

ЗБУДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО П'ЄЗОВИПРОМІНЮВАЧА НА ЧАСТОТІ ПОСЛІДОВНОГО РЕЗОНАНСУ

Кирпатенко І. М.¹, к.т.н.; Новосад А. А.²

¹ Науково-виробниче підприємство

«Впроваджувальна експериментальна лабораторія», Київ, Україна

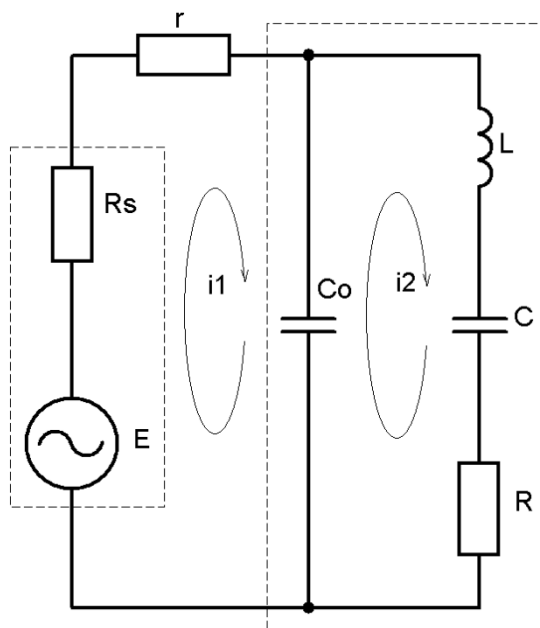
² Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут», Київ, Україна

Для генерації ультразвуку великої інтенсивності, придатного для використання в промисловості з метою впливу на властивості матеріалів використовуються п'єзоелектричні приводи-випромінювачі.

Умовою ефективної роботи п'єзовипромінювачів є їх збудження генераторами на частоті послідовного резонансу.

Метою даної роботи є визначення умов збудження системи генератор-п'єзовипромінювач та надання рекомендацій стосовно методів забезпечення збудження цієї системи на частоті послідовного резонансу,



що недостатньо висвітлено в літературі. [1, 2]

Для збудження коливальної системи необхідно застосувати кероване джерело енергії у вигляді джерела струму, керованого струмом, або джерела напруги, керованого струмом.

Еквівалентна схема генератора, навантаженого на п'єзоперетворювач, приведена на рис. 2. [3] Тут у якості джерела енергії застосовано джерело напруги, кероване струмом, що протікає через резистор r (датчик струму).

Еквівалентна схема рис. 2 описується системою рівнянь (1)

Рис. 2 Еквівалентна схема генератора для збудження УЗ п'єзовипромінювача.

$$\begin{cases} E = \frac{1}{C_0} \cdot \int (i_1 - i_2) dt + i_1 \cdot (r + R_s) \\ 0 = \frac{1}{C_0} \cdot \int (i_2 - i_1) dt + \frac{1}{C} \cdot \int i_2 dt + L \cdot \frac{di_2}{dt} + R \cdot i_2 \\ E = E_0 + k \cdot r \cdot i_1, \quad E \in [E_{\min}, E_{\max}] \end{cases} \quad (1)$$

k — коефіцієнт підсилення сигналу зворотного зв'язку

Останнє рівняння системи характеризує позитивний зворотний зв'язок, необхідний для збудження коливальних. В цьому рівнянні записана також умова обмеженості напруги збудження величинами E_{\min}, E_{\max} , тобто в системі рівнянь присутня неаналітична нелінійність типу „насичення”.

Розв'язання даної системи рівнянь, проведене методом моделювання в пакеті програм Matlab Simulink, показало залежність появи збудження від величини коефіцієнта підсилення сигналу зворотного зв'язку. Для визначення значення граничного коефіцієнту підсилення, за якого відбуватиметься генерація, використано критерій Гурвиця.

Таким чином, умовами виникнення генерації є:

$$k > 1 + \frac{R_s}{r} + \frac{R}{r} \cdot \frac{1}{n \cdot (1+n)}$$

$$k > \sqrt{\left[\frac{b_3 \cdot a_0 - b_2 \cdot a_1 - b_1 \cdot a_2}{4 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot r} \right]^2 + \left[\frac{a_3 \cdot a_0}{b_1 \cdot b_2 \cdot r^2} \right]} - \frac{b_3 \cdot a_0 - b_2 \cdot a_1 - b_1 \cdot a_2}{2 \cdot b_1 \cdot b_2 \cdot r}$$

Результати моделювання показали, що за умови перевищення коефіцієнтом підсилення підсилувача позитивного зворотного зв'язку мінімально необхідного значення та наявності суттєвого внутрішнього опору генератора, збудження п'єзоперетворювача відбуватиметься на частоті, близькій до частоти паралельного резонансу, де механічна віддача є незадовільною.

Існує декілька способів уникнення роботи генератора на частоті паралельного резонансу. Один з найбільш поширених – спосіб компенсації впливу ємності C_0 на передаточну характеристику генератора. (Рис. 2)

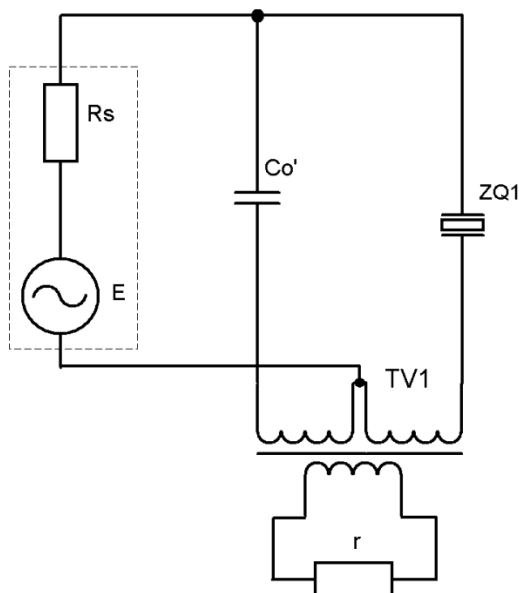


Рис.2 Схема компенсації впливу ємності C_0 за допомогою диференціального сумового трансформатора.

За умови точної рівності компенсаційної ємності C'_0 ємності C_0 збудження на частоті паралельного резонансу не відбуватиметься. Якщо ж ємність C'_0 не дорівнює ємності C_0 то вираз для струму навантаження не відповідає виразу струму послідовного коливального контуру і, таким чином, схема рис. 2 не виконуватиме свої функції. Особливо небезпечним є випадок, коли $C'_0 > C_0$, тоді можливі великі фазові зсуви і умови виникання генерації можуть здійснитися на частоті, що не відповідає частоті послідовного резонансу.

Наявність скінченого вихідного опору генератора не дозволяє повністю компенсувати ємність C_0 .

Отже, як і у випадку неточної рівності ємності C_0 та компенсаційної ємності C'_0 , наявність вихідного опору генератора може спричинити виникання генерації на частоті, не рівній частоті послідовного резонансу.

Для забезпечення роботи ультразвукових п'єзовипромінювачів на частоті послідовного резонансу необхідно використання спеціальних схемних рішень, одним з яких є схема з диференціальним струмовим трансформатором для компенсації впливу конструктивної ємності. Показано, що задовільна робота схеми забезпечується за умови $C'_0 \leq C_0$, а також за умови мінімізації внутрішнього опору генератора.

Література

1. Хмелев В. Н. Ультразвуковые многофункциональные и специализированные аппараты для интенсификации технологических процессов в промышленности / В. Н. Хмелев [и др.]. — Барнаул: АлтГТУ, 2007. — 416 с.
2. Агранат Б. А. Основы физики и техники ультразвука: Учеб. пособие для вузов / Б. А. Агранат, М. Н. Дубровин, Н. Н. Хавский и др. — М.: Высш. шк., 1987. — 352 с.
3. Мовчанюк А. В. Інженерна методика визначення параметрів схеми заміщення п'єзоперетворювача / А. В. Мовчанюк, В. П. Фесіч, І. М. Кирпатенко, О. Ф. Луговський, Ю. С. Прилипко // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Радіотехніка радіоапаратобудування — 2006. — № 33 — С. 58—65.

Анотація

В роботі визначено умови збудження системи генератор-п'єзовипромінювач та проаналізовано спосіб компенсації впливу статичної ємності на передаточну характеристику генератора з метою збудження п'єзовипромінювача на частоті послідовного резонансу.

Ключові слова: п'єзовипромінювач, послідовний резонанс, статична ємність

Аннотация

В работе определены условия возбуждения системы генератор-пьезоизлучатель и проанализирован способ компенсации воздействия статической емкости на передаточную характеристику генератора с целью возбуждения пьезоизлучателя на частоте последовательного резонанса.

Ключевые слова: пьезоизлучатель, последовательный резонанс, статическая емкость.

Annotation

The conditions of the excitation of the generator-piezo was determined and analyzed a method of compensating the impact of static capacitance on the transfer characteristic of the generator with the aim of driving piezo serial resonance frequency.

Keywords: piezo, serial resonance, the static capacitance.