

УДК 621.396.6.001.63

М.В. Лобур

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра САП**МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ  
ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ АКТЮАТОРІВ**

© Лобур М.В., 2003

**Запропоновано базові конструкції електродинамічних актюаторів, побудовані їх математичні моделі, які дозволяють описати вихідні характеристики залежно від вхідних та проведено аналіз отриманих залежностей.**

**In work offtrtd base constructions electrodynamic actuators, made their mathematical modeis, which allow to describe outgoing descriptions in dependence on entrance and seen out analysis got dependances.**

**Вступ**

Мікроелектромеханічні пристрої (МЕМП) мають стати характерною рисою XXI століття та виробничою технологією з багатьма різноманітними застосуваннями. Вони використовуються і будуть використовуватися ще більшою мірою, починаючи від біотехнології та закінчуючи космічними технологіями. МЕМП технології тепер генерують нові технологічні можливості для суспільства, великий економічний ріст через незліченні комерційні можливості завдяки різноманіттю виробів та зростанню високооплачуваних і високоякісних робіт. Оскільки МЕМП технологія дозволяє безпрецедентний зв'язок та поєднання між непов'язаними дотепер науковими галузями, наприклад, біології та мікроелектроніки, успіх МЕМП прогнозується подібно до успіху її батьківської технології, а саме інтегральних схем (IC) у XX столітті.

Сучасні методи ефективного проектування МЕМП передбачають використання програмних засобів, зокрема: MEMSCAP фірми Mentor Grafics; підсистема Tanner Tools MEMS Pro фірми Tanner Research[1]; програма MEMCAD 4.5 Массачусетського технологічного інституту[2]; фірми CADENCE[3]. Ефективність використання цих програм в основному залежить від закладених в них математичних моделей МЕМП. Тому, наукові роботи в напрямку розробки нових моделей МЕМП є актуальними.

**Математичні моделі електродинамічних актюаторів**

Базовою моделлю електродинамічного актюатора є плоский конденсатор, пластини якого заряджені різнойменними зарядами (рис. 1), оскільки за його межами поле відсутнє, а існує лише між пластинами. Практичний інтерес, в основному, мають дві конструкції електродинамічного актюатора: перша, коли пластини рухаються назустріч одна одній вздовж осі  $Y$  і друга – коли їх зміщення відбувається в площині  $XZ$  одна відносно однієї (рис. 2).

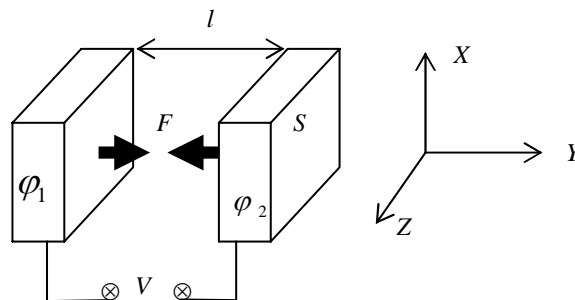


Рис. 1. Базова модель електродинамічного актюатора

Нехай в початковий момент часу  $t=0$  ємність конденсатора  $C_0 = \frac{\epsilon_0 ab}{l}$  і рухома пластина (верхня на рис. 3.2) мала координату  $y=l$ . Якщо під дією зовнішньої сили вона коливається гармонійно із циклічною частотою  $\omega_0$ , то ємність конденсатора змінюватиметься за законом

$$C(t) = C_0 \frac{1}{1 + \frac{y_0}{l} \sin \omega_0 t}. \quad (1)$$

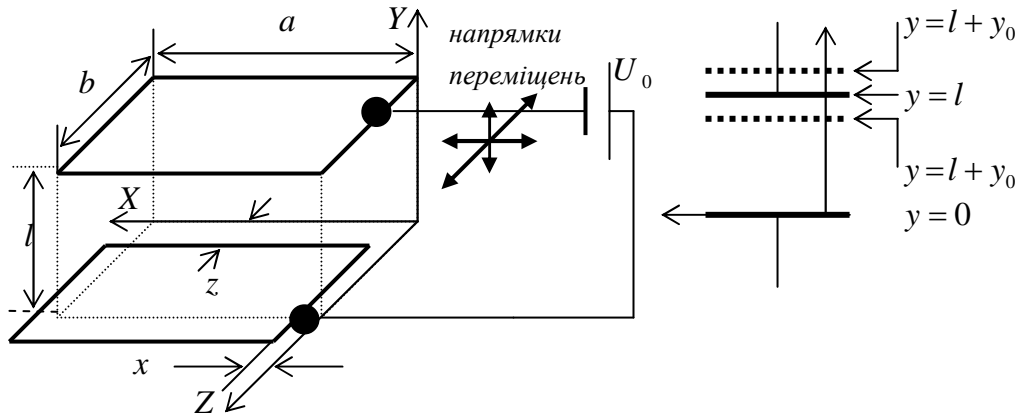


Рис. 2. Конструкція електродинамічного резонатора (пластини зміщуються в площині XZ)

Оскільки  $q = CU$ , то  $dq = CdU + UdC$  і за умови  $U = \text{const} = U_0$  одержуємо, що закон зміни заряду в колі  $q(t) = U_0 C(t)$  на конденсаторі збігатиметься із відповідним для електроємності, тоді закон зміни струму в колі описується функцією

$$I(t) = C_0 U_0 \omega_0 \frac{y_0}{l} \frac{\cos \omega_0 t}{\left(1 + \frac{y_0}{l} \sin \omega_0 t\right)^2}. \quad (2)$$

графіки відносних змін яких наведені на рис. 3,а. Фазова характеристика коливань зображена на рис. 3,б. Перш за все привертає увагу той факт, що для

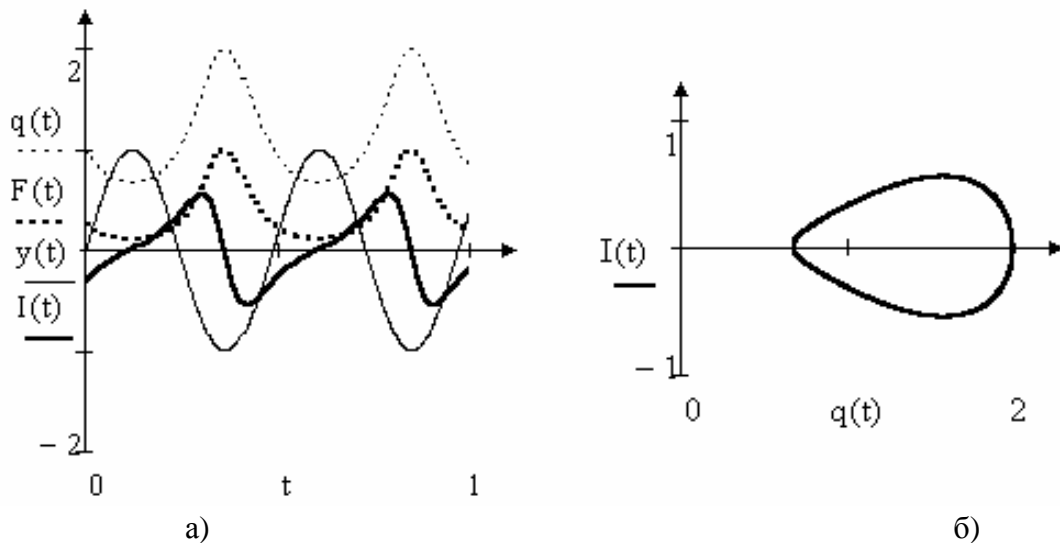


Рис. 3. Графіки відносних змін:  
а) графік відносних змін  $q(t)$ ,  $I(t)$ ,  $y(t)$ ,  $F(t)$ ; б) фазова характеристика резонатора

електродинамічної моделі відсутній традиційний зсув фази коливань на  $\frac{\pi}{2}$  між зарядом і струмом в колі, як це властиво для  $LC$ -контур, тому їх годограф не колоподібний, однак має вигляд замкнутої кривої, що свідчить про періодичність процесу завдяки наявності стороннього джерела напруги.

Оскільки енергія електричного поля між пластинами також змінюється в часі, то між ними виникає додаткова змінна сила взаємодії  $F = -\frac{dW}{dy} = -\frac{1}{2}U_0^2 \frac{dC}{dy}$ . Вона має притягальний характер і з часом змінюється за тим же законом

$$F(t) = -\frac{dW}{dy} = -\frac{dW}{dt} \frac{1}{dy/dt} = -W_0 \frac{1}{1 + \frac{y_0}{l} \sin \omega_0 t}, \quad (3)$$

що і заряд (рис. 3,а). Тому при побудові за цим принципом пристрою із механічним характером дії необхідно забезпечити його додатковим джерелом сили зворотної дії, яка б повертала систему до стану рівноваги. Такою може бути пружна сила за рахунок механічної деформації.

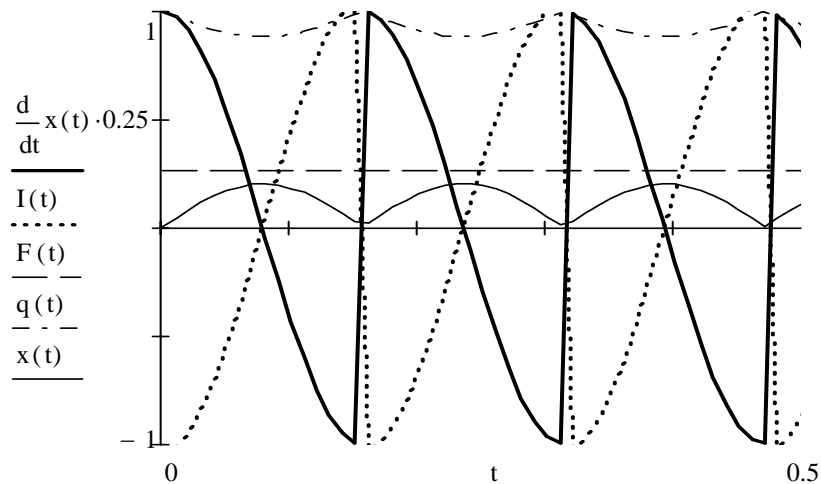


Рис. 4. Вихідні залежності  $q(t)$ ,  $I(t)$ ,  $x(t)$  та  $F(t)$  для резонатора з боковим зміщенням пластин одна відносно однієї

Тепер дослідимо характер збудження електродинамічних процесів під час бокових зміщень пластин одна відносно однієї. Якщо одна із них рухається лише вздовж напрямку

осі  $X$ , то ємність змінюється як  $C(x) = C_0 \left(1 - \frac{|x|}{a}\right)$ , а під час зміщення лише вздовж осі  $Z$

як  $C(z) = C_0 \left(1 - \frac{|z|}{b}\right)$ . Модуль від знакозмінної координати взятий тому, що під час від-

хилення пластини від рівноважного положення ємність зменшується. Це означає, що вдвічі частіше коливатиметься заряд в колі. Для зміщення в довільному напрямку ємність змінюватиметься за законом

$$C(x, z) = \frac{C_0}{ab} [(a - |x|)(b - |z|)]. \quad (4)$$

Як приклад розглянемо випадок, коли пластина вібрує відносно іншої за гармонійним законом  $x(t) = x_0 \sin \omega_0 t$ . Як бачимо із рис.4, в цьому разі кожне коливання заряду збуджує в колі  $\int$  – подібну гілку струму. Оскільки динамічна складова сили  $F(t) \approx -\frac{I(t)}{dx(t)/dt}$ , то як бачимо із рис.3, осцилограми чисельника і знаменника дзеркально симетричні, тому за бокових зміщень генерується сила майже сталої амплітуди.

Отже, дії електростатичного актюатора із механічним рухом можна досягти за умови зустрічних рухів провідних шин конденсатора або їх системи. Така модель реалізована в роботі із використанням конденсатора із провідними пластинами у формі гребінки.

### Висновок

Розроблено математичні моделі електродинамічних актюаторів, які дозволяють значно прискорити процес проектування мікроелектромеханічних пристроїв, зменшити вартість процесу проектування та підвищити точність моделювання вихідних характеристик МЕМП.

1. <http://www.tanner.com> 2. <http://www.memcap.com> 3. <http://www.cadence.com>

УДК 621.396.6.001.63

**М.В. Лобур, К.В. Байбаков**

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра САП

## ІНФОРМАЦІЙНА МОДЕЛЬ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В НЕТРАДИЦІЙНИХ УМОВАХ

© Лобур М.В., Байбаков К.В., 2003

**Наведено інформаційну модель побудови системи передачі та прийому голосової інформації в нетрадиційних умовах.**

**Informational model for the information transfer system creation is given in this paper.**

### Вступ

МЕМС технології виробляють такі мініатюризовані системи, як сенсори, актюатори, оптичні підсистеми тощо, а також електричні компоненти. Деякі продукти МЕМС вже стали звичними і поширеними – це сенсори для керування повітряними подушками автомобілів, сенсори тиску, слухові апарати, головки читання/запису для жорстких дисків, головки друку для струйних принтерів, мікродзеркала для сканерів і проекторів, мініатюрні ендоскопи і хірургічне обладнання тощо.

**1. Концептуальні положення.** Мікротехнологія – це галузь знань, яка розглядає питання дослідження, розробки, виготовлення та застосування мініатюрних приладів та пристроїв, які виготовляються інтегральним груповим способом і які використовують разом з електричними і багато інших фізичних ефектів. Ця сфера діяльності формується як