

ТЕКТОЛОГІЯ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ І ЯВИЩЕ ГІПЕРСИЛОВОЇ (ГІПЕРВАЛЕНТНОЇ) ВЗАЄМОДІЇ В СТРУКТУРНИХ РІВНЯННЯХ УЗАГАЛЬНЕНОГО КОЛА

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В роботі розкрито сутність виявленого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії між елементарними структурними ланками динамічної системи довільної фізичної природи, що дозволило на прикладі суто електротехнічних систем розв'язати ряд істотних декомпозиційних задач 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, на сьогодні мають найвищий ступінь узагальнення і дедуктивно охоплюють широкі класи електричних кіл та систем – як відомих, так і можливих, що закладає практичну основу для формування і розвитку в теоретичній електротехніці окремого напрямку – структурно-аналітичної узагальненої теорії електротехніки.

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

Abstract

The paper describes the physical phenomenon of hypervalence interaction between the elementary structural links of a dynamic system of an arbitrary physical nature. Using the example of electrotechnical systems, this made it possible to construct a generalized electric circuit with the highest degree of generalization. Among the most important results are the structural topological scheme and the generalized electric circuit equations obtained as a result of the analysis of the Lagrange-Maxwell equations.

Keywords: phenomenon of hypervalence interaction, multidimensional force (hyperforce), generalized electric circuit, dynamical system, topological structure, typical elementary unit, the Lagrange's-Maxwell equations, structural equations of an electric circuit, first and second generalized coordinate system

Передмова

Однією з фундаментальних задач теоретичної електротехніки (ТОЕ) є побудова узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола із зосередженими параметрами.

Успішне розв'язання поставленої задачі розкриває в класичній (Кірхгофовій) електротехніці нові якості і закладає основу для формування і 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 суто електричного (електромагнітного), так і суміщеного фізичного походження.

На рівні постановки задачі концепцію і сутність узагальненого електричного кола зазначено в багатьох роботах, наприклад, в [1] Дж. Кл. Максвелла, в [2] Г. Крона, в [3] Х. Хеппа.

Однак попри неодноразові намагання заявлена задача в минулому розв'язаною не була навіть в своїй основі.

Концептуально повно її не розв'язано і дотепер.

Водночас на сучасному етапі в роботах [4-8] отримано важливі результати, які закладають теоретичний базис і створюють необхідну основу для її успішного вирішення.

Відтак метою роботи є розробка на основі виявленого загально-природничого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії поняття узагальненого електричного кола, а також побудова його структурної схеми та формування на строгій математичній основі структурно визначених диференціальних рівнянь руху такого кола (структурних рівнянь).

1. Загальні зауваження

Побудова *узагальнених абстрагованих систем (надбудов)* з найвищою логічною силою (ступенем узагальнення) в 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 носила зовнішньо-обумовлений 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 їх категоричного неприйняття, аж доки системні і докорінні зміни не відбувалися 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 в процесі розбудови загальної картини Всесвіту [9].

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 і розвиток науки важливими задачами, які хоча і носили зазвичай прикладний характер, але їх розв'язування було неможливим без наявного теоретичного забезпечення, побудованого на основі узагальнених абстрагованих системних надбудов, що приводило до численних практик його застосування, а відтак – і до *визнання*.

Теоретичний базис *класичної електротехніки* (зокрема ТОЕ), як міждисциплінарної (з-поміж фундаментальних) науки, формувався в *схожим умовах*: від накопичення окремих експериментальних фактів, явищ та законів до їх узагальнення з наступним застосуванням отриманих теоретичних надбудов на практиці. Відтак його потужні аналітичні можливості сьогодні дозволяють розв'язувати широкий клас прикладних та теоретичних задач, які постають в процесі суспільно-матеріального виробництва, наприклад, в електроенергетичному сегменті національних та наднаціональних економік.

Однак *закон доцільності історичного розвитку суспільно-економічних формацій* ставить перед суспільствами як окремих розвинених країн, так і їх об'єднань якісно нові задачі і в нових умовах.

У *вузькому* розумінні сутність зазначеного чітко викладена в положеннях концепції *третьої промислової революції* [10], 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 в своїй структурі таким чином, щоб в найпростіший спосіб віддавати надлишки електричної енергії в мережу, або у разі потреби – з тієї ж мережі отримувати необхідне [10]. 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.

В *широкому* ж розумінні (історичному аспекті) вищенаведене не залишає, принаймні у автора, 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 з собою суспільно-економічна формація, побудована на основі *вуглецевої енергетики*, але і жертвою глибоких та жахливих протиріч, конфліктів, криз та війн, які та продукувала і 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*!

Ясна річ, що без *докорінної реструктуризації* суспільно-матеріального виробництва кожної із зазначених країн, їх виробничих сил та відносин жодні якісно-прогресивні зміни будуть неможливими в принципі. Додам, що сказане однаково стосується також і країн, які з тих чи інших причин або доки перебувають на стартових позиціях (назвемо це так), або мають вийти на такі позиції, оскільки іншого в своїй перспективі жодне з суспільств цих країн тривалий час терпіти не буде.

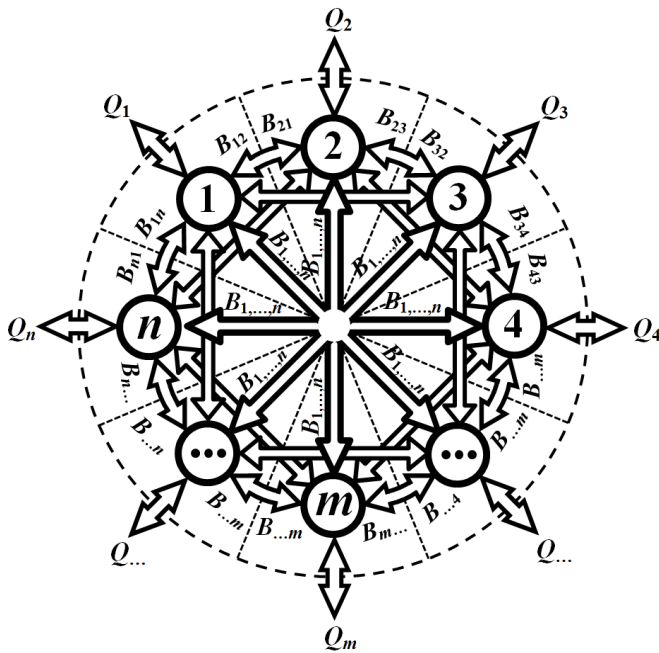


Рис. 1 Структурна схема узагальненої динамічної системи довільної природи з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

Одним з найважливіших базисних елементів в теорії узагальненого електричного кола є його структурна схема, яка водночас відображає склад (тобто множину та властивості структурних елементів), топологію (себто відношення поміж зазначеними структурними елементами як множину їх підмножин, в першу чергу, в фізичному та математичному розуміннях) і тектологію [11] – загальну організаційну основу побудови даної узагальненої абстрагованої системи.

Узагальнене електричне коло з такою структурою розроблене і представлено в роботах [6-8] (рис. 1). Істотною властивістю показаного на рис. 1 узагальненого електричного кола є притаманний йому *найвищий* ступінь узагальнення (логічної сили) з-поміж на сьогодні відомих (рис. 2), а істотною ознакою – наявність *повної топології* в фізичних та математичних відношеннях між його структурними елементами – типовими елементарними ланками, що є феноменологічним виявом загально-природничого явища (наразі фізичного) гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії.

Таким чином, запропонована узагальнена абстрагована система охоплює всю сукупність на сьогодні відомих та можливих (і навіть уявних) окремо взятих електричних кіл, а також підпорядковує собі їх 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 спостерігаються, є загально-природничими і підпорядковуються загальним законам природи, насамперед законам фізики та математики. Тому під час розробки поняття узагальненого електричного кола, варто не забувати важливої і неодноразово доведеної істини (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 реаліям гіпотетико-дедуктивні теоретичні системи*. В свою чергу, останні стануть визнаними як системи з вищим ступенем узагаль-

Переконаний, що і Україна зрештою знайде свій шлях.

Перемог без боротьби не буває.

2. Альтернативна структурна схема узагальненого електричного кола

Таким чином, щоб в майбутньому забезпечувати потреби доки що альтернативної електроенергетики, теоретичний базис електротехніки вже сьогодні має бути якісно реформований і приведений у відповідність до вирішення прийдешніх задач.

В першу чергу це стосується *теорії електричних і магнітних кіл*, оскільки та є найважливішою його складовою і саме тією теорією, яка здатна адекватно відображати енергетичні процеси в електроенергетичних системах за різних режимів їх функціонування.

У зв'язку із вищезазначеним, створення концепції абстрагованого узагальненого електричного кола постає на сучасному етапі розвитку електротехнічної науки як актуальна і першочергова задача.

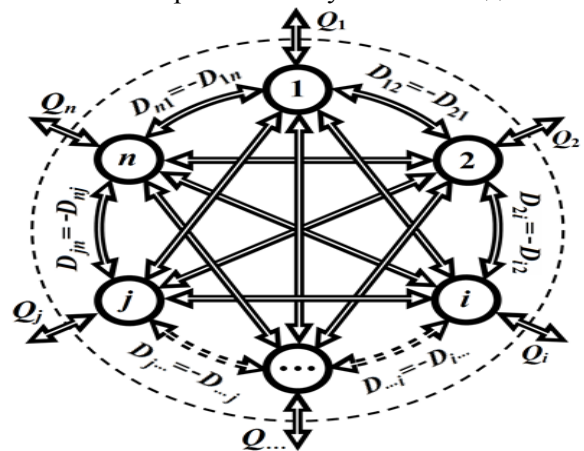


Рис. 2 Структурна схема попарної узагальненої динамічної системи, яка не враховує загально-природничого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

нення (логічної сили) лише у разі, якщо не заперечуватимуть і не спростовуватимуть локальної істинності донедавна панівних узагальнених концепцій, але внаслідок своєї більшої дедуктивної дієздатності у природній спосіб підпорядковуватимуть їх собі.

Попри, на перший погляд, побіжне протиріччя історія науки невблаганно підтверджує істинність цього правила численними фактами. Тому і 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 поодиночі не може бути достатньою. Ні еволюція – без форми, ні революція – без змісту!

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

Так, донедавна найбільш успішна спроба розв'язання означеної задачі була представлена в роботі [4], де автор аналітично побудував і вперше навів *структурні рівняння* узагальненого електричного кола, що, знову ж таки, вперше дозволило сформувати узагальнену структурну (див. рис. 2) та електричні схеми з *надзвичайно високим рівнем узагальнення* і дедуктивним охопленням широких класів електричних кіл [5] – як відомих, так і можливих, що на той час доводило неабияку логічну силу запропонованої системної надбудови.

Однак представлений в [4, 5] розв'язок задачі побудови узагальненого електричного кола зрештою виявився лише частковим з притаманною частковості *недостатньою дедуктивною дієздатністю*, що було розкрито роботами [6, 7].

Основною хибкою запропонованої структури узагальненого електричного кола (див. рис. 2) була помилкова думка, яка, на превеликий жаль, і сьогодні панує в переважній більшості теорій та наукових систем. Сутність її полягає в *виключно бінарному (!) поданні характеру математичних відношень в структурі поміж елементами узагальненої абстрагованої системи*. Виразним прикладом такого підходу є *теорія графів* з її, як відомо, універсальною областю застосування, в якій базисне поняття *графа* виводиться 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*.

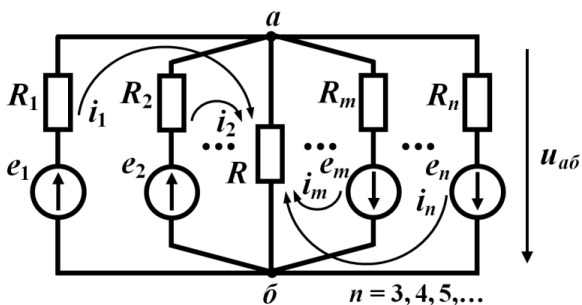


Рис. 3 Прояв явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії на прикладі окремих класів електричних кіл

Відтак бінарний характер фізичних та математичних відношень в структурі узагальненого електричного кола, показано на рис. 2, суттєвим чином послабив його логічну силу, позаяк залишив поза увагою *значно більшу частину* електричних кіл та електротехнічних систем, навіть з числа добре відомих і затребуваних на практиці (рис. 3).

Водночас в роботах [6, 7] було доведено, що вищевказаний недолік є *критичним* і відповідно до сутності вияву загально-природничого явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії без докорінного перегляду принципу встановлення фізичних та математичних відношень між структурними елементами узагальненої системи зазначену недостатність усунути принципово неможливо!

Варто додати, що наведене представлено також і в роботі [8], втім з і дотепер невідомих авторові причин наданий для друку цілісний оригінал-макет цього матеріалу був оприлюднений в чомусь в пошкодженому вигляді.

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

Поняття *сили* як міри взаємодії глибоко пронизує фундамент усієї науки і має надзвичайно важливе методологічне значення. З цим поняттям невід'ємно пов'язана більшість явищ і процесів, які виокремлені і 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 складовими системи є найменші і структурно неподільні типові елементарні ланки, кожна з яких здатна взаємодіяти з іншими та утворювати не тільки попарні, але і *гіперсилової (гіпервалентні) зв'язки* (див. рис. 1). На рисунку показані всі внутрішні сили, які з'являються або можуть з'являтися в системі під час її руху внаслідок гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії поміж її ланками. Цим силам притаманний *різний порядок вимірності!*

Відтак багатовимірними внутрішніми силами взаємодії (або гіперсилами) в динамічній системі будемо називати всі k -вимірні внутрішні сили або їх рівнодійні за умови, що $2 \leq k \leq n$.

Таким чином, *явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії* – це 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) 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.

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 всіма типовими елементарними ланками системи буде дорівнювати

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

в той час, як для узагальненого електричного кола, представленого в роботах [4, 5], де враховані тільки *двовимірні* (або *попарні*) внутрішні сили взаємодії $k = 2$ (див. рис. 2), така кількість є *суттєво меншою* і дорівнює лише одній із груп складових формули (1), а саме

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

Для складних систем електричних кіл з багатьма ступенями вільності значення біноміального коефіцієнта (2) в порівнянні з 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 ряд в формулі (3) доволі *швидко розходиться*. 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 за схемою рис. 2, лише за *малих значень* n , тобто в простих динамічних системах з малим значенням числа ступенів їх вільності.

Узагальненість електричного кола вимагає *найвищу ступінь зв'язності* кожної з його n типових елементарних ланок в 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 з 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 в роботах [4, 5] (див. рис. 2), тобто для систем *попарної взаємодії*, всі можливі комбінаторні сполучення будь-якої окремої ланки обмежені тільки числом $k = 2$ і їх 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 із зосередженими параметрами – це найменша і структурно неподільна її частина, енергетичний стан якої за умови відсутності силової взаємодії (обмінну енергією) з іншими такими ж ланками залежить тільки від однієї (власної) узагальненої координати і узагальненої швидкості (узагальненого імпульсу), а у разі взаємодії – ще і від узагальнених координат та швидкостей відповідних суміжних взаємодіючих ланок.

Зміна енергетичного стану типової елементарної ланки відбувається внаслідок її руху під дією зовнішніх та 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 визначається поточними значеннями її узагальненої координати та узагальненої швидкості (або узагальненого імпульсу) відносно обраної актуальною координатної системи.

Для електричних кіл в *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 у разі зовнішньої дії.

В *другій системі* узагальнених координат типовими елементарними ланками є *незалежні вузлові пари*, узагальненими швидкостями – *напруги* поміж вузлами зазначених пар, їх *інтеграли* (або *магнітні потокозчеплення*) визначають узагальнені координати, а *електричні заряди* суть 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 їх фізичної природи, може бути представлена уніфіковано – поділеною на взаємодіючі поміж собою типові елементарні ланки.

Оскільки кожна з таких ланок біективно (взаємно-однозначно) співвідноситься з власними узагальненою координатою та узагальненою швидкістю (або узагальненим імпульсом), то їх кількість строго регламентована і 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) В *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) Загальна енергія магнітного поля W_m електричного кола визначається як сукупна енергія всіх магнітних полів індуктивних елементів, які входять до складу цього кола [12]. Отже, для енергетичної функції W_m з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії маємо [6-8]:

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

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 дорівнює сумі енергій всіх електричних полів створених в ємнісних елементах, які входять до складу узагальненого кола [6-8, 12],

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

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

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

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

4) Електрична дисипативна функція Релея Φ_e визначається як половина миттєвих потужностей всіх втрат електричної енергії, що спостерігаються в колі.

Отож, врахувавши явище гіпервалентної взаємодії, для узагальненого кола запишемо [6-8]

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

де R_{s_1, \dots, s_ν} – це 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). Після перегрупування складових багаторазових сум рівняння руху узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених електричних координат остаточно набувають такого вигляду:

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

В рівняннях (12) в алгебраїчних сумах, позначених дужками, знак “+” має бути перед тими контурними струмами (зарядами), напрямком яких через взаємні елементи збігається з додатним напрямком контурного струму i_m (q_m), а перед іншими складовими потрібно ставити знак “-”.

Отримані рівняння (12) безпосередньо відображають склад, топологію та тектологію узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола із зосередженими параметрами. Надалі називатимемо їх *структурними рівняннями* узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених електричних координат.

Додамо, що стосовно заданої системи координат система структурних рівнянь (12) узагальненого електричного кола, як і його узагальнена структурна схема (див. рис. 1), є на сьогодні логічно найсильнішою і дедуктивно охоплює найширший клас електричних кіл, оскільки отримана з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії. Зазначений базисний елемент дедуктивно підпорядковує собі запропоновану в роботах [4, 5] систему відповідних рис. 2 структурних рівнянь

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

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, необхідно скористатися *рівняннями Лагранжа-Максвелла*, але записаними в *другій системі* узагальнених електричних координат

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

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

Відповідно до вищенаведеної методики на підставі (14) неважко отримати рівняння узагальненого електричного кола в другій системі координат. В цьому випадку структурні рівняння узагальненого електричного кола мають вигляд

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

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 в другій системі узагальнених координат.

З іншого ж боку, рівняння, запропоновані в роботах [4, 5],

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

які описують еволюцію динамічної системи, показаної на рис. 2, є лише окремим виявом отриманих структурних рівнянь (15).

Висновки

В роботі описано виявлене загально-природниче явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, врахування якого дозволило на основі математичного дослідження та аналізу рівнянь Лагранжа-Максвелла побудувати узагальнене за числом ступенів вільності електричне коло з найвищим з-поміж відомих ступенем узагальнення, а також сформувати його узагальнену структурну схему та отримати структурно визначену систему його диференціальних рівнянь руху в першій і другій системах узагальнених електричних координат.

Отримані результати мають як спеціально-технічне, так і загально-природниче значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Максвелл Дж. К. Трактат об электричестве и магнетизме : в 2 т. / Дж. К. Максвелл. — М. : Наука, 1989 — . — Т. 1. — 417 с.; Т. 2. — 437 с.
2. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / Г. Крон. — М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1972. — 544 с.
3. Хэпп Х. Диакоптика и электрические цепи / Х. Хэпп. — М. : изд-во «Мир», 1974. — 343 с.
4. 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.
5. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : монографія / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 196 с.
6. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло з урахуванням фізичного явища гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький. — №2(58). — 2017. — С. 29-36.
7. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло і фізичне явище гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2016. — Випуск 4. — С. 207-213.
8. Ведміцький Ю. Г. Тектологія динамічних систем і явище гіпервалентної взаємодії в структурних рівняннях узагальненого кола / Ю. Г. Ведміцький // Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2017) : IV Міжнародна наукова конференція пам'яті професора В. Поджаренка, 31 жовтня - 02 листопада 2017 р., Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, Україна : тези доп. — С. 38-39. — Вінниця: ПП «ГД «Едельвейс і К»», 2017.
9. Лейзер Д. Создавая картину Вселенной / Д. Лейзер. — М. : «Мир», 1988. — 324 с.
10. Рифкин Дж. Третья промышленная революция. Как горизонтальные взаимодействия меняют энергетику, экономику и мир в целом / Джереми Рифкин; пер. с англ. — М. : Альпина нон-шн, 2014.
11. Богданов А. А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). В 2-х кн. : Кн. 1 / А. А. Богданов. — М. : Экономика, 1989. — 304 с.
12. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле : підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. — 392 с.

Юрій Григорович Ведміцький — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, wjg@ukr.net

Yurii G. Vedmitskyi — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of Department of Theoretical Electrical Engineering and Electrical Measurements, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, wjg@ukr.net