УДК 621.3

Ю. Г. Ведміцький

ОПЕРАТОРНА ФОРМА СТРУКТУРНО-ТОПОЛОГІЧНИХ РІВНЯНЬ В ПЕРШІЙ СИСТЕМІ УЗАГАЛЬНЕНИХ КООРДИНАТ З УРАХУВАННЯМ ЯВИЩА ГІПЕРСИЛОВОЇ ВЗАЄМОДІЇ

Вінницький національний технічний університет

Анотація

В контексті авторської теорії узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених координат представлено операторну форму структурно-топологічних рівнянь динамічних систем зі структурою, яка математично розкриває характер структурних відношень між елементами в дискретному топологічному просторі, побудованому відносно зосереджених динамічних систем довільної фізичної, технічної або соціальної природи, де елементами є типові елементарні ланки цих систем, наразі – з урахуванням виявленого фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії поміж ними. Структурно-топологічні рівняння динамічних систем були отримані автором на основі математичного дослідження структури рівнянь Ланграншa та рівнянь Лагранжа-Максвела.

Ключові слова: рівняння Лагранжа, рівняння Лагранжа-Максвела, структурно-топологічні рівняння зосереджених динамічних систем, типові елементарні ланки, силова взаємодія, фізичне явище гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії, рух та параметри руху, узагальнене електричне коло, перша та друга системи узагальнених електродинамічних координат

Abstract

In the context of the author's theory of the generalized electric circuit in the first system of generalized coordinates the operator form of structural-topological equations of dynamic systems is presented. The structure of these equations mathematically reveals the nature of structural relations in a discrete topological space constructed with respect to lumped dynamic systems of arbitrary physical, technical, or social nature, where the elements are typical elementary units of these systems. In this case - taking into account the detected physical phenomenon of hyperforce (hypervalent) interaction between them. Structural-topological equations of dynamical systems were obtained by the author on the basis of a mathematical study of the structure of Lagrange equations and Lagrange-Maxwell equations.

Keywords: Lagrange equation, Lagrange-Maxwell equation, structural-topological equations of lumped dynamical systems, typical elementary units, force interaction, physical phenomenon of hyperforce (hypervalent) interaction, motion and motion parameters, generalized electric circuit, the first and second systems of generalized electrodynamic coordinates

Вступ

Побудова узагальнених абстрагованих систем, яким притаманна найвища логічна сила, в поєднанні з практичною діяльністю є основою формування філософських, теоретичних і прикладних засад науки і техніки, їх окремих галузей – теоретичної та загальної електротехніки зокрема.

Теоретичний базис *класичної електротехніки,* 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 [1-5]. І хоча його аналітичні можливості є настільки потужними, що дозволяють розв'язувати широкий клас прикладних і теоретичних задач, які постають в процесі суспільно-матеріального виробництва, наприклад, в електроенергетичному сегменті національних та наднаціональних економік, однак в умовах реалій сьогодення побудова *узагальненого за числом ступенів вільності електричного кола* із зосередженими параметрами є однією з чи не найважливіших задач сучасної теоретичної електротехніки.

Успішне розв'язання поставленої задачі розкриває в класичній електротехніці нові якості і формує основу для створення і розвитку в ній окремого напрямку, істотною ознакою якого є здатність на дедуктивній основі *формалізувати* процес математичної, фізичної та технічної ідентифікації континуальних у часі однорідних або змішаних за своєю природою фізичних і технічних динамічних систем як суто електричного (електромагнітного), так і суміщеного походження.

На рівні постановки задачі концепцію і сутність *узагальненого електричного кола* зазначено в багатьох роботах, наприклад, в [6] Дж. Кл. Максвела, в [7] Г. Крона, в [8] Х. Хеппа.

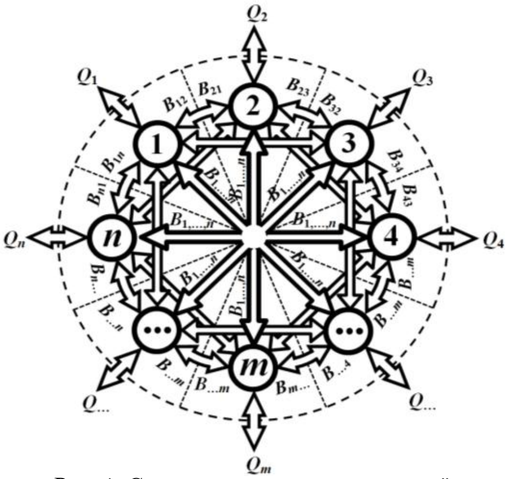

Рис. 1. Структурна схема узагальненої динамічної системи з довільним числом n ступенів вільності з урахуванням явища гіперсилової (гipервалентної) взаємодії

Однак попри неодноразові намагання заявлена задача в минулому розв'язаною не була навіть в свої основі. Концептуально повно її не розв'язано і дотепер.

Водночас на сучасному етапі в роботах [9-17] отримано важливі результати, які закладають теоретичний базис і створюють основу для її успішного вирішення.

Зазначений в заголовку і наведений нижче матеріал є продовженням розвитку авторської *теорії узагальненого електричного кола*, де одним з найважливіших базисних елементів є *система структурно-топологічних рівнянь*, отриманих в зазначеній теорії на підставі математичного дослідження структури рівнянь рівнянь Лагранжа та Лагранжа-Максвела, записаних для ідентифікації еволюційного руху динамічних систем механічної та електричної природи відповідно [9-22].

Структурно-топологічні рівняння в математичній формі розкривають характер фундаментальних особливостей архітектурної побудови та структурних відношень дискретного топологічного простору, в якому окремими елементами є типові елементарні ланки зосереджених динамічних систем довільної фізичної, технічної або соціальної природи. Наразі – електротехнічної.

1. Структурно-топологічні рівняння зосереджених динамічних систем на прикладі узагальненого електричного кола в першій системі узагальнених координат (типу «сила-напруга») з урахуванням фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії

В наявній роботі за основу узяті структурно-топологічні рівняння, записані в першій системі узагальнених електродинамічних координат – координат типу «сила-напруга»

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

Варто зазначити, що система рівнянь (1) описує еволюцію узагальненого електричного кола *з урахуванням виявленого фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії* поміж типовими елементарними ланками. Вона є за логічною силою на сьогодні найбільш загальною формою структурно-топологічних рівнянь, отриманою автором і описаною в роботах [10-15].

Узагальнена структурна схема таких динамічних систем наведена на рис. 1.

2. Операторна форма структурно-топологічних рівнянь

Важливим методом дослідження еволюції динамічних систем є *операторний метод*, в основу якого покладено *інтегральне перетворення Фур'є* [2]:

$$L\left\{i(t)\right\}=\int_0^\infty i(t)e^{-pt}\,dt=I(p). \tag{2}$$

Тому для побудови *операторної форми* структурно-топологічних рівнянь (1) зосереджених динамічних систем на підставі інтегрального перетворення (2) визначимо *зображення* усіх складових в рівняннях системи (1):

$$\begin{aligned}&L\left\{L_m\frac{di_m}{dt}+R_m i_m+\frac{q_m}{C_m}\right\}=\int_0^\infty\left(L_m\frac{di_m}{dt}+R_m i_m+\frac{1}{C_m}\int i_m\,dt\right)e^{-pt}\,dt=\\&=\left(R_m+pL_m+\frac{1}{pC_m}\right)I_m(p)-L_m i_m(0)+\frac{u_{C_m}(0)}{p}=Z_m(p)I_m(p)-F_m(p),\end{aligned} \tag{3}$$

де $Z_m(p)=R_m+pL_m+\dfrac{1}{pC_m}$; $F_m(p)=L_m i_m(0)-\dfrac{u_{C_m}(0)}{p}$;

$$\begin{aligned}&L\left\{\sum_{\substack{s_1=1\\s_1\neq m}}^{n}\left[L_{m,s_1}\frac{d}{dt}\left(i_m\pm i_{s_1}\right)+R_{m,s_1}\left(i_m\pm i_{s_1}\right)+\frac{q_m\pm q_{s_1}}{C_{m,s_1}}\right]\right\}=\\&=\int_0^\infty\sum_{\substack{s_1=1\\s_1\neq m}}^{n}\left[L_{m,s_1}\frac{d}{dt}\left(i_m\pm i_{s_1}\right)+R_{m,s_1}\left(i_m\pm i_{s_1}\right)+\frac{1}{C_{m,s_1}}\int\left(i_m\pm i_{s_1}\right)dt\right]e^{-pt}\,dt=\\&=\sum_{\substack{s_1=1\\s_1\neq m}}^{n}\left(R_{m,s_1}+pL_{m,s_1}+\frac{1}{pC_{m,s_1}}\right)\left[I_m(p)\pm I_{s_1}(p)\right]-L_{m,s_1}\left[i_m(0)\pm i_{s_1}(0)\right]+\frac{u_{C_{m,s_1}}(0)}{p}=\\&=\sum_{\substack{s_1=1\\s_1\neq m}}^{n}Z_{m,s_1}(p)\left[I_m(p)\pm I_{s_1}(p)\right]-F_{m,s_1}(p),\end{aligned} \tag{4}$$

де $Z_{m,s_1}(p)=R_{m,s_1}+pL_{m,s_1}+\dfrac{1}{pC_{m,s_1}}$; $F_{m,s_1}(p)=L_{m,s_1}\left[i_m(0)\pm i_{s_1}(0)\right]-\dfrac{u_{C_{m,s_1}}(0)}{p}$;

$$\begin{aligned}&L\left\{\sum_{\substack{s_1=1\\s_1\neq m}}^{n-1}\sum_{\substack{s_2=s_1+1\\s_2\neq m}}^{n}\left[L_{m,s_1,s_2}\frac{d}{dt}\left(i_m\pm i_{s_1}\pm i_{s_2}\right)+R_{m,s_1,s_2}\left(i_m\pm i_{s_1}\pm i_{s_2}\right)+\frac{q_m\pm q_{s_1}\pm q_{s_2}}{C_{m,s_1,s_2}}\right]\right\}=\\&=\int_0^\infty\sum_{\substack{s_1=1\\s_1\neq m}}^{n-1}\sum_{\substack{s_2=s_1+1\\s_2\neq m}}^{n}\left[L_{m,s_1,s_2}\frac{d}{dt}\left(i_m\pm i_{s_1}\pm i_{s_2}\right)+R_{m,s_1,s_2}\left(i_m\pm i_{s_1}\pm i_{s_2}\right)+\frac{1}{C_{m,s_1,s_2}}\int\left(i_m\pm i_{s_1}\pm i_{s_2}\right)dt\right]e^{-pt}\,dt=\\&=\sum_{\substack{s_1=1\\s_1\neq m}}^{n-1}\sum_{\substack{s_2=s_1+1\\s_2\neq m}}^{n}\left(R_{m,s_1,s_2}+pL_{m,s_1,s_2}+\frac{1}{pC_{m,s_1,s_2}}\right)\left[I_m(p)\pm I_{s_1}(p)\pm I_{s_2}(p)\right]-L_{m,s_1,s_2}\left[i_m(0)\pm i_{s_1}(0)\pm i_{s_2}(0)\right]+\\&+\frac{u_{C_{m,s_1,s_2}}(0)}{p}=\sum_{\substack{s_1=1\\s_1\neq m}}^{n-1}\sum_{\substack{s_2=s_1+1\\s_2\neq m}}^{n}Z_{m,s_1,s_2}(p)\left[I_m(p)\pm I_{s_1}(p)\pm I_{s_2}(p)\right]-F_{m,s_1,s_2}(p),\end{aligned} \tag{5}$$

де

$$Z_{m,s_1,s_2}(p)=R_{m,s_1,s_2}+pL_{m,s_1,s_2}+\frac{1}{pC_{m,s_1,s_2}};$$

$$F_{m,s_1,s_2}(p)=L_{m,s_1,s_2}\left[i_m(0)\pm i_{s_1}(0)\pm i_{s_2}(0)\right]-\frac{u_{C_{m,s_1,s_2}}(0)}{p};$$

$$\ldots;$$

$$L\left\{e_m\right\}=\int_0^{\infty} e_m \cdot e^{-pt}\,dt=E_m\left(p\right),\ m=1,2,\ldots,n. \tag{6}$$

Тоді відповідно до співвідношень (3)-(6) *операторною формою структурно-топологічних рівнянь в першій системі координат* (1) буде система алгебраїчних рівнянь, представлена у вигляді

$$\begin{gathered}\left(R_m+pL_m+\frac{1}{pC_m}\right)I_m\left(p\right)+\sum_{\substack{s_1=1\\ s_1\neq m}}^{n}\left(R_{m,s_1}+pL_{m,s_1}+\frac{1}{pC_{m,s_1}}\right)\left[I_m\left(p\right)\pm I_{s_1}\left(p\right)\right]+\\ +\sum_{\substack{s_1=1\\ s_1\neq m}}^{n-1}\ \sum_{\substack{s_2=s_1+1\\ s_2\neq m}}^{n}\left(R_{m,s_1,s_2}+pL_{m,s_1,s_2}+\frac{1}{pC_{m,s_1,s_2}}\right)\left[I_m\left(p\right)\pm I_{s_1}\left(p\right)\pm I_{s_2}\left(p\right)\right]+\cdots+\\ +\sum_{\substack{s_1=1\\ s_1\neq m}}^{2}\ \sum_{\substack{s_2=s_1+1\\ s_2\neq m}}^{3}\cdots\sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1\\ s_{n-1}\neq m}}^{n}\left(R_{m,s_1,\ldots,s_{n-1}}+pL_{m,s_1,\ldots,s_{n-1}}+\frac{1}{pC_{m,s_1,\ldots,s_{n-1}}}\right)\left[\underline{I}_m\left(j\omega\right)\pm\underline{I}_{s_1}\left(j\omega\right)\pm\cdots\pm\underline{I}_{s_{n-1}}\left(j\omega\right)\right]=\\ =E_m\left(p\right)+F_m\left(p\right)+F_{m,s_1}\left(p\right)+F_{m,s_1,s_2}\left(p\right)+\cdots+F_{m,s_1,\ldots,s_{n-1}}\left(p\right)=E_m^*\left(p\right),\ \ m=1,2,\ldots,n\end{gathered} \tag{7}$$

або

$$\begin{gathered}Z_m\left(p\right)I_m\left(p\right)+\sum_{\substack{s_1=1\\ s_1\neq m}}^{n}Z_{m,s_1}\left(p\right)\left[I_m\left(p\right)\pm I_{s_1}\left(p\right)\right]+\\ +\sum_{\substack{s_1=1\\ s_1\neq m}}^{n-1}\ \sum_{\substack{s_2=s_1+1\\ s_2\neq m}}^{n}Z_{m,s_1,s_2}\left(p\right)\left[I_m\left(p\right)\pm I_{s_1}\left(p\right)\pm I_{s_2}\left(p\right)\right]+\\ +\cdots+\sum_{\substack{s_1=1\\ s_1\neq m}}^{2}\ \sum_{\substack{s_2=s_1+1\\ s_2\neq m}}^{3}\cdots\sum_{\substack{s_{n-1}=s_{n-2}+1\\ s_{n-1}\neq m}}^{n}Z_{m,s_1,\ldots,s_{n-1}}\left(p\right)\left[I_m\left(p\right)\pm I_{s_1}\left(p\right)\pm\cdots\pm I_{s_{n-1}}\left(p\right)\right]=\\ =E_m^*\left(p\right),\ \ m=1,2,\ldots,n.\end{gathered} \tag{8}$$

Висновки

В роботі викладені окремі основні положення авторської теорії узагальненого електричного кола, де на прикладі першої системи узагальнених електродинамічних координат (типу «сила-напруга») з урахуванням фізичного явища гіперсилової (гіпервалентної) взаємодії отримано операторну форму структурно-топологічних рівнянь (7), (8) зосереджених динамічних систем довільної фізичної та технічної природи.

Результати мають важливе як спеціально-технічне, так і загально-методологічне значення.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Теоретичні основи електротехніки. Електромагнітне поле : підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2014. — 392 с.

2. Теоретичні основи електротехніки. Перехідні процеси в лінійних колах. Синтез лінійних кіл. Електричні та магнітні нелінійні кола : підручник / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук, С. Ш. Кацив. — Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. — 392 с.

3. Теоретичні основи електротехніки. Усталені режими лінійних електричних кіл із зосередженими та розподіленими параметрами : підручник / Ю. О. Карпов, С. Ш. Кацив, В. В. Кухарчук, Ю. Г. Ведміцький. — Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2013. — 326 с.

4. Теоретичні основи електротехніки. Методи розрахунку нелінійних електричних і магнітних кіл в прикладах та задачах / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. – 262 с.

5. Теоретичні основи електротехніки. Задачі та приклади розрахунку лінійних електричних кіл / Ю. О. Карпов, Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук та ін. – Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. – 346 с.

6. 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.

7. Крон Г. Исследование сложных систем по частям (диакоптика) / Г. Крон. — М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1972. — 544 с.

8. Хэпп Х. Диакоптика и электрические цепи / Х. Хэпп. — М. : изд-во «Мир», 1974. — 343 с.

9. 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.

10. 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

11. Ведміцький Ю. Г. Узагальнене електричне коло і фізичне явище гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // Вісник Інженерної академії України. — 2016. — Випуск 4. — С. 207-213.

12. 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.

13. 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.

14. Ведміцький Ю. Г. Рівняння руху узагальненого електричного кола з урахуванням явища гіпервалентної взаємодії / Ю. Г. Ведміцький // XIII Міжнародна науково-технічна конференція “АВІА-2017”. — С. 4.4-4.8. — Режим доступу: https://avia.nau.edu.ua/doc/avia-2017/AVIA_2017.pdf

15. 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

16. 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.

17. Ведміцький Ю. Г. Контроль моменту інерції на основі удосконаленої теорії електродинамічних аналогій : монографія / Ю. Г. Ведміцький, В. В. Кухарчук. — Вінниця : ВНТУ, 2015. — 196 с.

18. 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.

19. 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.

20. 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.

21. 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.

22. Ведміцький Ю. Г. Вимірювальне 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