хвилеводом.

Після відбиття від торцевої грані хвилеводу акустичний імпульс рухається в напрямку магнітної головки. У зв'язку з тим, що хвильовід виконано з магнітострикційного матеріалу, повздовжній рух акустичного імпульсу супроводжується в зоні своєї дії динамічною зміною магнітної проникності матеріалу в середині хвильоводу (ефект Віллари).

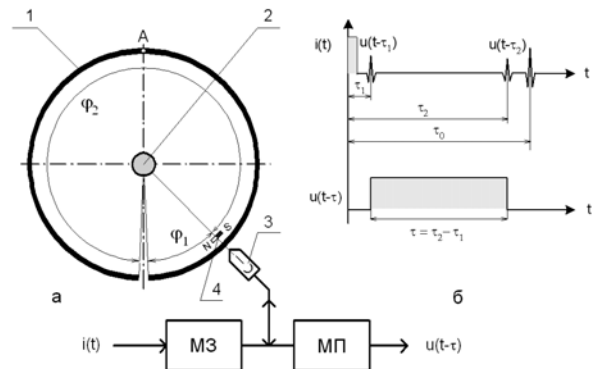


Рис. 1. Магнітострикційний перетворювач кута повороту: а – структурна схема; б – часова діаграма сигналів

Враховуючи, що в зоні щілини осереддя магнітної головки введено підмагнічування постійним магнітним полем 4, при поверненні акустичного імпульсу до магнітної головки і проходженні його вздовж перерізу (щілини) осереддя, в її обмотці наводиться електричний імпульс $u(t - \tau)$, час дії якого має затримку τ , відносно часу дії імпульсу збудження. Оскільки магнітну головку встановлено нерухомо, а хвильовід може рухатись згідно стану вхідного валу, то час затримки між імпульсом збудження і прийому буде залежати від взаємного кутового положення між хвильоводом (вхідним валом) і магнітною голо-

воюю і, таким чином, відтворювати кутове положення валу.

Звичайно, що для збудження акустичних імпульсів у системі потрібний формувач електричних імпульсів відповідного рівня струму і узгодженості з опором обмотки магнітної головки. Описані функції виконує модуль збудження МЗ. У режимі прийому акустичних хвиль електричний сигнал з виходу магнітної головки повинен бути підданий часовій селекції і підсиленню до номінального рівня. Ці функції доручено модулю прийому МП (рис. 1,а).

Наявність двох відбиваючих поверхонь на торцевих гранях хвильоводу призводить до циркуляції в системі декількох імпульсних сигналів, час дії яких пропорційний кутовому положенню вхідного валу φ відносно магнітної головки. Так, після збудження, магнітною головкою першим буде прийнято імпульс, що утворився в результаті відбиття від ближньої до головки торцевої поверхні (рис. 1,б). Його час затримки становить:

$$\tau_1 = \frac{2\varphi_1 R}{c}, \quad (1)$$

де φ_1 - кут між магнітною головкою і ближньою торцевою поверхнею; R - радіус кривизни хвильоводу; c - швидкість розповсюдження акустичних хвиль по хвильоводу.

Аналогічно можна визначити час затримки другого в прийнятій послідовності імпульсних сигналів:

$$\tau_2 = -\frac{2\varphi_2 R}{c}. \quad (2)$$

Знак мінус у формулі (2) вказує на протилежний напрямок відліку вхідного кута φ , так, якщо φ_1 позитивний вхідний кут, то φ_2 - від'ємний.

Кожна з характеристик (1), (2) є функціями перетворення кутового положення φ_1 і φ_2 в інтервал часу затримки τ_1 і τ_2 вихідних імпульсів, тобто фактично визначає характеристику перетворення у статичному режимі.

Графік залежностей (1) і (2) представлено на рис. 2, де в координатах: вхідний кут - φ , вихідний часовий інтервал - τ , побудована родина характеристик перетворення.

Вирази (1) і (2) є лінійними функціями, що показано на відповідних графіках: пряма 1 - відповідає залежності (1), а пряма 2 - залежності (2). Перша з них відтворює пряму залежність: зростання вхідного кута φ_1 призводить до пропорційного зростання вихідного інтервалу τ_1 , а друга - зворотну залежність між кутом φ_2 і часовим інтервалом τ_2 .

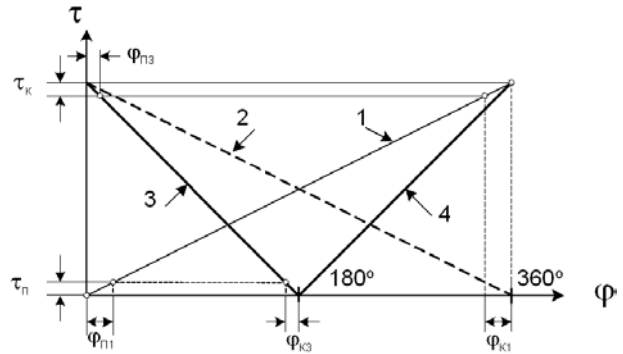


Рис. 2. Перетворювальні характеристики магнітострикційного перетворювача кута

Як відомо, чутливість вимірювальних систем визначається відношенням приросту вихідної фізичної величини Δu до приросту вхідної фізичної величини ΔA , що його викликає

$$S = \Delta u / \Delta A \quad (3)$$

Розрахунок чутливості перетворювача за формулами (1), (2) і (3) показує, що її значення є однаковим (за модулем) для двох перших характеристик перетворення.

$$S_{1,2} = |2R/c|. \quad (4)$$

Аналіз виразу (4) показує, що чутливість буде сталою в діапазоні перетворення, якщо сталими будуть радіус кривизни хвильоводу R і швидкість розповсюдження акустичних хвиль у хвильоводі c . Наявність множника "2" у виразі (4) вказує на подвійний (прямий і зворотній) шлях розповсюдження хвилі вздовж хвильоводу, викликаний відбиттям хвилі від торцевої крайової поверхні хвильоводу.

Обробка вихідних сигналів акустичного тракту за алгоритмом виділення (рис.1,б) різницевого часового інтервалу між інтервалами τ_2 і τ_1 призводить до формування нової функції перетворення, чутливість якої вдвічі більша від попередньої

$$\tau = \tau_2 - \tau_1 = \frac{4|\varphi|R}{c}, \quad (5)$$

де $|\varphi|$ - модуль різниці кутового положення магнітної головки відносно положення торцевих поверхонь хвильоводу, $\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$. Цей кут має фізичне відтворення як кут між положенням магнітної головки і точкою А на середині хвильоводу.

Графік функції (5) представлено на рис. 2 у вигляді прямих 4 і 3, відповідно для прямої і зворотної залежності кута повороту φ і часовим інтервалом τ . Аналіз цих залежностей показав, що подвійне зростання чутливості отожнюється підйомом крутизни характеристик та відповідним зменшенням діапазону перетворення.

На графіках рис. 2 також показані початкова τ_n і кінцева τ_k часові зони, які звужують ділянку робочого діапазону перетворення кута на зна-

чення $\varphi_{п1}$ і $\varphi_{к1}$ для залежності 1 та на значення $\varphi_{п3}$ і $\varphi_{к3}$ для залежності 3. Зазначені обмеження, пов'язані з кінцевими тривалостями імпульсів збудження і відтворення, які за час дії між ними призводять до суттєвої похибки або зриву процесу перетворення, що вимагає уведення так званої "мертвої зони".

Подальшим позитивним рішенням у напрямку підвищення чутливості перетворення кута повороту є пропозиція уведення другого кільцевого хвилеводу, розвернутого відносно першого на 180° (рис. 3). У такій акустичній системі магнітні головки мають однакове кутове положення і розміщені нерухомо відносно вхідного валу і рухомої платформи з хвольоводами. Точка відліку "нульового" кута (точка А) переміщується за напрямом часової стрілки на 90° .

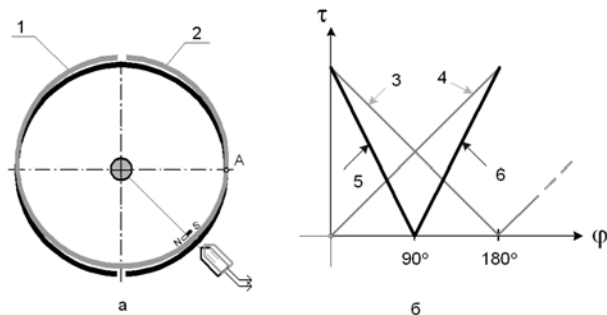


Рис. 3. МС перетворювач із підвищеною чутливістю: а – структурна схема; б – функції перетворення

Кожна з двох акустичних систем, згідно функції перетворення (5), здатна формувати належний часовий інтервал τ_3 та τ_4 , де індекси "3" та "4" вказують на зв'язок інтервалу з відповідним

номером графіка функції перетворення, зображеними на рис. 3,б.

$$\tau_3 = -\frac{4\varphi R}{c}, \quad \tau_4 = \frac{4\varphi R}{c}. \quad (6)$$

Тепер, якщо, у якості результуючого, взяти різницею часовий інтервал між значеннями τ_3 та τ_4 , визначеними у (6), то отримаємо новий інтервал з удвічі більшою чутливістю перетворення

$$\tau_{5,6} = \tau_4 - \tau_3 = \frac{8|\varphi|R}{c}. \quad (7)$$

Числові індекси "5" та "6" при τ у (7), вказують на зв'язок інтервалу з відповідним номером графіка функції перетворення, зображеними на рис. 3,б.

Висновки

Таким чином, порівнюючи функції перетворення (1), (4) і (7), констатуємо, що збільшення кількості поверхонь відбиття у МВС призводить до потенційного збільшення чутливості і відповідного зменшення робочого діапазону перетворювача. Цей висновок можна інтерпретувати як теорему про підвищення чутливості магнітострикційних перетворювачів параметрів руху на відбиттях.

Література

1. Шпинь А.П. Новый класс преобразователей угла поворота для технологических систем широкого назначения // Технологические системы. 2000. № 4. С. 50-55.