

АЛГОРИТМИ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВИМИ ПРИВОДАМИ В ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМАХ МЕХАТРОНІКИ

Описаны схемы получения сигналов обратной связи по электрическим параметрам ультразвукового пьезоэлектрического привода, а также способы получения сигналов обратной связи по параметрам технологической среды. Предложена микроконтроллерная схема управления ультразвуковым пьезоэлектрическим приводом в составе мехатронной системы для реализации ультразвуковых кавитационных технологий. Описаны составляющие элементы схемы и их взаимосвязь. Рассмотрены алгоритмы управления ультразвуковым пьезоэлектрическим приводом с использованием обратных связей, способы стабилизации параметров ультразвуковой установки.

The schemes of the feedback signals obtaining by electrical parameters of ultrasonic piezoelectric actuator, as well as methods for obtaining feedback signals to the parameters of the technological environment, are described. Ultrasonic piezoelectric oactuator microcontroller control circuit in the mechatronic systems for implementation of ultrasonic cavitation technologies are proposed. The components of the circuit elements and their interrelationships, are described. The algorithms control of ultrasonic piezoelectric actuator using feedback and ways to stabilize the parameters of ultrasonic installation, are considered.

Вступ.

Ультразвукові коливання широко використовуються в кавітаційних технологіях. Ці технології базуються на створенні ультразвукової кавітації в рідині, що є об'єктом обробки або ж є технологічним середовищем. Для створення ультразвукової кавітації в рідині найчастіше використовуються ультразвукові (УЗ) приводи-випромінювачі [1, 2]. Прикладами таких технологій є ультразвукове очищення, знезараження води, інтенсифікація хімічних процесів, коагуляція, диспергація та ін. Для реалізації кожної технології потрібні свої умови – інтенсивність та амплітуда УЗ коливань, час дії, наявність частотної або амплітудної модуляції, температура середовища. Забезпечення високої ефективності подібних технологічних процесів у складі мехатронних систем можливе за умови забезпечення автоматичної підтримки заданого рівня кавітації в технологічному об'ємі при зміні зовнішніх умов та умов розповсюдження УЗ поля.

Тому актуальною задачею є створення джерел живлення для УЗ кавітаційних виконавчих пристроїв, які б забезпечували автоматизацію процесу, стабільність характеристик у часі, оптимальні умови роботи. Виконати ці умови можна, якщо об'єднати УЗ привод-випромінювач, джерело його живлення, засоби контролю параметрів та мікроконтролерне керування в одну мехатронну систему [3].

Метою статті є аналіз способів отримання та схемної реалізації сигналів зворотнього зв'язку та з'ясування алгоритмів керування мехатронною системою з УЗ кавітаційним виконавчим пристроєм.

Основна частина

УЗ кавітаційні технології вимагають, щоб привод-випромінювач працював у певному режимі. Цей режим забезпечує УЗ генератор – джерело живлення УЗ приводу, наприклад на базі п'єзоелектричного перетворювача. Для підтримання режиму роботи такого п'єзоприводу потрібно організувати зворотній зв'язок, який забезпечить контроль електричних параметрів самого приводу та контроль його дії на технологічне середовище.

Первинні електричні параметри, які контролюють, є напруга на вхідних клеммах УЗ п'єзоприводу, та струм, що протікає через нього. Вторинними параметрами є параметри первинних - зсув фаз, амплітуда, частота, спектральні характеристики.

Для зняття первинних електричних параметрів використовуються відповідні схеми. Для отримання сигналу, пропорційного напрузі на приводі, використовують резистивний дільник $R1, R2$ (Рис. 1). Сигнал пропорційний струму через привід отримують з резистора Ri , що ввімкнений послідовно з УЗ п'єзоприводом Q (рис. 1).

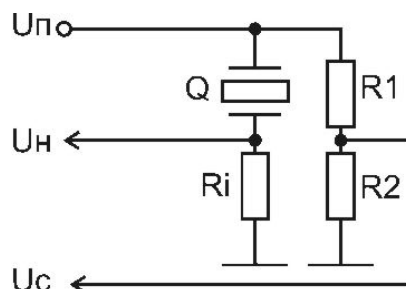


Рис. 1. Схема отримання сигналів зворотнього зв'язку

Також використовують схему (рис. 2, б), яка виділяє сигнал, пропорційний струму, що протікає через активну гілку $L_M C_M R_V$, згідно схемі заміщення п'єзоприводу рис. 2, а [4]. В цій схемі використовується диференціальний трансформатор $T1$, в якому взаємно компенсуються складова струму статичної ємності C_0 через п'єзопривод та струм через додаткову ємність C_D , а на навантаженні вторинної обмотки трансформатора R_i виділяється сигнал U_c , пропорційний струму активної гілки (рис. 2, б).

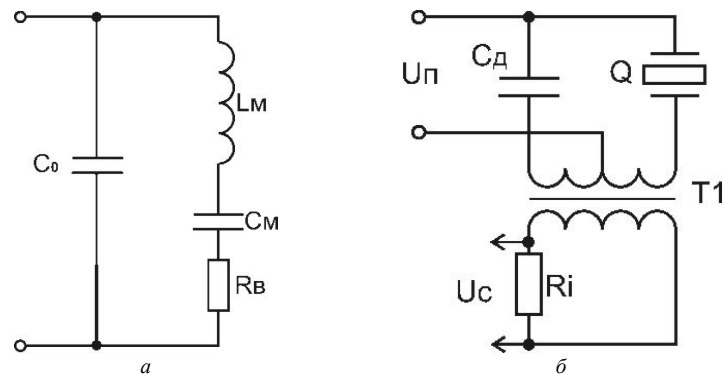


Рис. 2. Схема заміщення УЗ п'єзоприводу (а) та схема отримання сигналу пропорційного активній складовій струму (б)

Метою дії УЗ п'єзоприводу на технологічне середовище є створення в ньому відповідних умов для виникнення кавітації заданої інтенсивності, розподілу кавітаційних областей в об'ємі або зміни температури середовища. Для забезпечення стабільності технологічних параметрів необхідно залучення необхідних зворотніх зв'язків.

Найбільш прийнятною для характеристики стану технологічного середовища є амплітуда акустичних коливань, що вводяться в рідину та температура. При чому, вимірювання лише в одній точці технологічного середовища не дає адекватної картини стану середовища. Тому варто використовувати певну кількість датчиків, розподілених в технологічному об'ємі в характерних точках.

Сучасні мікроконтролери дозволяють побудувати мехатронну систему керування установками для ультразвукових кавітаційних технологій з використанням вищезгаданих сигналів зворотнього зв'язку. Така система повинна забезпечувати стабільність параметрів ультразвукової установки завдяки самоналаштуванню та здатність гнучко змінювати алгоритми роботи для реалізації певної технології.

На рис. 3 зображено систему керування УЗ приводом, яка містить в собі вищезгадані зворотні зв'язки.

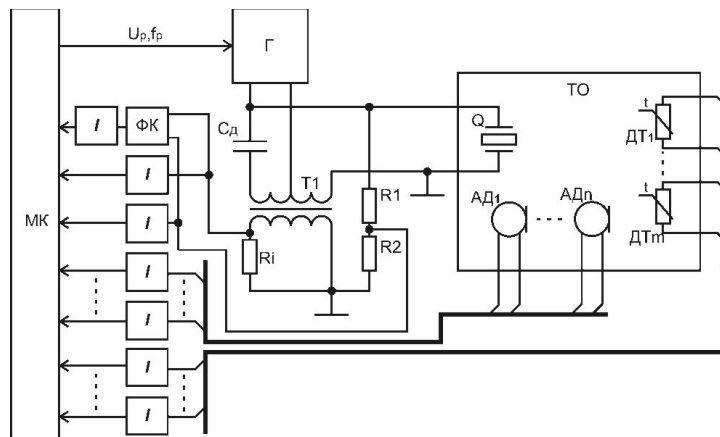


Рис. 3. Система керування УЗ приводом зі зворотніми зв'язками

Генератор Γ видає змінну напругу живлення УЗ п'єзоприводу Q , що розміщений випромінюючою поверхнею в технологічному об'ємі TO , з робочою частотою і необхідною амплітудою. Він включає в себе високовольтний регульований блок живлення, який живить вихідний потужний каскад і може бути побудований згідно опису [5]. Мікроконтролер $МК$ видає керуючі сигнали на генератор Γ , що задають амплітуду та частоту напруги, що подається на УЗ привід. Вхідними сигналами мікроконтролера $МК$ є проінтегровані інтеграторами I сигнали зворотніх зв'язків від акустичних датчиків AK , датчиків температури DT та сигнали пропорційні струму та напрузі на УЗ п'єзоприводі. Постійна інтегрування інтеграторів I щонайменше на порядок нижча за період коливань УЗ п'єзоприводу. Це обумовлено кінцевими обчислювальними можливостями мікроконтролера, уникнення обробки змін сигналів зворотніх зв'язків, викликаних випадковими процесами, зменшення впливу електромагнітних завад. Для отримання сигналу, пропорційного зсуву фаз між струмом через УЗ привід та напругою на ньому використовується фазовий компаратор ΦK , вихідний сигнал якого теж інтегрується.

Проінтегровані сигнали подаються на аналогово-цифрові перетворювачі АЦП мікроконтролера. Далі обробка сигналів відбувається в цифровому вигляді.

Для багатьох кавітаційних технологій необхідно створити рівномірний розподіл інтенсивності УЗ коливань в технологічному об'ємі – дифузійне акустичне поле. Але при незмінній частоті УЗ коливань, можливе виникнення сталої картини розподілу акустичного поля – стійкі максимуми та мінімуми інтенсивності УЗ коливань в об'ємі, що залежить від форми технологічної камери, рівня рідини, частоти УЗ коливань та ін. Така ситуація детектується за допомогою акустичних давачів за незмінною різницею між рівнями їх вихідних сигналів. При виникненні таких ситуацій вводять частотну модуляцію напруги живлення УЗ приводу, що приводить до неперервного руху дифузійного характеру максимумів та мінімумів по об'єму. Інтегровані сигнали з акустичних давачів при цьому вирівнюються.

Для деяких кавітаційних технологій використовують імпульсну подачу напруги робочої частоти на УЗ привід - імпульсну модуляцію. При цьому за наростаючим та спадаючим фронтам інтегрованих сигналів з акустичних давачів, їх зсуву відносно початку й кінця періоду подачі імпульсу напруги на УЗ привід, можна судити про стан технологічного середовища – забрудненість, дегазацію.

Для технологій кавітаційного очищення можлива маніпуляція амплітудою напруги, що подається на УЗ привід. При збільшенні амплітуди зростає амплітуда механічних коливань приводу, виникає потужна кавітація, що спричиняє мікротечії і як наслідок інтенсивне перемішування технологічного середовища. При зменшенні амплітуди до певного оптимального рівня, кавітація має максимальний очисний ефект. Автоматизація контролю цього процесу можлива лише за наявності зворотніх зв'язків, що реалізує запропонована система.

УЗ п'єзоприводи – резонансні системи. Тому для ефективної роботи п'єзоприводу частота напруги живлення повинна відповідати частоті механічного резонансу. В процесі роботи частота механічного резонансу змінюється з різних причин – зміни технологічного середовища (забруднення, дегазація, зміна температури), зміни параметрів самого п'єзоприводу (нагрівання, старіння), та ін. В запропонованій системі (рис. 3) тримати п'єзопривід на частоті механічного резонансу можна двома способами. Перший – мікроконтролер корегує робочу частоту генератора так, щоб зсув фаз між напругою на п'єзопривід і струмом через активну гілку був мінімальним. Для цього використовується фазовий компаратор ФК. Другий – в робочу частоту вводиться частотна модуляція з періодом багато нижчим постійної інтегрування інтеграторів акустичних давачів при незмінній амплітуді напруги на п'єзоприводі. Це спричиняє зміну амплітуди механічних коливань у відповідності до механічної АЧХ, що фіксується акустичними давачами і мікроконтролером. Задача мікроконтролера зафіксувати частоту напруги живлення п'єзоприводу, при якій буде максимум механічних коливань.

Перший спосіб набагато швидший за другий, але менш точний, бо послуговується опосередкованими критеріями механічного резонансу, які не в усіх випадках можна розглядати як критерії. Другий спосіб – відносно повільний, тому годиться для процесів довгих у часі, але більш точний. Можлива комбінація двох способів. Тоді за допомогою другого способу можна буде уточнювати критерії механічного резонансу п'єзоприводу і в подальшому послуговуватись першим способом, періодично повертаючись до другого.

В процесі роботи УЗ кавітаційних установок технологічне середовище, а разом з ним і об'єкт обробки, розігріваються. В наслідок чого змінюються його фізичні властивості і змінюється ефект ультразвукової дії. Тому необхідно корегувати параметри ультразвукових коливань в залежності від температури технологічного середовища, яка вимірюється давачами температури ДТ (рис. 3). Також для певних кавітаційних процесів існує оптимальна температура технологічного середовища. Тоді використовують додаткові нагрівачі технологічного середовища і давачі температури використовуються в колі термостабілізації.

Процес керування УЗ п'єзоприводом є неперервним контролем сигналів зворотнього зв'язку і відповідного неперервного корегування параметрів живлення приводу. Оскільки сигналів зворотнього зв'язку багато, то їх розділяють за пріоритетністю. В першу чергу забезпечують роботу приводу на механічному резонансі. Потім контролюють амплітуду акустичної дії в технологічному середовищі. Найповільнішим є обробка даних температури технологічного середовища.

Алгоритм роботи системи керування УЗ п'єзоприводом залежить від технології, що реалізується. Запропонована система може бути запрограмована на реалізацію цілого ряду технологій без зміни апаратної частини. Це також дає можливість вдосконалювати систему шляхом перепрограмування на нові алгоритми роботи.

Висновки

Запропонована система керування УЗ приводами є універсальною для реалізації ряду ультразвукових кавітаційних технологій у складі мехатронних систем. Вона дозволяє стабілізувати технологічні параметри завдяки наявності зворотніх зв'язків за станом технологічного середовища, а також забезпечити високу ефективність введення в рідину УЗ коливань завдяки оптимальним параметрам живлення. Така система може бути змодельована в сучасних середовищах моделювання, що спрощує її розробку і створення алгоритму керування.

Список літератури

1. Луговской А.Ф. Ультразвуковые пьезоэлектрические приводы для мехатронных систем кавитационных технологий / А.Ф. Луговской, В.П. Фесич // Компьютерные технологии в науке, практике и образовании. Труды восьмой Всероссийской межвузовской научно-практической конференции. 18 ноября 2009 – Самара, 2009, с.131-134.
2. Луговской А.Ф. Исполнительные пьезогидравлические устройства в системах мехатроники / А.Ф. Луговской, А.В. Мовчанок // Вісник східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля. -2007. - №3(109), ч.1 – Луганськ. – с.158-164.
3. Яхно О.М. Введение в мехатронику : Учеб. пособие для студ. спец. «Гидравлич. и пневматич. машины», «Прикладная механика», «инженерная механика» / О.М. Яхно, А.В. Узунов, А.Ф. Луговской и др. – К.: НТУУ «КПИ», 2008.- С.86-161.
4. Луговський О.Ф. Особливості побудови систем керування ультразвуковими резонансними приводами / О.Ф. Луговський, В.П. Фесич, А.В. Мовчанок // Вибрації в техніці і технологіях. - 2009. - №4(56) - Вінниця, ВДАУ. - С. 39-44.
5. Луговський О.Ф. Застосування алгоритму прямого цифрового синтезу (DDS) в системах керування ультразвуковими резонансними приводами / О.Ф. Луговський, А.В. Мовчанок, В.П. Фесич //Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. Вип.59, - Київ, 2010, С.277-280. С.