

СУБПОТЕНЦІАЛЬНІ ТА НАДІНЕРЦІЙНІ ГІПЕРВАЛЕНТНІ СИЛИ В СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГІЧНИХ РІВНЯННЯХ ДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

Найпотаємніше зазвичай виявляє себе в неймовірному і тільки з часом, набувши статусу очевидного, знову приваблює до себе прихованими в очевидному та ще нерозпізнаними в неймовірному таємницями... В роботі на підставі подальшого узагальнення отриманих автором структурно-топологічних рівнянь гіперзв'язних динамічних систем висунуто гіпотезу про існування допоки ще невиявлених в матеріальному світі силових взаємодій субпотенціальної та надінерційної природи.

Ключові слова: динамічні системи, типові елементарні ланки, рух, узагальнене електричне коло, структурно-топологічні рівняння, фізичне явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, субпотенціальні та надінерційні сили

Abstract

The most secret usually reveals itself in the incredible and only with time, having acquired the status of the obvious, again attracts hidden in the obvious and still unrecognized in the incredible secrets ... On the basis of further generalization of the structural-topological equations of hyperconnected dynamical systems obtained by the author, the hypothesis of the existence of force interactions of subpotential and supra-inertial nature not yet discovered in the material world is put forward.

Keywords: dynamic systems, typical elementary links, movement, generalized electric circuit, structural-topological equations, physical phenomenon of hyperforces (hypervalent) interaction, subpotential and supra-inertial forces

Передмова

Найпотаємніше зазвичай виявляє себе в неймовірному і тільки з часом, набувши статусу очевидного, знову приваблює до себе прихованими в очевидному та ще нерозпізнаними в неймовірному таємницями...

Тож чи потрібні слова, коли є математика? І чи достатні формули, коли народжується зміст...

Вступ

Структурно-топологічні рівняння зосереджених (дискретних) континуальних у часі динамічних систем, отриманих автором на основі дослідження структури рівнянь Лагранжа та рівнянь Лагранжа-Максвелла, були виписані для систем електричного походження – узагальнених електричних кіл в першій (типу «сила-напруга») та другій (типу «сила-струм») системах узагальнених координат.

В первісному відображенні для лінійних або лінеаризованих систем ці рівняння мали вигляд:

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

для першої системи узагальнених координат і

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

для другої.

Варто зазначити, що системи рівнянь (1) і (2) за своєю логічною (дедуктивною) силою охоплюють широкий клас електричних кіл, проте лише тільки тих, котрим властива бінарна силова взаємодія між типовими елементарними ланками, що утворюють динамічну систему. Наразі – електричної природи. Узагальнена структурна таких систем показана на рис. 1, а.

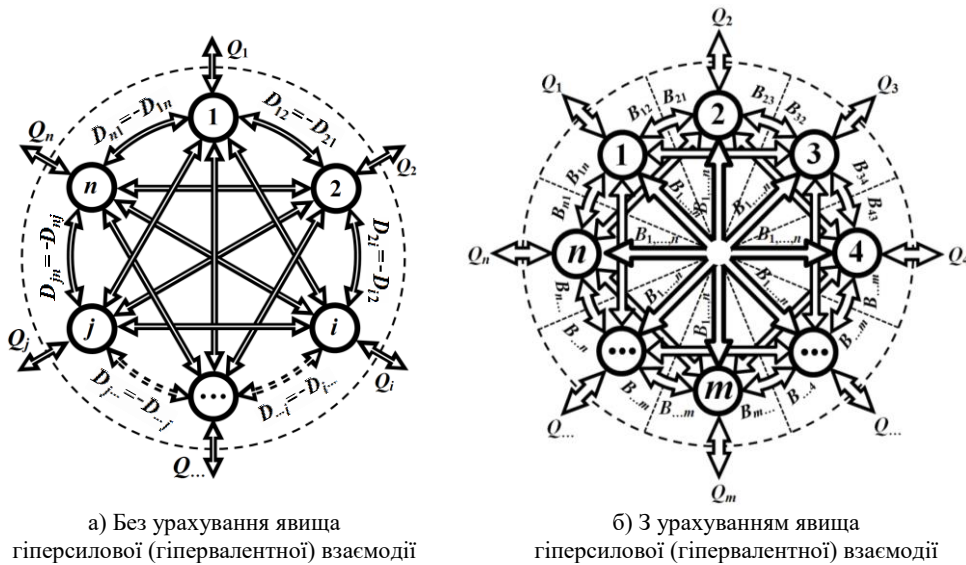


Рис. 1. Структурна схема узагальненої динамічної системи з довільним числом n ступенів вільності

Водночас за результатами більш поглибленого математичного дослідження рівнянь Лагранжа-Максвелла, виписаних в першій та другій системах узагальнених координат у відношенні узагальнених електричних кіл, та проведення порівняльного аналізу структур цих рівнянь з топологіями окремих відомих класів електричних кіл, які не підпорядковувалися рівнянням (1) або (2), було отримано якісно нову і більш узагальнену форму структурно-топологічних рівнянь динамічних систем, яка на прикладі узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених координат має вигляд:

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

Відтак рівняння (3) є узагальненою формою рівнянь (1) та (2) і дедуктивно підпорядковують собі останні. Зокрема неважко помітити, що рівняння (1) є лише окремим випадком (виявом) системи (3).

Фізична інтерпретація і рівнянь (1), і рівнянь (3), де за силу слугує напруга, а параметрами руху, себто зміни стану: зміщення, швидкості і прискорення, є відповідно кількість електричного заряду, сила струму та його похідна за часом, виявляє в цих рівняннях цілком конкретний і безпосередній зміст. Настільки ж очевидний, як і доволі конкретний, позаяк структурно-топологічні рівняння з одного боку відображають сутність, розподіл і характер силового поля, в якому перебувають як кожна із структурних ланок системи окремо, так і власне система в цілому, а з іншого – сутність і характер руху самої системи та її ланок (незалежних контурів) внаслідок зовнішньої силової дії (активних сил (е.р.с.)), силової взаємодії ланок поміж собою (пасивних сил) і виявів властивостей цих ланок (через параметри елементів) в заданих умовах руху та дії активних та пасивних сил водночас.

Зазначене структурно-топологічні рівняння в математичній формі впорядковують і узгоджують з топологічною структурою самої динамічної системи.

На рис. 1, б показана узагальнена структурна схема динамічних систем, яка відповідає системі структурно-топологічних рівнянь (3).

Істотно важливим (!) в рівняннях (3) порівняно з рівняннями (1) або (2) є те, що поряд з відомою бінарною взаємодією у математичний спосіб ці рівняння виявляють якісно нову сутність – незалежну

багатовимірну взаємодію поміж типовими елементарними ланками, яка з'являється або може з'явитися за певних умов під час руху системи і яку тільки в окремих випадках можна виразити через математичну комбінацію бінарних взаємодій.

Таку за характером силову взаємодію автор назвав *гіперсилою* (або *гіпервалентною силою*), а власне фізичне явище, пов'язане з виявом такої силової дії, – *явищем гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії*.

В другій системі узагальнених координат (типу «сила-струм») структурно-топологічні рівняння, виписані відносно динамічних систем електричної природи з урахуванням фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, мають вигляд:

$$\begin{aligned} & \left(C_m \frac{d u_m}{dt} + G_m u_m + \frac{\psi_m}{L_m} \right) + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[C_{m,s_1} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1}) + G_{m,s_1} (u_m \pm u_{s_1}) + \frac{\psi_m \pm \psi_{s_1}}{L_{m,s_1}} \right] + \\ & + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \left[C_{m,s_1,s_2} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2}) + G_{m,s_1,s_2} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2}) + \frac{\psi_m \pm \psi_{s_1} \pm \psi_{s_2}}{L_{m,s_1,s_2}} \right] + \\ & + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \left[C_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}} \frac{d}{dt} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2} \pm \dots \pm u_{s_{n-1}}) + \right. \\ & \left. + G_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}} (u_m \pm u_{s_1} \pm u_{s_2} \pm \dots \pm u_{s_{n-1}}) + \frac{\psi_m \pm \psi_{s_1} \pm \psi_{s_2} \pm \dots \pm \psi_{s_{n-1}}}{L_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}}} \right] = J_m, \quad m = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (4)$$

Отже, отримані для узагальненого електричного кола рівняння (3) і (4) на сьогодні з-поміж структурно-топологічних рівнянь є найбільш узагальненою формою і структурно охоплюють широкий клас зосереджених динамічних систем, незалежно від фізичної природи останніх.

Водночас подальше поглиблене дослідження загально-природничої сутності структурно-топологічних рівнянь динамічних систем, закономірностей їх фізичного вияву, які ці рівняння описують або мають описувати, зрештою *відсутність симетрії* (!) в самій структурі рівнянь, а відтак – і в структурі абстрагованих узагальнених систем, наприклад, узагальненого електричного кола, породжують невдоволеність у сприйнятті остаточного результату та відчуття відсутності гармонії і довершеності у відношенні самих рівнянь.

Тому в 2020 році автор зробив наступний крок...

Субпотенціальні та надінерційні сили з урахуванням явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії. Гіпотеза

Аналізуючи структурно-топологічні рівняння неважко помітити, що і в рівняннях (1) та (2) бінарних динамічних систем, і в структурно-топологічних рівняннях (3) та (4) гіперзв'язних систем присутні лише три різновиди дії пасивних сил, а саме:

- 1) потенціальних;
- 2) дисипативних;
- 3) інерційних.

В першій системі узагальнених координат *потенціальні сили* в структурно-топологічних рівняннях присутні у вигляді напруг на ємностях типових елементарних ланок – як власних $\left(\frac{q_m}{C_m} \right)$, так і взаємних

$\left(\frac{q_m \pm q_{s_1} \pm \dots}{C_{m,s_1,\dots}} \right)$. Виявляють себе ці сили за умови наявності (!) відповідних властивостей з боку типових елементарних ланок, себто кінцевих значень параметрів самих ємностей C_m та $C_{m,s_1,\dots}$. У разі порушення цієї умови відповідні потенціальні сили дорівнює нулю. Це не єдина з можливих умов відсутності вияву потенціальної сили під час еволюції системи, але достатня.

Дисипативні сили в структурно-топологічних рівняннях присутні у вигляді спадів напруг на власних $\left(R_m \dot{i}_m = R_m \frac{dq_m}{dt} \right)$ та взаємних $\left(R_{m,s_1,\dots} (i_m \pm i_{s_1} \pm \dots) = R_{m,s_1,\dots} \frac{d}{dt} (q_m \pm q_{s_1} \pm \dots) \right)$ активних опорах з можливістю виявляти себе за умови відповідної наявності (!) властивості з боку типових елементарних ланок – відмінних від нуля значень R_m та $R_{m,s_1,\dots}$.

Інерційність типових елементарних ланок виявляє себе у вигляді їх супротиву зміні абсолютних або (та) відносних швидкостей, тому у разі наявності (!) в таких ланках відповідних властивостей (власних L_m або взаємних $L_{m,s_1,\dots}$ індуктивностей) *інерційні сили* в структурно-топологічних рівняннях першої системи узагальнених координат є присутніми і виключно на індуктивних елементах – як власних $\left(L_m \dot{i}_m = L_m \frac{d^2 q_m}{dt^2} \right)$, так і взаємних $\left(L_{m,s_1,\dots} \frac{d}{dt} (i_m \pm i_{s_1} \pm \dots) = L_{m,s_1,\dots} \frac{d^2}{dt^2} (q_m \pm q_{s_1} \pm \dots) \right)$.

Наведене вище не може не наитовхнути на думку про можливий більш складний характер силової взаємодії поміж типовими елементарними ланками у разі наявності в них відповідних, але ще невідомих фізичних властивостей, а відтак – і можливість фізичного існування в природі субпотенціальних та надінерційних сил!

За такої інтерпретації силової взаємодії *структурно-топологічні рівняння* для динамічних систем електричної природи в *першій системі* узагальнених координат набувають вигляду

$$\begin{aligned} & \sum_{v=-\infty}^{+\infty} B_m^v \frac{d^v q_m}{dt^v} + \\ & + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[\sum_{v=-\infty}^{+\infty} B_{m,s_1}^v \frac{d^v}{dt^v} (q_m \pm q_{s_1}) \right] + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \left[\sum_{v=-\infty}^{+\infty} B_{m,s_1,s_2}^v \frac{d^v}{dt^v} (q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2}) \right] + \\ & + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \left[\sum_{v=-\infty}^{+\infty} B_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}}^v \frac{d^v}{dt^v} (q_m \pm q_{s_1} \pm q_{s_2} \pm \dots \pm q_{s_{n-1}}) \right] = e_m, \quad m = 1, 2, \dots, n, \end{aligned} \quad (5)$$

а в *другій* –

$$\begin{aligned} & \sum_{v=-\infty}^{+\infty} D_m^v \frac{d^v \psi_m}{dt^v} + \\ & + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^n \left[\sum_{v=-\infty}^{+\infty} D_{m,s_1}^v \frac{d^v}{dt^v} (\psi_m \pm \psi_{s_1}) \right] + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^{n-1} \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^n \left[\sum_{v=-\infty}^{+\infty} D_{m,s_1,s_2}^v \frac{d^v}{dt^v} (\psi_m \pm \psi_{s_1} \pm \psi_{s_2}) \right] + \\ & + \dots + \sum_{\substack{s_1=1 \\ s_1 \neq m}}^2 \sum_{\substack{s_2=s_1+1 \\ s_2 \neq m}}^3 \dots \sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1 \\ s_{n-1} \neq m}}^n \left[\sum_{v=-\infty}^{+\infty} D_{m,s_1,s_2,\dots,s_{n-1}}^v \frac{d^v}{dt^v} (\psi_m \pm \psi_{s_1} \pm \psi_{s_2} \pm \dots \pm \psi_{s_{n-1}}) \right] = J_m, \quad m = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (6)$$

Таким чином, в контексті зазначеного *субпотенціальними силами* називатимемо всі силові взаємодії $B_m^v \frac{d^v q_m}{dt^v}$ та $B_{m,s_1,\dots}^v \frac{d^v}{dt^v} (q_m \pm q_{s_1} \pm \dots)$ або $D_m^v \frac{d^v \psi_m}{dt^v}$ та $D_{m,s_1,\dots}^v \frac{d^v}{dt^v} (\psi_m \pm \psi_{s_1} \pm \dots)$, для яких параметр $v < 0$ (!), а *надінерційними силами* – якщо $v \geq 3$ (!).

Для потенціальних, дисипативних та інерційних сил цей параметр відповідно дорівнює $v = 0$, $v = 1$, $v = 2$.

Варто зазначити, що наведені рівняння водночас враховують і вияв фізичного явища гіперсилової (гіперволентної) взаємодії поміж типовими елементарними ланками динамічних систем.

Ризикну зауважити, що у разі підтвердження в майбутньому істинності гіпотези про існування субпотенціальних та надінерційних сил структурно-топологічні рівняння (5) та (6) постануть як перша математична форма відображення нового фізичного принципу – *принципу субпотенціальної та надінерційної гіперсилової взаємодії* поміж структурно-топологічними елементами зосереджених динамічних систем не тільки електричної, але і довільної фізичної природи.

Наведені рівняння мають *найвищу логічну силу* і *дедуктивно підпорядковують собі всі інші форми структурно-топологічних рівнянь*, виявляючи себе в них за окремих умов. Ці рівняння здатні в індуктивний спосіб розв'язувати як задачі теоретичної та прикладної електротехніки, так окремі задачі фундаментальної науки, відповідаючи на відвічні питання, пов'язані з природою сили, енергії, імпульсу, руху, простору та часу.

Наприкінці варто зазначити, що результати роботи, які пов'язані зі створенням авторської теорії узагальненого електричного кола, дослідженням фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії та побудовою принципу субпотенціальної та надінерційної гіперсилової взаємодії в динамічних системах представлені численними науковими доповідями та публікаціями, з-поміж яких і такі: [1-14].

Висновки

В роботі викладено основні положення авторської теорії узагальненого електричного кола, її істотні базисні елементи, в обидвох системах узагальнених координат наведені структурно-топологічні рівняння узагальненого електричного кола з урахуванням виявленого фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, побудовані узагальнені структурні схеми динамічних систем, а також висунуто гіпотезу про існування субпотенціальних та надінерційних сил, сформульовано принцип субпотенціальної та надінерційної гіперсилової взаємодії між типовими елементарними ланками в динамічних системах і з урахуванням зазначеного принципу представлено структурно-топологічні рівняння зосереджених динамічних систем. Результати мають важливе як спеціально-технічне, так і загально-методологічне значення, оскільки дозволяють проводити дослідження еволюції динамічних систем на основі дедуктивного підходу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 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.
2. Ведміцький Ю. Г. Тектологія динамічних систем і явище гіперсилової взаємодії в структурних рівняннях узагальненого електричного кола / Ю. Г. Ведміцький // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. — 2018. — №2. — С. 1-11. — Режим доступу: <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/547/532>
3. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло і фізичне явище гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2016. — Випуск 4. — С. 207-213.
4. 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.
5. Ведміцький Ю. Г. Топологічна структура та рівняння руху гіперзв'язаного узагальненого електричного кола / Ю. Г. Ведміцький // X Міжнародна науково-практична конференція “Інтегровані інтелектуальні робо технічні комплекси” (ІРТК-2017). — С. 128-130. — К. : НАУ, 2017. — 314 с.
6. Ведміцький Ю. Г. Рівняння руху узагальненого електричного кола з урахуванням явища гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // XIII Міжнародна науково-технічна конференція “AVIA-2017”. — С. 4.4-4.8. — Режим доступу: https://avia.nau.edu.ua/doc/avia-2017/AVIA_2017.pdf
7. Ведміцький Ю. Г. Диференціальні рівняння мікромеханічних акселерометрів серії ADXL (xxx) компанії Analog Devices на основі їх уточнених електричних та математичних моделей / Ю. Г. Ведміцький // XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 27-28 квітня 2020. — Режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/28770/8946.pdf>
8. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції електротехнічних комплексів та систем на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій / Ю. Г. Ведміцький. — Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. — 2013. — 22 с.
9. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : монографія / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 196 с.
10. Ведміцький Ю. Г. Рівняння Лагранжа як основа теорії перетворювачів моменту інерції / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. — 2005. — №3/2005 (32). — С. 89-91.
11. Ведміцький Ю. Г. Елементи теорії електродинамічного моделювання вимірювального перетворення і контролю моменту інерції. Проблематика, динамічні аналогії та принцип дуальності /

Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Вінницького політехнічного інституту. — 2008. — №5 (80). — С. 25-30.

12. Ведміцький Ю. Г. До питання розв'язку проблеми систематизації математичних моделей і методів перетворення моменту інерції. Огляд та перспектива / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. — 2006. — №3/2006 (38), Частина 1. — С. 130-133.

13. Ведміцький Ю. Г. Узагальнений перетворювач моменту інерції / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. — 2008. — №3/2008 (50), Частина 1. — С. 113-118.

14. Ведміцький Ю. Г. Вимірвальне перетворення і контроль моменту інерції механічних та електромеханічних систем в процесі їх експлуатації. Теорія і практика / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Хмельницького національного університету. — 2008. — №4(113). — С. 47-55.

Юрій Григорович Ведміцький — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри теоретичної електротехніки та електричних вимірювань, ВНТУ, 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