

УДК 621.3

Ю. Г. Ведміцький, к. т. н., доц.

ТЕКТОЛОГІЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ І ЯВИЩЕ ГІПЕРСИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ У СТРУКТУРНИХ РІВНЯННЯХ УЗАГАЛЬНЕНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА

У роботі представлено ряд розв'язків важливих і пов'язаних поміж собою теоретичних задач, які мають як спеціально-технічне, так і загальноприродничє значення. В своїй сукупності та взаємодії вони закладають теоретичний базис для формування і розвитку в класичній електротехніці окремого наукового напрямку, істотними ознаками якого є побудова узагальнених щодо числа ступенів вільності континуальних у часі однорідних або змішаних за своєю природою динамічних систем як суто електричного, так і суміщеного фізичного походження, а також їх структурний аналіз та формалізація на дедуктивній основі математичної і фізичної ідентифікації цих систем.

В контексті зазначеного, автором виявлено і розкрито сутність невідомого загальноприродничєго явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії між елементарними структурними ланками, яке спостерігається або може спостерігатися в динамічних системах із зосередженими параметрами довільної фізичної природи та складності під час їхнього руху в фазовому просторі під дією зовнішніх та внутрішніх сил. Показано та математично доведено, що в загальному випадку внутрішня силова взаємодія між структурними ланками динамічної системи є водночас багатовимірною і відповідає розмірностям підпросторів топологічного простору системи, які визначаються всіма комбінаторними сполученнями з числа n по числу k , де число k належить області $2 \leq k \leq n$, а n є числом ступенів вільності цієї системи. В таких вкладених підпросторах наявні багатовимірні сили взаємодії довільної розмірності є незалежними одна до одної. Серед іншого, це спростовує панівну для більшості теорій і наукових систем парадигму щодо можливості виключно бінарного ($k = 2$) подання характеру силової взаємодії (і відповідно математичних відношень) між структурними елементами динамічних систем під час їх руху.

Урахування явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії суттєвим чином розширює класи досліджуваних динамічних систем.

На прикладі електротехнічних систем зазначене дозволило за допомогою рівнянь Лагранжа-Максвела розв'язати ряд істотних декомпозиційних задач, які складають основу однієї з фундаментальних проблем теоретичної електротехніки (ТОЕ) – побудови узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола.

Отримані результати, серед яких топологічна структурна схема узагальненого електричного кола та структурно визначена система диференціальних рівнянь його руху (структурні рівняння), на сьогодні мають найвищий ступінь узагальнення і дедуктивно охоплюють широкі класи електричних кіл та систем – як відомих, так і можливих.

Ключові слова: *фізичне явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, багатовимірна сила (гіперсила), узагальнене електричне коло, динамічна система, топологічна структура, типова елементарна ланка, рівняння Лагранжа-Максвела, структурні рівняння електричного кола, перша та друга системи узагальнених координат.*

Передмова

Одним із фундаментальних завдань теоретичної електротехніки (ТОЕ) є побудова узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола зі зосередженими

параметрами.

Успішне розв'язання поставленого завдання розкриває в класичній (Кірхгофівій) електротехніці нові якості й закладає підґрунтя для формування й розвитку в ній окремого напрямку – *структурно-аналітичної узагальненої теорії електротехніки*, істотною ознакою якої є здатність на дедуктивній основі *формалізувати* процес математичної і фізичної ідентифікації континуальних у часі однорідних або змішаних за своєю природою фізичних і технічних динамічних систем як електричного (електромагнітного), так і суміщеного фізичного походження.

На рівні формування задачі концепцію та сутність поняття узагальненого електричного кола в явній або опосередкованій формах зазначено в багатьох роботах, наприклад, у [1] Дж. Кл. Максвела, у [2] А. Пуанкаре, у [3] Г. Крона, у [4] Х. Хеппа, у [5] А. Анго, у [6] А. К. Шидловського та А. Н. Міляха, у [7] А. И. Вейніка, у [8] К. Шимоні, у [9] В. А. Веникова, у [10] Н. Н. Гарновського, у [11] Г. Є. Пухова, у [12] В. С. Перхача та багатьох інших авторів як в галузі власне теоретичної електротехніки, так і суміжних науках.

Але зазначені роботи виявляють і інший факт: заявлена задача, попри свою істотність та актуальність, розв'язаною в минулому не була навіть у своїй основі.

Концептуально повно її не розв'язано й дотепер.

Проте на сучасному етапі в роботах [13, 14] отримано важливі результати, які закладають теоретичний базис і створюють необхідну основу для її успішного розв'язання.

Отже, *метою цієї роботи є розробка на основі виявленого автором загальноприродничого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії поняття узагальненого електричного кола з найвищим на сьогодні ступенем узагальнення, а також побудова його структурної схеми та формування на строгій математичній основі структурно визначених диференціальних рівнянь руху – структурних рівнянь узагальненого кола.*

1. Загальні зауваження

Побудова *узагальнених абстрагованих систем (надбудов) із найвищою логічною силою* (ступенем узагальнення) у науці є чи не найважливішим чинником її розвитку.

Водночас далеко не завжди потреба в таких теоретичних надбудовах на різних історичних етапах і з різним ступенем вияву мала зумовлений зовні характер. Адже доволі часто запити суспільства, залежно від його поточного стану та потреб, виявляли в тому чи іншому вигляді свою інерційність порівняно з підпорядкованими внутрішній логіці можливостями розвитку окремих теорій та наукових систем, що призводило до щонайменше нерозуміння практичної доцільності отриманих наукових результатів, а в крайніх випадках – і до їхнього категоричного неприйняття, аж доки системні й докорінні зміни не відбулися вже в самій суспільно-економічній формації.

Історія науки виразно свідчить про це численними фактами. Достатньо згадати доволі непросту, навіть трагічну, історію становлення *геліоцентричної* системи, замість геоцентричної, у процесі розбудови загальної картини Всесвіту.

Відродження ж суспільно-економічної формації завжди починалося з глибокої відрази до застарілих реакційних форм та змістів. Тому в контексті, звичайно ж, необхідності власного розвитку суспільство водночас стимулювало й розвиток науки важливими задачами, які хоча й носили зазвичай прикладний характер, але їхнє розв'язання було неможливим без наявного теоретичного забезпечення, побудованого на основі узагальнених абстрагованих системних надбудов, що призводило до численних практик його застосування, а відтак – і до визнання.

Теоретичний базис *класичної електротехніки* (зокрема ТОЕ) як міждисциплінарної (з-поміж фундаментальних) науки формувався в *схожих умовах*: від накопичення окремих експериментальних фактів, явищ та законів до їхнього узагальнення з подальшим

застосуванням отриманих теоретичних надбудов на практиці. Відтак його потужні аналітичні можливості сьогодні дозволяють розв'язувати широкий клас прикладних і теоретичних задач, які виявляються в процесі суспільно-матеріального виробництва, наприклад, в електроенергетичному сегменті національних і наднаціональних економік.

Однак, відповідно до *закону історичного розвитку суспільно-економічних формацій*, перед суспільствами як окремих розвинених країн, так і їхніх об'єднань постають якісно нові задачі в нових умовах.

У вузькому розумінні сутність зазначеного чітко викладена в положеннях концепції *третьої промислової революції* [15], парадигмою якої є злиття сучасних інформаційних інтернет-технологій з оновленими електроенергетичними системами, побудованими на якісно інших принципах, де домінує *ідея відмови від традиційної видобувної вуглецевої енергетики* з її занадто заієрархієзованою інфраструктурою на користь енергетики з максимально децентралізованою загальною мережею, яка складається з великої кількості малопотужних відновлювальних джерел енергії та максимально наближених до них споживачів, організованих у своїй структурі таким чином, щоб у найпростіший спосіб віддавати надлишки електричної енергії в мережу або (в разі потреби) з тієї ж мережі отримувати необхідне [15].

До сказаного варто додати, що в травні 2007 року Європарламент випустив офіційну декларацію, де концепція третьої промислової революції була представлена як *довготермінове економічне бачення та дорожня карта* для Європейського Союзу, а такі всесвітньо відомі компанії як Philips, Schneider Electric, IBM, Cisco Systems, Acciona, CH2M Hill, Arup, Adrian Smith + Gordon Gill Architecture, Q-Cells активно долучилися до цього і створюють необхідну інфраструктуру.

У широкому ж розумінні (історичному аспекті) вищенаведене не залишає, принаймні в автора цієї статті, жодних сумнівів щодо появи нового соціуму. Його історична місія – *зміна суспільно-економічної формації*, коли створення нової не залишає для старої жодних шансів на подальшу гегемонію.

Адже тривалий час світова спільнота була не тільки свідком тих прогресивних змін і споживачем тих унікальних якостей, які несла із собою суспільно-економічна формація, побудована на основі *вуглецевої енергетики*, але й жертвою глибоких і жахливих суперечностей, конфліктів, криз та війн, які та продукувала, а зі зменшенням ресурсної бази тільки поглиблювала.

Занадто вже дорогу ціну доводилося платити людству за своє природне право користуватися енергетичними ресурсами планети, щоб і далі продовжувати ігнорувати *альтернативну енергетику*, зокрема – *геліоцентричну*.

Зрозуміло, що без *реформації та докорінної реструктуризації* суспільно-матеріального виробництва кожної із країн окремо й усіх – водночас (!), їхніх виробничих сил та відносин жодні якісно-прогресивні зміни у світовій економіці будуть неможливими в принципі.

Додам, що сказане однаково стосується також і країн, які з тих чи інших причин або ще доки перебувають на стартових позиціях (назвемо це так), або ж ще мають вийти на такі позиції, оскільки іншого у своїй перспективі жодне із суспільств цих країн тривалий час чекати не захоче. І не буде.

Переконаний, що й Україна зрештою знайде свій шлях.

Перемога, на відміну від поразок, без боротьби не буває.

2. Альтернативна структурна схема узагальненого електричного кола

Отже, *щоб у майбутньому забезпечувати потреби доки ще альтернативної електроенергетики, базис теоретичної електротехніки вже сьогодні має бути якісно реформований і приведений у відповідність до розв'язання вже не тільки сучасних, але і*

прийдешніх задач.

Насамперед це стосується *теорії електричних і магнітних кіл*, оскільки вона є найважливішим його складником і саме тією теорією, яка здатна адекватно відобразити енергетичні процеси в електроенергетичних системах за різних режимів їхнього функціонування.

Зважаючи на вищезазначене, створення концепції абстрагованого узагальненого електричного кола постає на сучасному етапі розвитку електротехнічної науки як актуальна і першочергова задача.

Одним із найважливіших базисних елементів у теорії узагальненого електричного кола є його структурна схема, яка водночас відображає склад (тобто множину та властивості структурних елементів), топологію (себто відношення між зазначеними структурними елементами як множину їхніх підмножин, насамперед, у фізичному та математичному розуміннях) і тектологію [16] – загальну організаційну основу побудови цієї узагальненої абстрагованої системи.

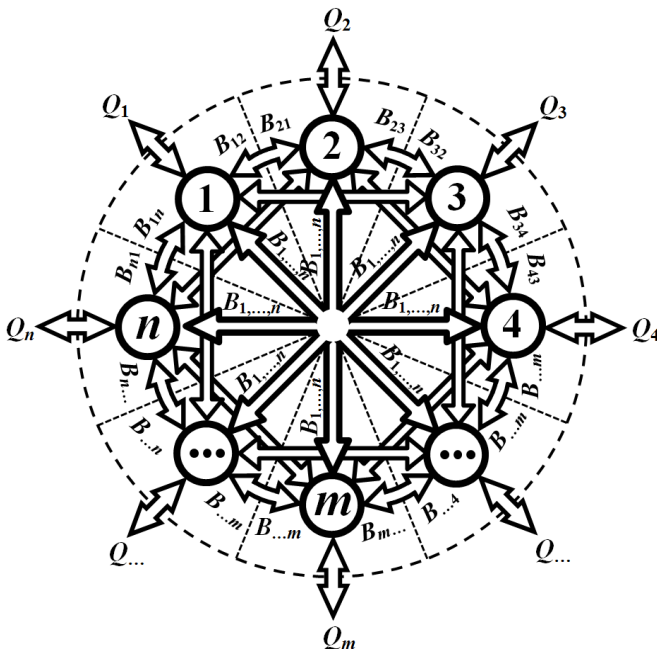


Рис. 1. Структурна схема узагальненої динамічної системи довільної природи з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

Узагальнене електричне коло з такою структурою розроблене й представлене в роботі [14] (рис. 1). Істотною властивістю показаного на рис. 1 узагальненого електричного кола є притаманний йому *найвищий* ступінь узагальнення (логічної сили) з-поміж на сьогодні відомих, а істотною ознакою – наявність *повної топології* в фізичних і математичних відношеннях між його структурними елементами – типовими елементарними ланками, що є феноменологічним виявом загальноприродничого явища (наразі фізичного) гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії.

Отже, запропонована узагальнена абстрагована система охоплює всю сукупність на сьогодні відомих та можливих (і навіть уявних) окремо взятих електричних кіл, а також підпорядковує собі їхні узагальнені абстраговані класи з різним і, звичайно ж, нижчим ступенем узагальнення.

Варто нагадати, що електричні кола – це динамічні системи переважно штучного походження. Водночас процеси та явища, що в них спостерігають, є загальноприродничими й підпорядковуються загальним законам природи, насамперед законам фізики та математики. Тому під час розробки поняття узагальненого електричного кола варто не забувати важливого й неодноразово доведеного правила: якщо тільки в процесах та явищах надзвичайно урізноманітненої природою фізичної реальності узагальнені абстраговані надбудови з тих чи інших причин ігноруватимуть безпосередній або опосередкований вплив відомих чи доки невідомих, але істотних, чинників та відношень, *такі надбудови врешті виявляться недостатньо спроможними та дієздатними, через що потребуватимуть заміни на більш адекватні до реалій гіпотетико-дедуктивні теоретичні системи*. У свою чергу, останні стануть визнаними як системи з вищим ступенем узагальнення (логічної сили) лише в разі, якщо не заперечуватимуть і не спростовуватимуть локальної істинності донедавна панівних узагальнених концепцій, але внаслідок своєї більшої дедуктивної дієздатності у природний спосіб підпорядковуватимуть їх собі.

Попри, на перший погляд, побіжне протиріччя історія науки невблаганно підтверджує істинність цього правила численними фактами. Тому й визначає його як *достовірний спосіб формування наукової істини: революційний за формою, але еволюційний за змістом*. Зазначу, що, хоча обидві окреслені якості є необхідними, жодна з них поодиноці не може бути достатньою. Ні еволюція – без форми, ні революція – без змісту.

Отже, у контексті вищенаведеного *абстрагована система узагальненого електричного кола*, яку показано на рис. 1, не заперечує загального правила, але його засвідчує.

Так, донедавна найуспішніша спроба розв'язання означеної задачі була представлена в роботі [13], де автор аналітично побудував і вперше навів *структурні рівняння* узагальненого електричного кола, що, знову ж таки, вперше дозволило сформулювати узагальнену структурну та електричні схеми з *надзвичайно високим рівнем узагальнення* й дедуктивним охопленням широких класів електричних кіл: як відомих, так і можливих, що на той час доводило неабияку логічну силу запропонованої системної надбудови.

Однак представлений у [13] розв'язок задачі побудови узагальненого електричного кола зрештою виявився лише частковим із властивою частковості *недостатньою дедуктивною дієдатністю*, що було розкрито в роботі [14].

Основною хибкою запропонованої структури узагальненого електричного кола була помилкова думка, яка, на превеликий жаль, і сьогодні панує в переважній більшості теорій та наукових системах. Сутність її полягає у *виключно бінарному (!) поданні характеру математичних відношень у структурі поміж елементами узагальненої абстрагованої системи*.

Виразним прикладом такого підходу є *теорія графів* з її, як відомо, універсальною сферою застосування, у якій базисне поняття *графа* виводять з умови *парності* збіжних (інцидентних) будь-якому ребру вершин. Оскільки ребро є абстрагованим відображенням взаємодії (взаємозв'язку) поміж вершинами, то, відповідно до сучасних уявлень теорії, така взаємодія має відбуватися *тільки між двома (!) вершинами*.

Відтак виключно бінарний характер фізичних і математичних відношень у структурі

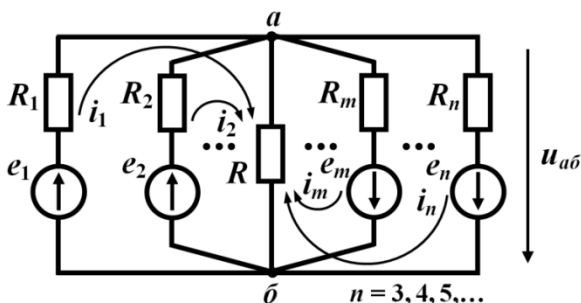


Рис. 2. Прояв явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії на прикладі окремих класів електричних кіл

узагальненого електричного кола суттєво послаблює його логічну силу, позаяк залишає поза увагою *значно більшу частину* електричних кіл та електротехнічних систем, навіть із числа добре відомих і затребуваних на практиці (рис. 2).

Водночас у роботі [14] доведено, що вищевказаний недолік є *критичним* і відповідно до сутності вияву загально-природничого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії без докорінного перегляду принципу встановлення фізичних і математичних

відношень між структурними елементами узагальненої системи зазначену недостатність усунути принципово неможливо.

3. Явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії та принцип гіперзв'язності системи

Поняття *сили* як міри взаємодії глибоко пронизує фундамент усієї науки й має надзвичайно важливе методологічне значення. Із цим поняттям невід'ємно пов'язана більшість явищ і процесів, які виокремлені й описані природничими, технічними та суспільно-економічними науками.

Як відомо, *внутрішніми силами взаємодії* в динамічній системі називають сили взаємодії між її структурними складовими. В нашому випадку такими складниками системи є

найменші і структурно неподільні *типові елементарні ланки*, кожна з яких здатна взаємодіяти з іншими та утворювати не тільки попарні, але і *гіперсилові (гіпервалентні) зв'язки*, як це показано на рис. 1.

Зокрема рис. 1 відображає всі внутрішні сили з *різним порядком вимірності k* , які внаслідок гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії між типовими елементарними ланками з'являються або можуть з'являтися в динамічній системі під час руху останньої.

Явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії – це загальноприродне явище, яке спостерігають у фізичних і технічних динамічних системах різної природи і вияв якого відображає здатність типових елементарних ланок водночас взаємодіяти (або встановлювати взаємозв'язки поміж собою) *багатовимірними* внутрішніми узагальненими силами взаємодії, *незалежними* поміж собою, але *залежними* від узагальнених координат або (та) швидкостей ланок системи в *різних комбінаторних сполученнях з n по числу k* за умов, що число k належить області

$$2 \leq k \leq n,$$

а n – число ступенів вільності системи.

Відтак *багатовимірними внутрішніми силами взаємодії* (або *гіперсилами*) у динамічній системі будемо називати всі k -вимірні внутрішні сили або їхні рівнодійні, де число k задовольняє умову $2 \leq k \leq n$.

Для узагальненого електричного кола, побудованого з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, як це показано на рис. 1, загальна кількість рівнодійних внутрішніх сил взаємодії, які можуть діяти водночас між усіма типовими елементарними ланками системи, дорівнює

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

Для узагальненого електричного кола, представленого в роботі [13], де враховані тільки *двовимірні* (або *попарні*) внутрішні сили взаємодії $k=2$, така кількість є *суттєво меншою* й дорівнює лише одній із груп складників формули (1), а саме

$$C_n^2 = \frac{n!}{2!(n-2)!}. \quad (2)$$

Для складних систем електричних кіл із багатьма ступенями вільності значення біноміального коефіцієнта (2) порівняно із сумою (1) з таких коефіцієнтів становить незрівнянно мізерну частину

$$\frac{C_n^2}{\sum_{k=2}^n C_n^k} \cdot 100\% = \frac{100\%}{1 + \sum_{k=3}^n \frac{C_n^k}{C_n^2}} = \frac{100\%}{1 + \sum_{k=3}^n \frac{2!(n-2)!}{k!(n-k)!}}, \quad (3)$$

оскільки значення суми в формулі (3) зі збільшенням n доволі *швидко зростає*. Так, наприклад, якщо $n=15$, зазначений відсоток становить лише 0,321%, якщо ж $n=10$, він дорівнює 4,44%, а коли $n=5$, то 38,46%, що свідчить про актуальність узагальненого електричного кола, побудованого в [13], лише за *малих значень n* , тобто в *простих динамічних системах з малим значенням числа ступенів їх вільності*.

Узагальненість електричного кола вимагає *найвищий ступінь зв'язності* кожної з його n типових елементарних ланок у системі. Відтак гіперсилова взаємодія будь-якої окремо взятої типової елементарної ланки з іншими ланками системи має охоплювати *всі можливі комбінаторні сполучення*

$$S_n^k = C_{n-1}^{k-1} = \frac{(n-1)!}{(k-n)!(n-k)!}, \quad (4)$$

а саме множину $\{S_n^2 = C_{n-1}^1; \dots; S_n^m = C_{n-1}^{m-1}; \dots; S_n^n = C_{n-1}^{n-1}\}$, де кожне з чисел S_n^k в (4) – це кількість комбінаторних сполучень із n по числу k зазначеної типової елементарної ланки з іншими ланками системи.

Вищенаведену умову, яка є істотною ознакою узагальненості електричного кола як динамічної системи, називатимемо *принципом гіперзв'язності* типових елементарних ланок.

Зауважимо, що для динамічних систем, запропонованих у роботі [13], тобто для систем *попарної взаємодії*, усі можливі комбінаторні сполучення будь-якої окремої ланки обмежені тільки числом $k = 2$ і їхня можлива кількість не перевищує значення

$$S_n^2 = C_{n-1}^1 = n - 1.$$

4. Типові елементарні ланки та принцип типових елементарних ланок

Типова елементарна ланка динамічної системи зі 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 й узагальненої швидкості (узагальненого імпульсу), а в разі взаємодії – ще й від узагальнених координат і швидкостей відповідних суміжних взаємодійних ланок [13, 14].

Зміна енергетичного стану типової елементарної ланки відбувається внаслідок її руху під дією зовнішніх і внутрішніх *багатовимірних сил*. Рух типової елементарної ланки – це зміна з плином часу її стану відносно стану інших типових елементарних ланок або заданої системи узагальнених координат.

Відтак стан типової елементарної ланки визначають поточними значеннями її узагальненої координати та узагальненої швидкості (або узагальненого імпульсу) відносно обраної за актуальну координатної системи.

Для електричних кіл у *першій системі* узагальнених координат типовими елементарними ланками є *незалежні замкнені контури*, за узагальнені координати слугують *контурні заряди*, узагальненими швидкостями є *контурні струми*, узагальненими імпульсами – *магнітні потокозчеплення*, а узагальненими силами – *електричні напруги* та *е.р.с. джерел енергії* в разі зовнішньої дії.

У *другій системі* узагальнених координат типовими елементарними ланками є *незалежні вузлові пари*, а узагальненими швидкостями – *напруги* поміж вузлами зазначених пар, їхні *інтеграли* (або *магнітні потокозчеплення*) визначають узагальнені координати, *електричні заряди* – це узагальнені імпульси, узагальненими силами слугують *електричні струми* та *струми джерел зі струмами*.

Сутність принципу типових елементарних ланок полягає в тому, що кожна з означених динамічних систем, незалежно від їхньої фізичної природи, може бути представлена уніфіковано: поділеною на взаємодійні поміж собою типові елементарні ланки.

Оскільки кожна з таких ланок бієктивно (взаємно-однозначно) співвідноситься з власними узагальненою координатою та узагальненою швидкістю (або узагальненим імпульсом), то їхня кількість строго регламентована й відповідає числу узагальнених координат та числу ступенів вільності системи n .

5. Структурні рівняння узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених координат з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

Для побудови рівнянь скористаємося *рівняннями Лагранжа – Максвела*, які підпорядковують рух узагальненого електричного кола з довільним числом ступенів вільності n .

1. У *першій системі* узагальнених координат рівняння Лагранжа – Максвела мають

ВИГЛЯД

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial W_m}{\partial i_m} + \frac{\partial W_e}{\partial q_m} + \frac{\partial \Phi_e}{\partial i_m} = e_m, \quad m = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

де W_m, W_e, Φ_e – енергетичні функції узагальненого електричного кола.

2. Загальну енергію магнітного поля W_m електричного кола визначають як сукупну енергію всіх магнітних полів індуктивних елементів, які входять до складу цього кола [17].

Отже, для енергетичної функції W_m з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії маємо [14]:

$$W_m = \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^n L_{s_1} i_{s_1}^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-1} \sum_{s_2=s_1+1}^n L_{s_1, s_2} (i_{s_1} \pm i_{s_2})^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-2} \sum_{s_2=s_1+1}^{n-1} \sum_{s_3=s_2+1}^n L_{s_1, s_2, s_3} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm i_{s_3})^2 + \dots + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^1 \sum_{s_2=s_1+1}^2 \dots \sum_{s_n=s_{n-1}+1}^n L_{s_1, s_2, \dots, s_n} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_n})^2, \quad (6)$$

де кожна L_{s_1, \dots, s_v} , ($2 \leq v \leq n$) – це v -контурна взаємна індуктивність, а L_{s_1} – власна індуктивність.

На підставі (6) після відповідних математичних перетворень для довільного m -го незалежного контуру, де $1 \leq m \leq n$, остаточно можемо записати

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial W_m}{\partial i_m} = & L_m \frac{di_m}{dt} + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n L_{m, s_1} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1}) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n L_{m, s_1, s_2} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + \\ & + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-2} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_3=s_2+1 \\ s_3 \neq m}}^n L_{m, s_1, s_2, s_3} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm i_{s_3}) + \dots + \\ & + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n L_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}). \end{aligned} \quad (7)$$

3. Структуру енергетичної функції W_e дослідимо схожим чином.

Загальна енергія електричного поля W_e узагальненого кола з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії дорівнює сумі енергій усіх електричних полів, створених в ємнісних елементах, які входять до складу узагальненого кола [14, 17],

$$W_e = \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^n \frac{q_{s_1}^2}{C_{s_1}} + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-1} \sum_{s_2=s_1+1}^n \frac{(q_{s_1} \pm q_{s_2})^2}{C_{s_1, s_2}} + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-2} \sum_{s_2=s_1+1}^{n-1} \sum_{s_3=s_2+1}^n \frac{(q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm q_{s_3})^2}{C_{s_1, s_2, s_3}} + \dots + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^1 \sum_{s_2=s_1+1}^2 \dots \sum_{s_n=s_{n-1}+1}^n \frac{(q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_n})^2}{C_{s_1, s_2, \dots, s_n}}, \quad (8)$$

де кожна C_{s_1, \dots, s_v} , ($2 \leq v \leq n$) – це v -контурна взаємна ємність, а C_{s_1} – власна ємність.

Тоді на підставі (8) для довільного m -го незалежного контуру маємо

$$\begin{aligned} \frac{\partial W_e}{\partial q_m} = & \frac{q_m}{C_m} + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \frac{q_m \pm q_{s_1}}{C_{m, s_1}} + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2}}{C_{m, s_1, s_2}} + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-2} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_3=s_2+1 \\ s_3 \neq m}}^n \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm q_{s_3}}{C_{m, s_1, s_2, s_3}} + \\ & + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_{n-1}}}{C_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}}}. \end{aligned} \quad (9)$$

4. Електричну дисипативну функцію Релея Φ_e визначають як половину миттєвих потужностей усіх втрат електричної енергії, що спостерігають у колі [13].

Отож, урахувавши явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, для узагальненого кола запишемо [14]

$$\Phi_e = \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^n R_{s_1} i_{s_1}^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-1} \sum_{s_2=s_1+1}^n R_{s_1, s_2} (i_{s_1} \pm i_{s_2})^2 + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^{n-2} \sum_{s_2=s_1+1}^{n-1} \sum_{s_3=s_2+1}^n R_{s_1, s_2, s_3} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm i_{s_3})^2 + \dots + \frac{1}{2} \sum_{s_1=1}^1 \sum_{s_2=s_1+1}^2 \dots \sum_{s_n=s_{n-1}+1}^n R_{s_1, s_2, \dots, s_n} (i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_n})^2, \quad (10)$$

де R_{s_1, \dots, s_ν} , ($2 \leq \nu \leq n$) – це ν -контурні взаємні активні опори, а R_{s_1} – власний опір відповідного незалежного контуру.

Відтак на підставі (10) для довільного m -го незалежного контуру отримуємо

$$\frac{\partial \Phi_e}{\partial i_m} = R_m i_m + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n R_{m, s_1} (i_m \pm i_{s_1}) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n R_{m, s_1, s_2} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-2} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_3=s_2+1 \\ s_3 \neq m}}^n R_{m, s_1, s_2, s_3} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm i_{s_3}) + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n R_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}). \quad (11)$$

5. Отримані співвідношення (7), (9) та (11) підставляємо в систему рівнянь (5), де відповідне перегрупування складників багаторазових сум в отриманому конгломераті дозволяє віднайти систему рівнянь, яка за своєю структурою безпосередньо здатна відображати водночас склад, топологію і тектологію узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола із зосередженими параметрами, побудованого з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії.

Надалі ці рівняння називатимемо *структурними рівняннями* узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених електричних координат.

Самі ж структурні рівняння руху узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених електричних координат мають такий вигляд [14]:

$$\left(L_m \frac{di_m}{dt} + R_m i_m + \frac{q_m}{C_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[L_{m, s_1} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1}) + R_{m, s_1} (i_m \pm i_{s_1}) + \frac{q_m \pm q_{s_1}}{C_{m, s_1}} \right] + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \left[L_{m, s_1, s_2} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + R_{m, s_1, s_2} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2}) + \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2}}{C_{m, s_1, s_2}} \right] + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \left[L_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}) + R_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}} (i_m \pm i_{s_1} \pm i_{s_2} \pm \dots \pm i_{s_{n-1}}) + \frac{q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_{n-1}}}{C_{m, s_1, s_2, \dots, s_{n-1}}} \right] = e_m, \quad (12)$$

$m = 1, 2, \dots, n$.

Додамо, що відносно заданої системи координат система структурних рівнянь (12) узагальненого електричного кола, як і його узагальнена структурна схема (див. рис. 1), є на

сьогодні логічно найсильнішою й дедуктивно охоплює найширший клас електричних кіл, оскільки отримана з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії. Зокрема зазначений базисний елемент дедуктивно підпорядковує собі й систему структурних рівнянь, запропоновану в роботі [13],

$$\left(L_m \frac{di_m}{dt} + R_m i_m + \frac{q_m}{C_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[L_{m,s_1} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1}) + R_{m,s_1} (i_m \pm i_{s_1}) + \frac{q_m \pm q_{s_1}}{C_{m,s_1}} \right] = e_m, \quad m = 1, 2, \dots, n, \quad (13)$$

оскільки наведені рівняння (13) є лише окремим випадком (виявом) системи рівнянь (12).

6. Структурні рівняння узагальненого електричного кола в другій системі узагальнених координат з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

Для зазначених структурних рівнянь, скористаємося рівняннями Лагранжа – Максвелла, але записаними в другій системі узагальнених електричних координат

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial W_e}{\partial \varphi_m} + \frac{\partial W_M}{\partial \psi_m} + \frac{\partial \Phi_e}{\partial \varphi_m} = J_m, \quad m = 1, 2, \dots, n, \quad (14)$$

де W_e, W_M, Φ_e – енергетичні функції узагальненого електричного кола.

Ураховуємо явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії й відповідно до вищенаведеної методики на підставі (14) отримуємо структурні рівняння узагальненого електричного кола, які в другій системі координат мають вигляд [14]

$$\begin{aligned} & \left(C_m \frac{du_m}{dt} + G_m u_m + \frac{\Psi_m}{L_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[C_{m,s_1} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1}) + G_{m,s_1} (u_m \pm u_{s_1}) + \frac{\Psi_m \pm \Psi_{s_1}}{L_{m,s_1}} \right] + \\ & + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \left[C_{m,s_1,s_2} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2}) + G_{m,s_1,s_2} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2}) + \frac{\Psi_m \pm \Psi_{s_1} \pm \Psi_{s_2}}{L_{m,s_1,s_2}} \right] + \\ & + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \left[C_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2} \pm \dots \pm u_{s_{n-1}}) + \right. \\ & \left. + G_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2} \pm \dots \pm u_{s_{n-1}}) + \frac{\Psi_m \pm \Psi_{s_1} \pm \Psi_{s_2} \pm \dots \pm \Psi_{s_{n-1}}}{L_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}}} \right] = J_m, \end{aligned} \quad (15)$$

$m = 1, 2, \dots, n$.

Відтак структурні рівняння (15) отримано з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії. Ці рівняння біективно відповідають елементам узагальненої структурної схеми рис. 1 і мають найвищий на сьогодні ступінь узагальнення серед електричних кіл, побудованих у другій системі узагальнених координат, зокрема і електричних кіл, запропонованих у роботі [13],

$$\left(C_m \frac{du_m}{dt} + G_m u_m + \frac{\Psi_m}{L_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[C_{m,s_1} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1}) + G_{m,s_1} (u_m \pm u_{s_1}) + \frac{\Psi_m \pm \Psi_{s_1}}{L_{m,s_1}} \right] = J_m, \quad m = 1, 2, \dots, n,$$

де останні, як доводить їх співвіднесення із системою (15), є лише окремим із багатьох можливих виявів рівнянь (15) і лише за окремих умов.

Висновки

У роботі описано виявлене загальноприродничє явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, урахування якого дозволило на основі математичного дослідження та аналізу

рівнянь Лагранжа – Максвелла побудувати узагальнене за числом ступенів вільності електричне коло з найвищим з-поміж на сьогодні відомих ступенем узагальнення, а також сформулювати його узагальнену структурну схему і отримати структурно визначену систему його диференціальних рівнянь руху (структурних рівнянь) в першій та другій системах узагальнених електричних координат.

Наукові результати роботи мають як спеціально-технічне, так і загальноприродничє значення.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Максвелл Дж. К. Трактат об електричестві і магнетизмі, том I / Дж. К. Максвелл. – М. : Наука, 1989. – 416 с.
2. Пуанкаре А. Избранные труды, том III / А. Пуанкаре. – М. : изд-во «Наука», 1974. – 772 с.
3. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / Г. Крон. – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1972. – 544 с.
4. Хэпп Х. Диакоптика и электрические цепи / Х. Хэпп. – М. : изд-во «Мир», 1974, – 343 с.
5. Анго А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго. – М. : изд-во «Наука», 1964, – 772 с.
6. Милях А. Н. Принцип взаимности и обратимость явлений в электротехнике / А. Н. Милях, А. К. Шидловский. – К. : изд-во «Наукова думка», 1967. – 316 с.
7. Вейник А. И. Термодинамика / А. И. Вейник. – Минск : «Вышэйш. школа», 1968. – 464 с.
8. Шимони К. Теоретическая электротехника / К. Шимони. – М. : изд-во «Мир», 1964. – 775 с.
9. Веников В. А. Электрические системы. Том V / В. А. Веников. – М. : «Выш. школа», 1974. – 328 с.
10. Гарновский Н. Н. Теоретические основы электропроводной связи / Н. Н. Гарновский. – М. : гос. изд-во лит. по вопр. связи и радио, 1966. – 692 с.
11. Пухов Г. Е. Дифференциальные спектры и модели / Г. Е. Пухов. – К. : изд-во «Наукова думка», 1990. – 184 с.
12. Перхач В. С. Теоретична електротехніка / В. С. Перхач. – К. : Вища школа, 1992. – 439 с.
13. Ведміцький Ю. Г. Узагальнені електричні схеми-аналогі неперервних динамічних систем довільного порядку / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. – 2010. – Випуск 2. – С. 63 – 69.
14. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло з урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2017. – №2 (58). – С. 29 – 36.
15. Рифкин Дж. Третья промышленная революция. Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом / Дж. Рифкин. – М. : Альпина нон-фикшн, 2014. – 410 с.
16. Богданов А. А. Тектология: всеобщая организационная наука. Кн. 1 / А. А. Богданов. – М. : Экономика, 1989. – 304 с.
17. Карпов Ю. О. ТОЕ. Электромагнитное поле : підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. – Херсон, Україна: ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. – 392 с.

Стаття надійшла до редакції 06.04.2018 р.

Стаття пройшла рецензування 12.04.2018 р.

Ведміцький Юрій Григорович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, e-mail: wjg@ukr.net, teeb@i.ua.

Вінницький національний технічний університет.