

*В.В.КЛІТНОЙ*, канд. техн. наук, ст. викл. НТУ «ХП»

## **ВИВЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ АКТИВНОГО ГАСІННЯ ВІБРАЦІЙ, ПОБУДОВАНИХ НА БАЗІ П'ЄЗОЕЛЕКТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, В ВІБРОЗАХИСНИХ СИСТЕМАХ МАШИН, ПРИБОРІВ ТА АПАРАТІВ.**

В статті дається огляд проблем, пов'язаних з активним подавленням вібрацій. Аналізується можливість застосування різних адаптивних елементів в віброзахисних системах. Проводиться огляд активних методів боротьби з вібраціями.

The review of the problems related to active vibrations suppression is given in the article. Possibility of application different adaptive elements is analysed in the vibroprotective systems. The review of active methods vibrations control is given.

Для зниження віброактивності механічних систем, зменшення рівня шумів і вібрацій широко застосовують віброзахисні системи. У цій області активний контроль вібрацій нині є однією з першочергових цілей. Зазвичай виділяють два підходи до цієї проблеми: – кероване демпфування за допомогою якого через керовані схеми, виконані на базі активних елементів, збільшується коефіцієнт демпфування системи (напівактивні системи керування); – гасіння вібрацій, коли здійснюється гасіння збурювання за допомогою активної дії на систему (активні системи керування).

При керованому демпфуванні вібрацій електричне поле, що прикладається, використовується для створення струму збудження в опорі зовнішнього ланцюга. В цьому випадку відбувається розсіювання енергії через електричний нагрів.

При активному гасінні вібрацій актуатор використовується для створення коливань в протифазі по відношенню до збурюючих вібрацій.

Зазвичай схеми керованого демпфування ефективніші при гасінні усього спектру вібрацій, коли відсутні відомості про збурюючий сигнал. Якщо ж частотні діапазони вібрацій частково відомі, або існує можливість їх визначення, то схеми активного гасіння збурень можуть бути значно ефективніші, особливо при роботі на резонансних режимах.

**Адаптивні матеріали.** У адаптивних структурах, основною метою яких є активний контроль вібрацій, знаходять застосування різні види актуаторів і сенсорів. При розгляді чутливих матеріалів цікава наступна велика бібліографія по цьому предмету [1]. Серед актуаторів, зазвичай, виділяють наступні типи: електродинамічні, пневматичні, гідравлічні, електромагнітні та актуатори, виконані на базі адаптивних матеріалів.

Характеризуючи особливості кожного типу слід відмітити, що електродинамічні актуатори використовуються вже впродовж багатьох років. Такі актуатори відносно дешеві, але вони мають великі розміри і вагу, що являється причиною їх обмеженого застосування.

Гідравлічні і пневматичні, а також електромагнітні актуатори активно використовуються для гасіння вібрацій. Але, незважаючи на значні сили, що розвиваються перерахованими актуаторами, вони вимагають складних комутаційних ліній і додаткових джерел енергії. І з цієї причини в деяких випадках ефективніше використати актуатори, виконані з адаптивних матеріалів. Хоча вихідні переміщення таких актуаторів відносно малі, проте, вони можуть створювати досить великі сили в порівнянні з силами, що викликаються гідравлічними і пневматичними актуаторами. Крім того, вони охоплюють набагато ширший діапазон частот.

Відомо, що актуатори з адаптивних матеріалів використовуються і в якості інтегрованих в систему елементів. Такого роду актуатори вбудовуються в конструкцію з метою робити бажані деформації в структурі і дозволяють активно впливати на вібрації в системі. Аналогічним чином в конструкцію можуть бути вбудовані і адаптивні чутливі елементи. Сучасний розвиток адаптивних матеріалів дозволяє інтегрувати сенсори і актуатори в систему, не змінюючи її масових і жорсткісних характеристик.

Термін «адаптивні матеріали» включає велику кількість різноманітних матеріалів, що мають властивості сенсорів і актуаторів. Серед них деякі можуть володіти тільки властивостями сенсорів (оптичні сенсори та ін.), а деякі можуть бути використаними і в якості сенсорів і в якості актуаторів. Такі матеріали здатні змінювати свої механічні властивості (в'язкість, жорсткість, форму) під впливом температурної зміни, електричного або магнітного полів.

При розгляді адаптивних матеріалів слід виділити матеріали, які безпосередньо конвертують зовні прикладену електричну або магнітну дію в механічну, або, навпаки, перетворюють механічну дію в електричну, або магнітну шляхом прямого фізичного ефекту на мікроструктурному рівні. До такого класу матеріалів відносяться п'єзо і електрострикційна кераміка, п'єзоелектричні полімери та магніострикційні сплави.

П'єзокерамічні елементи є твердотілими, характеризуються високою завадозахищеністю, малим рівнем власних шумів, підвищеною радіаційною стійкістю. Керамічна технологія виготовлення п'єзоелементів не накладає принципових обмежень на їх форму і розміри.

Під електрострикційною керамікою зазвичай розуміються матеріали на основі свинцевого ніобату магнію (у зарубіжній літературі PMN). Електрострикція спостерігається у всіх діелектриків. Зовнішнє електричне поле, прикладене до діелектрика, викликає деяку зміну його геометричних розмірів. Механічна напруга також змінює розміри діелектрика, але при цьому не виникає дипольного моменту. Крім того, на відміну від

п'єзоелектричної, в електрострикційній кераміці механічна деформація, викликана поляризацією діелектрика, не залежить від напрямку поляризації. Хоча електрострикційні матеріали ефективні при роботі на високочастотних динамічних режимах, але через високу термочутливість вони мають значно менше практичне застосування [2].

Деякі полімерні матеріали у вигляді механічно орієнтованих і поляризованих в електричному полі плівок являються полярними текстурами, в яких спостерігається п'єзоелектричний ефект. Серед них практичний інтерес представляє полівініліденфторид (ПВДФ), в іноземних джерелах (PVDF, або іноді PVF2). Після витягу плівок з цього полімеру і їх поверхневої металізації, прикладається високе електричне поле для забезпечення однорідної поляризації і прояву п'єзоелектричних властивостей. Великою перевагою ПВДФ є хороша гнучкість, що дозволяє використати цей матеріал в ситуаціях, де крихкість п'єзоелектричної кераміки є серйозною перешкодою. Проте використання ПВДФ в якості актуатора часто неможливе внаслідок низького модуля пружності полімеру і, як наслідок, неможливості створення достатніх сил. В той же час в якості сенсора ПВДФ створює більш високу напругу у відповідь на механічну дію. Так, п'єзоелектрична константа (електрична напруга, вироблювана від одиниці механічної напруги) в 10-20 разів вище, чим у відомих п'єзокерамічних матеріалів.

З магнітострикційних сплавів також виготовляються актуатори для гасіння вібрацій. Такі актуатори виробляють сили значно вищі, ніж аналогічні п'єзокерамічні, але вага їх в 10-20 разів більше [2].

Серед адаптивних матеріалів слід виділити сплави з пам'яттю форми. Актуатори, виконані з таких сплавів, створюють механічну дію через металургійне перетворення фази, викликане переходом деяких температурних порогів.

Викликають інтерес згадувані рядом авторів [3] адаптивні матеріали, які змінюють свої демпфуючі властивості в залежності від електричного та магнітного полів. Це рідини електрореологій, які є суспензіями мікроскопічних часток з високою діелектричною міцністю, які можуть змінювати свою в'язкість під дією електричної дії, та магнетореологічні рідини, які є суспензіями феромагнітних мікроскопічних часток, і здатні змінювати свою в'язкість при дії на них магнітних полів.

Незважаючи на широкий вибір адаптивних матеріалів основним, найбільш затребуваним матеріалом нині все ж являється п'єзоелектрична кераміка. Ще однією її перевагою є можливість використання її, як в ролі сенсорів, так і в ролі актуаторов.

**Активне управління вібраціями.** Питаннями активного контролю вібрацій розпочали займатися у кінці сімдесятих років двадцятого століття. До теперішнього часу слід виділити два основні принципи управління вібраціями.

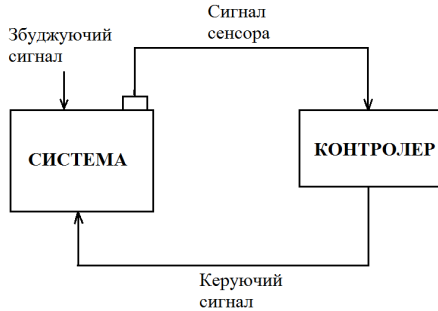


Рис. 1. Схема методу контролю із зворотнім зв'язком.

Узагальнена схема методу контролю із зворотнім зв'язком представлена на рис. 1. Суть методу полягає в тому, що вихідний сигнал системи подається на контроллер і в подальшому після перетворення впливає на саму систему. Основним завданням при реалізації цього методу є підбір відповідного контроллера, який би дозволив замкнутій системі (рис. 1) залишатися стійкою і виконувати поставлене спочатку завдання активного демпфування [4].

Іншим, найчастіше використовуваним методом контролю в системах активного гасіння вібрацій, являється метод регулювання по збуренню, що знайшов успішне застосування у ряді прикладних дослідницьких робіт [5].

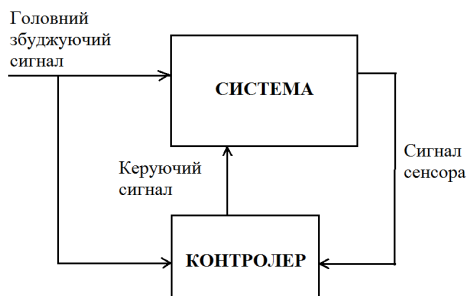


Рис. 2. Схема методу контролю по збуренню.

Схема методу контролю по збуренню представлена на рис. 2. Цей метод ґрунтується на тому, що основний збудливий сигнал проходить через контроллер і подається на систему через вторинне джерело. Ідея методу полягає в тому, що повинне створитися вторинне збурення, яке повністю погасить початкове збудження в зонах розташування сенсорів. Звичайно, немає ніякої гарантії, що збурення будуть погашені і в інших областях системи. Не виключено, що в деяких зонах вони будуть посилені. Тому цей метод потрібно розглядати як локальний, на відміну від методу зворотнього

зв'язку, який є глобальним. Слід зазначити також і те, що на відміну від методу зворотнього зв'язку, який дозволяє ослабити збурення біля резонансних піків, метод контролю по збуреннях вирішує задачу повного гасіння збурень на будь-якій частоті, генеруючи вторинний сигнал в протифазі до основного.

В якості підтвердження останнього в роботі [6] були проведені експериментальні дослідження, в ході яких вивчалась можливість використання п'єзоелектричної кераміки в якості сенсорів і актуаторів при статичних і динамічних режимах роботи на моделі ортотропної пластини. Активне гасіння вібрацій пластини здійснювалося на основі використання схеми управління зі зворотнім зв'язком за швидкістю переміщень.

**Висновки.** Отримані результати [6] свідчать про ефективність активного управління вібраціями, оскільки при цьому відбувається гасіння максимальних амплітуд коливань на першій власній частоті на 37% на другій - на 41%.

**Список літератури:** 1. *Udd E.* Fiber optic smart structures / *E. Udd* – Wiley-interscience, 1995. – 688 p. 2. *Monner H.P.* Smart materials for active noise and vibration reduction / *H.P. Monner* // Keynote paper novem – noise and vibration: emerging methods, April 2005. – Saint-Raphael, France. – P. 18-21. 3. *Janocha H.* Adaptronics and smart structures: basics, materials, design, and applications / *H. Janocha* – Springer: 2nd. rev. ed. edition, 2007. – 544 p. 4. *Flotow A.H.* Wave-absorbing controllers for a flexible beam / *A.H. Flotow, B. Schafer* // Journal of guidance control and dynamics – 1986. – 9(6). – P. 673-680. 5. *Ishihama M.* Vibration suppression of space-frame body structure by active dynamic damper and adaptive feed-forward control scheme / *M. Ishihama, S. Iizuka* // Proc int conf motion vib control – 2002. – Vol.6, № 1. – P. 82-87. 6. *Клітний В.В.* Активне гасіння вібрацій в пластинчастих елементах конструкцій із ортотропного матеріалу: автореф. к.т.н. НТУ «ХПІ», Харків, 2009.