



МАТЕРІАЛИ XIII Міжнародної науково-технічної конференції “АВІА-2017”

19-21 квітня

Київ 2017

Міністерство освіти і науки України
Національна академія наук України
Національне космічне агентство України
Національний авіаційний університет
ДП «АНТОНОВ»
Національна Академія Авіації ЗАТ «Азербайджан Хава Йоллари»,
Азербайджан
Грузинський авіаційний університет, Грузія
Міжнародний університет логістики і транспорту у Вроцлаві, Польща
Польсько-український дослідний інститут, Польща
Технологічний університет Нінгбо, Китай
Коледж економіки та менеджменту Технологічного університету
Нінгбо, Китай
Вільнюський технічний університет ім. Гедимінаса, Литва
Нанчангський авіаційний університет, Китай

МАТЕРІАЛИ

ХІІІ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ “АВІА-2017”

19-21 квітня

Київ 2017

<i>М.С. Воропаєв</i> Модель поширення шкідливих речовин в промислових приміщеннях	3.45
<i>Л. С. Гладка, А. П. Козлов</i> Паливовимірювальна система підвищеної точності сучасного літака	3.48
<i>Е.И. Чумаченко, И.В. Роцинский</i> Интеллектуальная мобильная информационная система пассажиров метрополитена	3.50
<i>В.М. Синеглазов, М.П. Василенко</i> Вітроенергетична установка з поворотними лопатями комбінованого ротора	3.53
<i>О.В. Петрученко, А.М. Сільвестров, О.М. Скринник</i> Ідентифікація просторового розподілу механічних напруг плівки в процесі її рулонування	3.58
<i>А.М. Коваль, В.С. Голодюк</i> Система автоматизованого керування приводом похилого дифузійного апарата	3.62
<i>И.М. Сайдумаров</i> Способ дистанционной диагностики оборудования воздушного судна	3.66
<i>В.М. Синеглазов, Є.В. Даскал</i> Автоматизована інформаційна система виклику автокарів	3.70
<i>Н.Ф. Тутицин</i> Приближенный расчет параметров устройства посадки БЛА на трос	3.75
<i>М. К. Філяшкін</i> Виставка, калібрування та обробка інформації інерціальних датчиків	3.79

4. Електротехнічні та світлотехнічні системи і комплекси

<i>В.В. Михайленко, Р.О. Рокицький, А.М. Панченко, Ю.С. Язенок, В.С. Ярош</i> Дослідження електромагнітних процесів у перетворювачі з семизонним регулюванням вихідної напруги	4.1
<i>Ю.Г. Ведміцький</i> Рівняння руху узагальненого електричного кола з урахуванням явища гіпервалентної взаємодії	4.4
<i>О.О. Закладний, В.В. Прокопенко, Є.Г. Брижіцький</i> Контроль енергоефективності як елемент побудови системи енергоменеджменту	4.9

Рівняння руху узагальненого електричного кола з урахуванням явища гіпервалентної взаємодії

На основі рівнянь Лагранжа-Максвелла з урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії отримано рівняння руху узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола, здатного слугувати аналогом континуальних у часі динамічних систем електричної, неелектричної та змішаної фізичної природи.

Передмова

Однією з фундаментальних задач теорії динамічних аналогій є задача побудови узагальненої за числом ступенів вільності та за фізичною природою континуальної у часі динамічної системи із зосередженими параметрами, яка здатна ототожнювати і на цій основі формалізувати причинно-наслідкові зв'язки і закони, що визначають еволюцію різних або змішаних за природою фізичних та технічних динамічних систем [1]. Декомпозиція цієї задачі, в свою чергу, породжує ряд важливих проблемних задач, дотепер або розв'язаних частково, або нерозв'язаних взагалі. До таких задач автор відносить задачу формування на фізичному та логічному рівнях загальної концепції щодо топологічного поділу зазначеної узагальненої динамічної системи на структурно неподільні і сумісні (синергетичні) типові елементарні ланки та способу їх об'єднання поміж собою в результаті силової взаємодії в єдину систему, функціонально спроможну та самодостатню в процесі її еволюційного руху. Задача є комплексною і передбачає пошук відповідей водночас на декілька важливих питань. Серед них: розкриття принципу, за яким необхідно здійснювати поділ узагальненої динамічної системи на типові елементарні ланки; визначення поняття типової елементарної ланки; організація взаємозв'язку (взаємодії) типових елементарних ланок як поміж собою, так і з зовнішнім середовищем. Відповіді на поставлені питання дозволяють виявити істотні ознаки і властивості в архітектурі узагальненої динамічної системи і побудувати її структурну схему.

Всі означені задачі та питання зберігають свій фундаментальний статус і актуальність в *теоретичній електротехніці*, де динамічними системами є електричні кола, які здатні виявляти себе як аналоги динамічних систем іншої (неелектричної) фізичної природи – як однорідної, так і змішаної.

Принцип типових елементарних ланок

Для розв'язання вказаних задач за домінанту пропонується застосувати *принцип типових елементарних ланок*.

Типова елементарна ланка динамічної системи із зосередженими параметрами – це найменша і структурно неподільна її частина, енергетичний стан якої за умови відсутності силової взаємодії (обміну енергією) з іншими такими ж ланками залежить тільки від однієї (власної) узагальненої координати та узагальненої швидкості (або узагальненого імпульсу), а за наявності ж

взаємодії – ще і від узагальнених координат та швидкостей відповідних суміжних взаємодіючих ланок.

Відтак сутність вищеназваного принципу полягає в тому, що будь-яка із зазначених динамічних систем, незалежно від її фізичної природи, може бути представлена уніфіковано – поділеною на взаємодіючі поміж собою типові елементарні ланки, де кожна з них бієктивно співвідноситься з власними узагальненою координатою та узагальненою швидкістю.

Для електричних кіл в *першій системі* динамічних аналогій типовими елементарними ланками є *незалежні замкнені контури*, за узагальнені координати слугують контурні заряди, узагальненими швидкостями є контурні струми, а узагальненими силами – електричні напруги.

Узагальнене електричне коло

Побудову *узагальненого електричного кола* за принципом типових елементарних ланок здійснено в роботах [2], де автором на основі означеного принципу розроблено та введено у вихідний базис теорії динамічних аналогій структурну та електричні схеми узагальнених електричних кіл в *першій* та *другій* системах динамічних координат.

Водночас необхідно зазначити, що вказані базисні елементи, попри їх доволі значну логічну силу, мають все ж обмежену дедуктивну спроможність, позаяк вони не враховують явище гіпервалентної взаємодії.

Явище гіпервалентної взаємодії

Явище гіпервалентної взаємодії опишемо як загально-природниче явище, яке спостерігається в фізичних та технічних динамічних системах різної природи і вияв якого відображає здатність типових елементарних ланок взаємодіяти або встановлювати взаємозв'язки поміж собою за допомогою *багатовимірних* внутрішніх узагальнених сил взаємодії, *незалежних* поміж собою, але *залежних* в різних комбінаторних сполученнях по числу k від узагальнених координат або (та) швидкостей ланок системи за умови, що зазначене число k належить області $2 \leq k \leq n$ (!), де n – число ступенів вільності динамічної системи.

Структурна схема узагальненого електричного кола як динамічної системи з урахуванням явища гіпервалентної взаємодії

Структурна схема узагальненої за числом ступенів вільності n динамічної системи довільної однорідної або змішаної фізичної природи з урахуванням явища гіпервалентної взаємодії між типовими елементарними ланками наведена на рис. 1. Зокрема на цьому рисунку показані n взаємодіючих типових елементарних ланок системи (пронумеровані кола) та виявлена сукупність всіх зовнішніх і внутрішніх узагальнених сил взаємодії, які з'являються або можуть з'являтися в динамічній системі під час її еволюційного руху. З поміж таких сил наразі важливо виокремити *внутрішні сили*, які і відображають поточний або можливий взаємозв'язок між типовими елементарними ланками. Внаслідок прояву явища гіпервалентної взаємодії таким силам притаманний *різний порядок вимірності* – від 2 до n в загальному випадку.

Багатовимірними внутрішніми силами взаємодії в динамічній системі будемо називати всі k -вимірні інерційні, потенціальні та дисипативні внутрішні сили взаємодії або їх рівнодійні за умови, що $2 \leq k \leq n$, де n – число ступенів вільності системи. Відтак *істотною ознакою*, яка ідентифікує багатовимірну

внутрішню силу взаємодії і виокремлює її з-поміж інших є кількість узагальнених координат або (та) швидкостей (імпульсів) елементарних ланок, від яких *водночас* залежить зазначена сила.

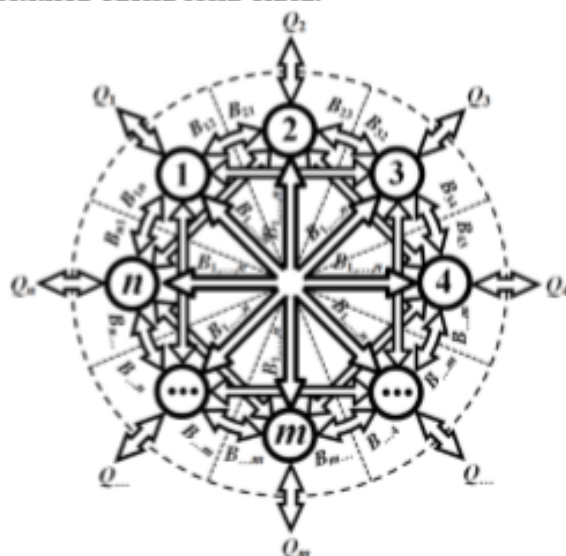


Рис. 1. Узагальнена структурна схема динамічної системи

Необхідно зазначити, що представлена на рис. 1 структурна схема динамічної системи є водночас структурною схемою і узагальненого електричного кола в першій системі динамічних координат. Вона виявляє логічну основу, по-перше, поділу такого кола за принципом типових елементарних ланок, де, як зазначалося вище, такими ланками слугують незалежні замкнені контури, і, по-друге, організації багатовимірного силового взаємозв'язку між ланками з урахуванням явища гіпервалентної взаємодії, де узагальненими силами є електричні напруги на індуктивних (інерційні сили), ємнісних (потенціальні сили) та резистивних (дисипативні сили) елементах електричного кола. Останні для незалежних контурів є спільними, але в різних комбінаторних сполученнях по числу k , де $2 \leq k \leq n$. Це означає, що зазначені елементи утворюють спільні вітки, які водночас належать різному числу незалежних контурів: від двох контурів, у випадку $C_n^2 = \frac{n!}{2!(n-2)!}$ двовимірних (або парних) узагальнених сил (себто напруг), до n незалежних контурів, у випадку єдиної $(C_n^n = 1)$ n -вимірної узагальненої сили, що і показано на рис. 1.

Таким чином, загальна кількість $N(n)$ рівнодійних внутрішніх сил взаємодії (напруг), які можуть діяти водночас між всіма незалежними замкненими контурами (типовими елементарними ланками) в гіперзв'язній системі узагальненого електричного кола, дорівнює

$$N(n) = \sum_{k=2}^n C_n^k = \sum_{k=2}^n \frac{n!}{k!(n-k)!} = 2^n - n - 1.$$

Зазначене дозволяє суттєвим чином посилити дедуктивну спроможність узагальненого електричного кола та системи його диференціальних рівнянь.

Рівняння руху гіперзв'язного узагальненого електричного кола в першій системі динамічних координат

Для розв'язування поставленої задачі скористаємося рівняннями *Лагранжа-Максвелла*, які підпорядковують рух узагальненого електричного кола з довільним числом ступенів вільності n і в першій системі динамічних аналогій мають вигляд

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial W_{\mathcal{M}}}{\partial i_m} + \frac{\partial W_e}{\partial q_m} + \frac{\partial \Phi_e}{\partial i_m} = e_m, \quad m = 1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

де $W_{\mathcal{M}}$ та W_e – це енергетичні функції, які визначають рівні енергій, зосереджених, відповідно, в його магнітному та електричному полях, а Φ_e – електрична дисипативна функція Релея, яка характеризує інтенсивність втрат енергії в колі.

З урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії енергія магнітного поля $W_{\mathcal{M}}$ узагальненого кола, яка зосереджена в його усіх окремих індуктивних елементах

$$\begin{aligned} W_{\mathcal{M}} = & \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^n L_{s_1} i_{s_1}^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-1} \sum_{s_2=s_1+1}^n L_{s_1, s_2} (i_{s_1} \pm i_{s_2})^2 + \dots + \\ & + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^1 \sum_{s_2=s_1+1}^2 \dots \sum_{s_n=s_{n-1}+1}^n L_{s_1, s_2, \dots, s_n} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_n})^2, \end{aligned} \quad (2)$$

де кожний елемент з множини $L_{s_1, \dots, s_\nu}$, $2 \leq \nu \leq n$ – це ν -контурна *взаємна* індуктивність, яка спільно належить $s_1, \dots, s_\nu$ незалежним контурам, внаслідок чого через цей елемент проходять декілька контурних струмів $i_{s_1}, \dots, i_{s_\nu}$. Що ж до індуктивностей з множини L_{s_1} , то кожному з них називатимемо *власною* індуктивністю відповідного s_1 -го незалежного контуру, оскільки її параметр характеризує власні інерційні властивості відповідної типової елементарної ланки. Наразі кола з індуктивно-зв'язаними елементами залишаємо поза увагою, позаяк вони у спосіб еквівалентних перетворень можуть бути зведені до кіл, що є окремими випадками шуканого узагальненого кола.

Енергія електричного поля W_e кола зосереджена в ємнісних елементах,

$$\begin{aligned} W_e = & \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^n \frac{q_{s_1}^2}{C_{s_1}} + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-1} \sum_{s_2=s_1+1}^n \frac{(q_{s_1} \pm q_{s_2})^2}{C_{s_1, s_2}} + \dots + \\ & + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^1 \sum_{s_2=s_1+1}^2 \dots \sum_{s_n=s_{n-1}+1}^n \frac{(q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_n})^2}{C_{s_1, s_2, \dots, s_n}}, \end{aligned} \quad (3)$$

де кожна $C_{s_1, \dots, s_\nu}$ – це ν -контурна взаємна ємність, а C_{s_1} – власні ємності.

Електрична дисипативна функція Релея Φ_e визначається як половина потужностей всіх втрат енергії, що спостерігаються в колі

$$\Phi_e = \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^n R_{s_1} i_{s_1}^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-1} \sum_{s_2=s_1+1}^n R_{s_1, s_2} (i_{s_1} \pm i_{s_2})^2 + \dots +$$

$$+ \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^1 \sum_{s_2=s_1+1}^2 \dots \sum_{s_n=s_{n-1}+1}^n R_{s_1, s_2, \dots, s_n} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_n})^2, \quad (4)$$

де $R_{s_1, \dots, s_n}$ – це взаємні опори, а R_{s_1} – власний опір відповідного контуру.

На підставі співвідношень (2)-(4) після відповідних математичних перетворень та перегруповувань систему рівнянь (1) можна переписати у вигляді

$$\left(L_m \frac{di_m}{dt} + R_m i_m + \frac{q_m}{C_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[L_{m, s_1} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1}) + R_{m, s_1} (i_m \pm i_{s_1}) + \frac{q_m \pm q_{s_1}}{C_{m, s_1}} \right] +$$

$$+ \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \left[L_{m, s_1, s_2} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + R_{m, s_1, s_2} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2}}{C_{m, s_1, s_2}} \right] +$$

$$+ \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \left[L_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}) + \right.$$

$$\left. + R_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}) + \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_{n-1}}}{C_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}}} \right] = e_m,$$

де $m = 1, 2, \dots, n$.

Висновки

З урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії сформовано структурну схему узагальненої за числом ступенів вільності та фізичною природою континуальної динамічної системи із зосередженими параметрами і на її основі отримано систему рівнянь руху узагальненого електричного кола в першій системі координат. Для теорії динамічних аналогій та теоретичних основ електротехніки обидва елементи є базисними і дозволяють формалізувати процес побудови електричних моделей, незалежно ні від складності системи-прототипу, ні в багатьох випадках від її фізичної природи.

Список літератури

1. Кухарчук В. В. Математична і електричні моделі перетворювача моменту інерції тіл обертання з двома ступенями вільності / В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2006. – №1(5). – С.8 –14.
2. Ведміцький Ю. Г. Узагальнені електричні схеми-аналоги неперервних динамічних систем довільного порядку / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. – 2010. – Випуск 2. – С. 63 – 69.