

УДК 621.396.66

А.В. КЛЕПШКОВСЬКИЙ<sup>1</sup>, В. Р. ЛЮБЧИК<sup>2</sup>

## ОЦІНКА ВІБРОСТІЙКОСТІ ЕЛЕМЕНТІВ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОДИНАМІЧНИХ АНАЛОГІЙ

<sup>1</sup>*Буковинський державний медичний університет,  
м. Чернівці, Театральна площа, 2,  
andrei.klepikovskiy@gmail.com*

<sup>2</sup>*Хмельницький національний університет  
м. Хмельницький, вул. Інститутська 11*

**Анотація.** Розглянуто методику оцінки власних частот коливань радіоелектронних систем з декількома ступенями свободи за допомогою методу електродинамічних аналогій.

**Ключові слова:** власні, резонансні частоти коливань, електродинамічні аналогії, радіоелектронні системи.

**Аннотация.** Рассмотрена методика оценки собственных частот колебаний радиоэлектронных систем с несколькими степенями свободы с помощью метода электродинамических аналогий.

**Ключевые слова:** собственные, резонансные частоты, электродинамические аналогии, радиоэлектронные системы.

**Abstract.** The method of evaluation of natural frequencies of oscillations of radio systems with multiple degrees of freedom using the method of electrodynamic analogies.

**Keywords:** frequencies of vibration, electrodynamic analogy, radio-electronic systems.

### ВСТУП

Забезпечення надійної роботи радіоелектронної апаратури продовжує залишатися однією з актуальних задач, що стоять перед розробниками нової техніки. Розширення сфер та галузей застосування радіоелектронних виробів, яке охоплює все більшу кількість напрямів її використання, різке збільшення задач, які можуть вирішуватися сучасними радіоелектронними приладами, висуває нові підвищені вимоги до проєктантів та виробників нової техніки.

Оцінка експлуатаційних параметрів сучасних зразків радіоелектронної апаратури висуває необхідність розробки нових розрахункових математичних моделей оцінки якості майбутніх зразків, а також – модернізованих та вдосконалених виробів, сфера використання яких розширюється, а вимоги до оцінки експлуатаційних параметрів стають жорсткішими.

Розв'язання таких задач в багатьох випадках можливо одночасно декількома методами, проте – задачею сучасних розробників та проєктантів є пошук та вибір найбільш ефективних та доцільних методів, які з високою достовірністю та з мінімальним часом на процес проєктування дозволять отримати необхідні результати.

Сучасні радіоелектронні вироби експлуатуються не тільки на стаціонарних установках, а також входять до складу рухомих вимірювальних комплексів різноманітного призначення. Це – авіаційні та космічні носії, наземні пересувні комплекси та лабораторії, надводна та підводна техніка.

Робота апаратури в таких умовах нерозривно пов'язана із впливом вібрацій на елементи радіоелектронних вузлів та систем, які створюються двигунами носія, є слідством роботи багатьох вузлів та систем різного призначення, що входять до складу всього комплексу.

Оцінка величини власних частот коливань радіоелектронних вузлів апаратури є обов'язковою умовою забезпечення її надійної роботи, оскільки співпадіння власних частот коливань вузлів апаратури із збуджуючими частотами носія може привести до явища резонансу і, як наслідок, руйнуванню вузлів, виходу з ладу всього дорогого та важливого технічного комплексу.

В механіці досить відомий та широко використовується метод електродинамічних аналогій (ЕДА), застосування якого в багатьох випадках є доцільнішим за використання традиційних механічних методів, наприклад, рівняння Лагранжа II роду. Використання методу ЕДА пов'язано з меншими

математичними труднощами, дозволяє досить ефективно та оперативно, з'єднуючи певну кількість опорів, індуктивностей та ємностей в загальне електричне коло отримати імітаційну модель механічної системи [1].

В роботі наведена методика оцінки власних частот коливань в радіоелектронних системах, які структурно приводяться до етажеркової схеми побудови (термоелектричні охолоджувачі, які працюють на модулях Пельтьє, радіоелектронні плати, зібрані в пакети тощо) [2].

### ОСНОВНА ЧАСТИНА

Використовуючи загальне рівняння динаміки, після перетворення його до узагальнених координат, отримаємо рівняння коливального руху механічних систем з одним ступенем вільності

$$\alpha \ddot{q} + \beta \dot{q} + cq = Q(t),$$

де  $\alpha$  – узагальнений коефіцієнт інерції (маса, осьовий момент інерції), якому відповідає індуктивність  $L$ ;  $\beta$  – узагальнений коефіцієнт розсіювання енергії (коефіцієнт демпфування), якому відповідає опір  $R$ , де електрична енергія аналогічно механічній перетворюється на теплову;  $c$  – узагальнена жорсткість механічної системи, якій відповідає інверсна (обернена) ємність конденсатора  $\frac{1}{C}$ ;  $Q(t)$  – узагальнена сила механічної системи, якій відповідає електрорушійна сила  $e(t)$  джерела напруги;  $q$  – сила струму в контурі.

Схематично система з одним ступенем вільності та її електричний аналог наведені на рис. 1.

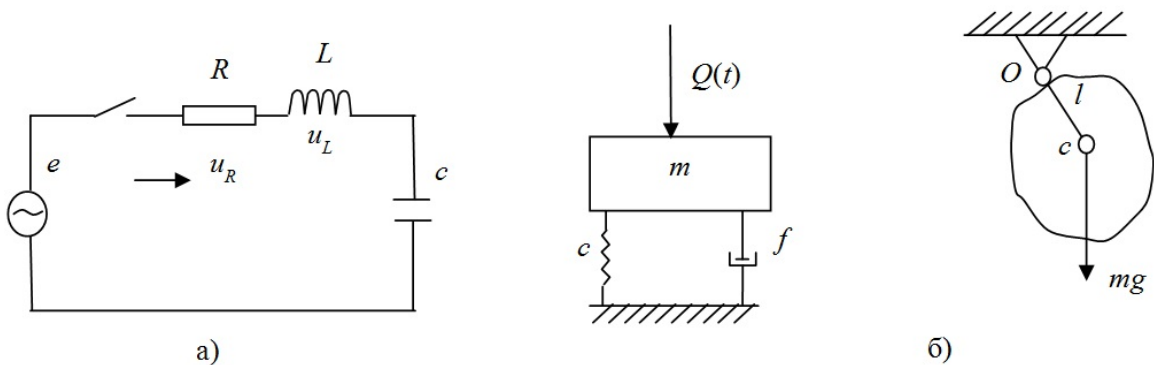


Рис. 1. Загальний вигляд електричного коливального контуру із послідовним з'єднанням елементів (а) і коливального контуру механічних систем з одним ступенем вільності (б)

На рис. 2 наведено загальний вигляд електричного коливального контуру з паралельним з'єднанням елементів.

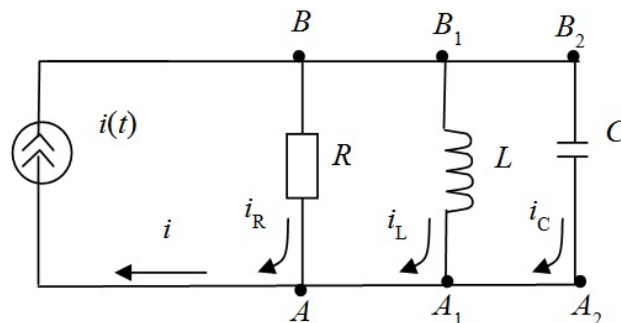


Рис. 2. Загальний вигляд електричного коливального контуру з паралельним з'єднанням елементів

В таблиці 1 містяться аналогові величини в електромеханічних системах з одним ступенем вільності.

Таблиця 1.

Аналогові величини в електромеханічних системах з одним ступенем вільності

Система	Узагальнена координата	Коефіцієнти диференціальних рівнянь			Кінетична енергія	Потенціальна енергія	Функція розсіювання	Узагальнена сила
		$a$	$\beta$	$c$				
Механічна	$q$	$a$	$\beta$	$c$	$T = \frac{1}{2} a \dot{q}^2$	$\Pi = \frac{1}{2} c q^2$	$\Phi = \frac{1}{2} \beta \dot{q}^2$	$Q(t)$
Аналогія „сила – напруга”	$q^e$	$L$	$R$	$\frac{1}{C}$	$T_1^e = \frac{L}{2} (\dot{q}^e)^2$	$\Pi_1^e = \frac{1}{2C} (q^e)^2$	$\Phi_1^e = \frac{R}{2} (\dot{q}^e)^2$	$e(t)$
Аналогія „сила – струм”	$U$	$C$	$\frac{1}{R}$	$\frac{1}{L}$	$T_2^e = \frac{C}{2} \dot{U}^2$	$\Pi_2^e = \frac{1}{2L} U^2$	$\Phi_2^e = \frac{1}{2R} \dot{U}^2$	$\frac{di}{dt}$

На рис. 3 наведено механічну (а) і електричну (б) схематизацію коливального контуру з одним ступенем вільності.

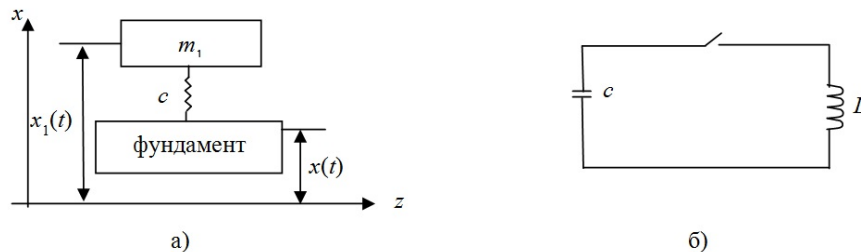


Рис. 3. (а) механічна схематизація однокаскадного ТЕО; (б) електрична схематизація коливного контуру

Аналогічним чином схематизовано та змодельовано 2-х, 3-х та 4-х каскадні системи, для яких проаналізовано вплив кількості каскадів (числа ступенів вільності), жорсткостей з'єднань між каскадами, маси самих каскадів на власну частоту коливань всієї системи [2].

Наприклад, механічна та електрична схематизація 4-х каскадного виробу наведені на рис. 4 (а) та 4 (б) відповідно.

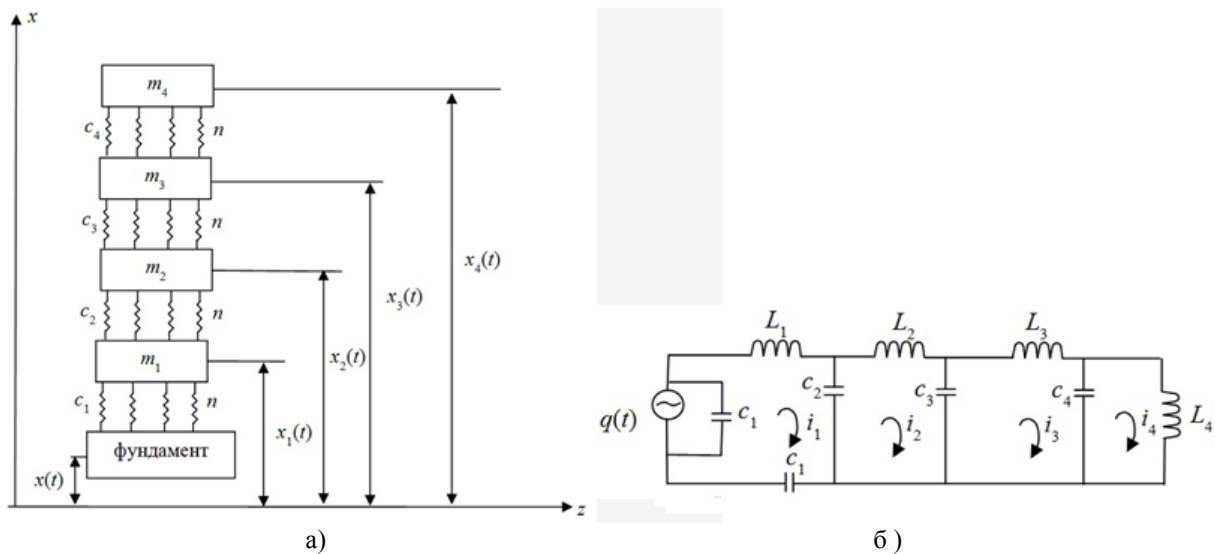


Рис. 4 Схематизація чотирьохкаскадного ТЕО: а) механічна; б) електрична

Математичне моделювання виробів з різним числом ступенів вільності, різною жорсткістю та масами дозволило запропонувати шляхи для конструктивного захисту виробів від вібраційних впливів, врахувати демпфування системи, що дає можливість підвищити експлуатаційну надійність виробів на

етапі проектування [2].

### ВИСНОВКИ

1. Механічні явища у складних механічних системах можливо чітко змоделювати за допомогою електродинамічних аналогій. Математичний апарат в таких випадках набагато простіше для подальших практичних розрахунків порівняно із рівняннями Лагранжа II-го роду при механічному підході.

2. Математичний апарат моделювання механічних процесів за допомогою методу ЕДА зручніше піддається формалізації та програмуванню за допомогою сучасних алгоритмічних мов.

3. Систему оцінки вібробезпечності складних механічних систем за допомогою методу ЕДА досить легко використати для визначення шляхів підвищення надійності роботи виробів з декількома ступенями свободи.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Визначення власних частот коливань термоелектричних охолоджувачів та конструктивні шляхи підвищення їх вібробезпечності / А.В. Клепиковський, Є.М. Тимофієва, Т.О. Царик, О.Г. Шайко-Шайковський: тези доп. VIII Міжнар. конф. "Контроль і управління в складних системах (КУСС-2005)", (Вінниця, 24-28 жовтня 2005 р.). – 46 с.
2. Визначення власних частот коливань багатокаскадних термоелектричних охолоджувачів методом ЕГДА / А.В. Клепиковський, Є.М. Тимофієва, Т.О. Царик, О.Г. Шайко-Шайковський: тези доп. II Міжнар. наук.-пр. конф. "Сучасні наукові дослідження-2006)", (Дніпропетровськ, 20-28 лютого 2006 р.). – Т. 14. – С. 33-37.

Надійшла до редакції 11.12.2013р.

**КЛЕПІКОВСЬКИЙ А.В.** – к.т.н., асистент кафедри біологічної фізики та медичної інформатики, Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці, Україна.

**ЛЮБЧИК В.Р.** – к.т.н., доцент кафедри радіотехніки та зв'язку, Хмельницький національний університет, м. Хмельницький, Україна.