МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧИХ СИСТЕМ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

УДК 681.2.08

М. Грибок
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВЕКТОРНИХ ВЕЛИЧИН

Наведено методику синтезу інтелектуальних методів вимірювання параметрів векторних величин зміщенням системи координат.

Цей клас методів ґрунтується на залежності (1) модуля Z векторної величини і її координат $X_1,..,X_N$

$$Z^2 = X_1^2 + X_2^2 + \ldots + X_N^2. \quad (1)$$

За наявності засобу вимірювання з квадратичною функцією перетворення можна синтезувати систему рівнянь, в якій інформативним параметром буде координата X_I, а решта координат є неінформативними параметрами. Тоді функція перетворення вимірювального кола (ВК) записується як

$$N = a_0\,[\vec{\xi}, \vec{q}, \vec{\eta}_z] + b_1\,[\vec{\xi}, \vec{q}, \vec{\eta}_z]\,Z_I^2 = a_0\,[\vec{\xi}, \vec{q}, \vec{\eta}_z] + a_1[\vec{\xi}, \vec{q}, \vec{\eta}_z]\,[X_1^2 + X_2^2 + \ldots + X_N^2], \quad (2)$$

де $\vec{q}$ – вектор конструктивних параметрів вимірювального кола; $\vec{\xi}$ – вектор зовнішніх щодо вимірювального кола факторів, які впливають; $\vec{\eta}_z$ – вектор неінформативних параметрів джерела векторної величини.

Після перетворень (2) маємо

$$N = a_0\,[\vec{\xi}, \vec{q}, \vec{\eta}_z] + a_1\,[\vec{\xi}, \vec{q}, \vec{\eta}_z]\,[X_2^2 + \ldots + X_N^2] + a_1\,[\vec{\xi}, \vec{q}, \vec{\eta}_z]\,X_1^2. \quad (3)$$

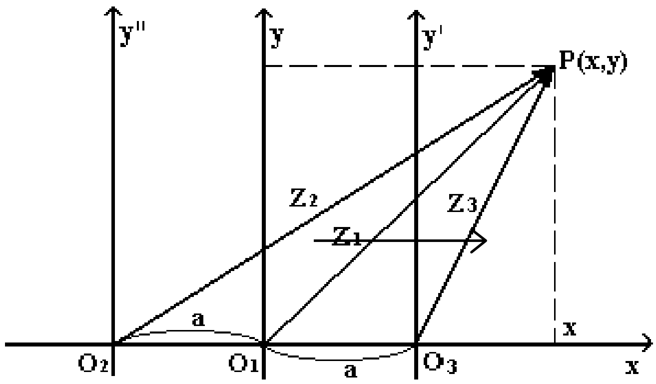

Рис. 1. Принцип зміни системи координат для знаходження координат вектора

Під час вимірювання параметра X_1 перші дві компоненти є адитивними складовими, а третя компонента буде змінюватись із зміною координати X_1. Це можна реалізувати або масштабним перетворенням kX_1, або алгебраїчною сумою координати X_1 і зразкових приростів X_{01}, тобто паралельним зміщенням координат по відповідній осі. Розглянемо ситуацію у двовимірному просторі на координатній площині (рис. 1) [2].

Базовою координатною системою є YO_1X, а зміщеними – $Y'O_3X$ і $Y''O_2X$. Якщо розмістити в точках O_1, O_2, O_3 вимірювачі квадратів модулів Z_1^2, Z_2^2, Z_3^2, то отримаємо

$$Z_1^2 = X^2 + Y^2$$

$$Z_2^2 = (X + X_0)^2 + Y^2$$

$$Z_3^2 = (X - X_0)^2 + Y^2$$

За відомими значеннями Z_1^2 і Z_2^2 знаходимо різницю

$$Z_2^2 - Z_1^2 = 2XX_0 + X_0^2,$$

де $X_0 = a$.

Звідки

$$X = (Z_2^2 - Z_1^2 - X_0^2) / (2X_0). \tag{4}$$

Отже, якщо надати приріст одній з координат в один чи інший бік при сталому $a = X_0$, то можна виміряти невідому координату X без застосування синхронного детектування. А це відкриває можливість трансформації положень синтезу методів вимірювання скалярних величин на векторні величини. Можливі вхідні інформативні дії, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
$A(X,X_0)$	$X+X_0$	$X–X_0$	$X_0–X$	$-X- X_0$	X	$-X$	KX
$A(Y)$	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y

Адитивні методи вимірювання основані на розв’язанні системи рівнянь

$$\begin{cases} N_1 = a_0[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z1}] + a_1[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z1}]Z_1^2 \\ N_2 = a_0[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z2}] + a_1[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z2}]Z_2^2 \end{cases} \tag{5}$$

Якщо забезпечується

$$a_0[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z1}] = a_0[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z2}],$$

$$a_1[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z1}] = a_1[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z2}] = a_{1N} = \text{const}.$$

Мультиплікативні методи вимірювання параметрів векторних величин не можна синтезувати, оскільки вплив решти координат на ФП ВК адитивний. Тому відразу переходимо до синтезу адитивно-мультиплікативних методів вимірювання на основі системи трьох рівнянь

$$\begin{cases} N_1 = a_0[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z1}] + a_1[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z1}]Z_1^2 \\ N_2 = a_0[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z2}] + a_1[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z2}]Z_2^2 \\ N_3 = a_0[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z3}] + a_1[\vec{\xi},\vec{q},\vec{\eta}_{Z3}]Z_3^2 \end{cases} \tag{6}$$

Якщо забезпечується

$$\vec{\eta}_{Z1} = \vec{\eta}_{Z2} = \vec{\eta}_{Z3},$$

розв’язавши(6), отримуємо номінальне рівняння вимірювання

$$(N_1 - N_2) / (N_1 - N_3) = (Z_1^2 - Z_2^2) / (Z_1^2 - Z_3^2). \tag{7}$$

Це рівняння повинно бути лише функцією X і X_0 і вектора відліків $\vec{N}$

$$X = \psi_N [\vec{N},\vec{X}_0].$$

У табл. 2 наведені можливі адитивні методи вимірювання при вхідних інформативних діях 1…7 табл. 1 і номінальному рівнянні вимірювання

$$N_2 - N_1 = a_{1N}(Z_2^2 - Z_1^2). \tag{8}$$

Таблиця 2

Адитивні методи вимірювання параметрів векторних величин

№ п/п	$A_1(X,X_0)$	$A_2(X,X_0)$	НРВ
1	$X + X_0$	$X - X_0$	$X = (N_1 - N_2) / (4a_{1N}X_{0N})$
2	$X + X_0$	X	$X = (N_1 - N_2) / (2a_{1N}X_{0N}) - X_{0N}/2$
3	$X_0 - X$	X	$X = (N_2 - N_1) / (2a_{1N}X_{0N}) + X_{0N}/2$
4	X	kX	$X = [(N_1 - N_2) / (1 - k^2)a_{1N}]^{1/2}$

Перші три методи основано на зміщенні системи координат на зразкову величину X_{0N}, однорідну з величиною X. Четвертий метод можна використовувати у разі масштабного перетворення координати (зміна частоти при вимірюванні параметрів комплексних опорів).

Адитивно-мультиплікативні методи синтезовано на основі можливих вхідних інфор–мативних дій 1…7, системи рівнянь (6) і наведені в табл. 3.

Комбінації

$$\begin{matrix} (X + X_0) & \text{і} & (X + X_0) \\ (X - X_0) & \text{і} & (X_0 - X) \\ X & & -X \end{matrix}$$

в колах з квадратичною функцією перетворення рівнозначні попарно. А тому під час синтезу враховано перші складові. Метод із застосуванням трьох зразкових мір (X_0, X_{01}, X_{02}) має потрійний зсув координат. А це особливо важливо при вимірюванні RLC-параметрів в послідовних і паралельних RC- і RL-схемах.

Таблиця 3

Адитивно-мультиплікативні методи вимірювання параметрів векторних величин

№ п/п	$A_1(X,X_0)$	$A_2(X,X_0)$	$A_3(X,X_0)$	НРВ
1	$X + X_0$	$X - X_0$	X	$X = A / (4–2A)X_{0N}$, де $A = (N_1–N_2)/(N_1–N_3)$
2	$X + X_0$	X	kX	$X = X_0[(1\pm(1+A(1-k^2))^{1/2})/$ $/(A(1-k^2))]$, де $A = (N_1- N_2)/(N_2–N_3)$
3	$X + X_0$	$X + X_{01}$	$X + X_{02}$	$X = [B(X_0 + X_{02}) –$ $- (X_0 + X_{01})] / 2(1 - B)$, де $B = A(X_0 - X_{02})/(X_0 - X_{01})$ $A = (N_1- N_2) / (N_1- N_3)$

Цінною властивістю методу 3 є участь X в усіх трьох циклах перетворення, а це дає можливість його використання і при вимірюванні скалярних величин без зміни полярності X і X_{0i}.

Вимагається лише, щоб $\vec{\eta}_{X0} = \vec{\eta}_{X01} = \vec{\eta}_{X02}$, а це значно легше реалізувати, оскільки зразкові міри вибирає або формує проектувальник і їх властивості не залежать від властивостей об’єкта досліджень.

З аналізу похибок методу (4) вимірювання параметрів векторних величин видно, що похибка вимірювання [2]

$$\delta_X = (x/x_0 + x_0/x + 2 + y^2/xx_0)\delta_{Z2} + (x/x_0 + y^2/xx_0)\delta_{Z1} + (1 + x_0 / 2x)\delta_{X0}$$

залежить як від співвідношення координат y/x, так і від співвідношення вимірюваної x та зразкової x_0 координат. Лише якщо $x \approx x_0$, $y << x$, похибка вимірювання x буде мінімальною і в основному визначатиметься похибками δ_{Z2}, δ_{Z1} вимірювання модулів векторних величин і похибкою δ_{X0} зразкової величини x_0.

Тому похибку вимірювання можна зменшити трансформацією вимірювальної векторної величини в іншу векторну величину з координатами $A_1(X,X_0)$, $A_1(У)$.

Формуючи вхідні інформативні дії $A_1(X,X_0)$, $A_1(У)$, виходимо з властивостей векторних величин [1]. При додаванні двох векторів додаються однойменні координати. Тому в сумарному векторі однойменні координати визначаються сумою однойменних координат доданків. При множенні вектора на скаляр кожна з координат в сумарному векторі множиться на скаляр. На рис. 2 зображено дві системи координат $УOX$ і $УO_1X$, коли $x \approx y$. Відстань O_1O між центрами координат дорівнює значенню $O_1O = x_0$ зразкової величини x_0. Можливі вхідні інформативні дії наведені в табл. 4. На підставі системи рівнянь (5) і вхідних інформативних дій табл. 4 синтезовано адитивні методи вимірювання x. На основі системи рівнянь (6) і вхідних інформативних дій $A_i(x,x_0)$, $A_i(y_i)$ синтезовано адитивно-мультиплікативні методи вимірювань [5, ..., 8].

При значних відмінностях в числових значеннях координат X і Y необхідне переформування досліджуваного вектора $\dot{z}$ у вектор $\dot{z}1$. Це можна зробити або додаванням до вектора $\dot{Z}$ вектора $\dot{Z}_{зм} = -jY_{зм}$ (рис. 3)

$$\dot{Z}_1 = X + j(Y-Y_{зм}) = \dot{Z} + \dot{Z}_{зм}$$

або множенням координати *y* на скалярну величину k_1 (рис. 4). Тоді отримаємо вектор

$$\dot{Z}_1 = X + jkYy.$$

Для першого випадку (рис. 3) вхідні інформативні дії $A_i(x,x_0)$ і $A_i(y_i)$ наведені в табл. 5, а для другого – в табл. 6.

Для рис. 3 і рис. 4 і вхідних інформативних дій (табл. 5 і табл. 6) номінальні рівняння вимірювань (НРВ) не змінюються

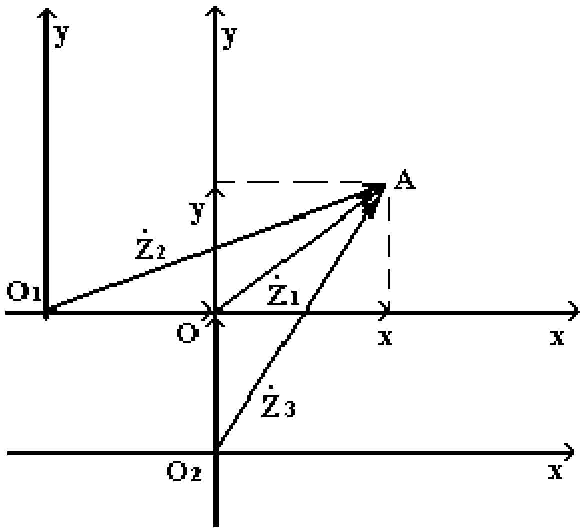

Рис. 2

Таблиця 4

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
$A_i(x,x_0)$	$x + x_0$	$x - x_0$	$x_0 - x$	$- x - x_0$	x	$- x$	kx
$A_i(y_i)$	y	y	y	y	y	y	y

Умова використання:

$$x \approx y; \quad x_0 \approx x; \quad x_0 = OO_1; \quad OO_2 = y_0.$$

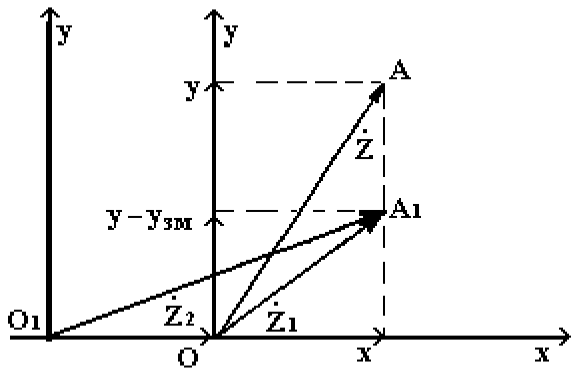

Рис. 3

Таблиця 5

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
$A_i(x,x_0)$	$x + x_0$	$x - x_0$	$x_0 - x$	$-x- x_0$	x	$- x$	kx
$A_i(y_i)$	$y\text{-}y_{зм}$	$y\text{-}y_{зм}$	$y\text{-}y_{зм}$	$y\text{-}y_{зм}$	$y\text{-}y_{зм}$	$y\text{-}y_{зм}$	$y\text{-}y_{зм}$

Умови використання:

$$y >> x; \quad y_i = y \pm y_{зм} < x; \quad x_0 \approx x; \quad x_0 = OO_1.$$

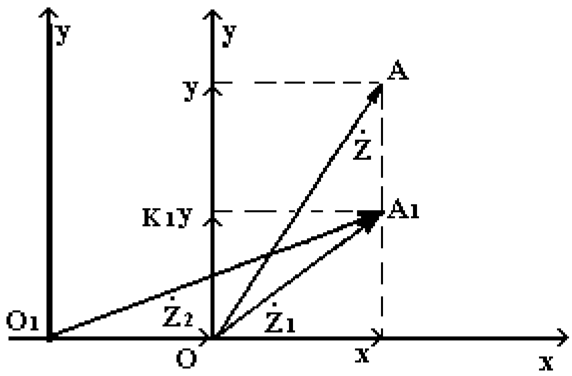

Рис. 4

Таблиця 6

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
$A_1(x,x_0)$	$x + x_0$	$x - x_0$	$x_0 – x$	$-x- x_0$	x	$- x$	kx
$A_1(y_i)$	k_1y	k_1y	k_1y	k_1y	k_1y	k_1y	k_1y

Умови використання:

$$y >> x; \quad y_i = k_1y < x; \quad x_0 \approx x; \quad x_0 = OO_1.$$

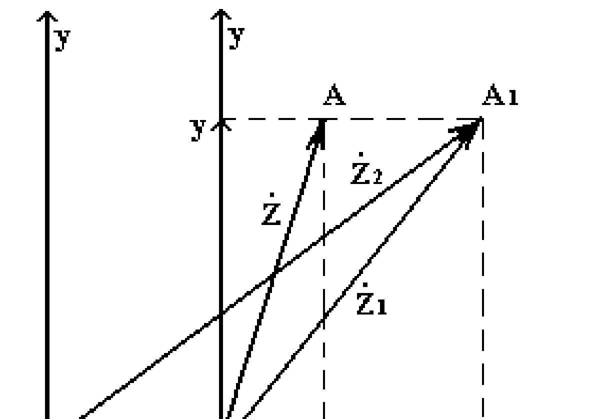

Рис. 5

Таблиця 7

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
$A_i(x,x_0)$	x_1+x_0	$x_1 - x_0$	$x_0 - x_1$	$- x_0 - x_1$	x_1	$- x_1$	kx_1
$A_i(y_i)$	y	y	y	y	y	y	y

Умови використання:

$$y >> x; \quad x_1 = x \pm x_{зм} < y; \quad x_0 \approx (x \pm x_{зм}) = x_1$$

$$x_1 = x + x_{зм}; \quad x_0 = OO_1.$$

Якщо $x >> y$, $x_0 << x$, вирівняти координати можна масштабним перетворенням координати x (рис. 6)

і тим самим перейти від вектора $\dot{z}_1 = x + jy$ до вектора

$\dot{z}_1 = k_1x + jy$, в якого $k_1x \approx y$. Тоді з врахуванням вхідних інформативних дій $A_i(x,x_0)$ і $A_i(y_i)$ (табл. 8) і систем рівнянь (5) і (6) синтезовано адитивні і адитивно-мультиплікативні методи вимірювань.

Для $x \approx y$, $x_0 << x$ необхідно помножити досліджуваний вектор

$\dot{z} = x + jy$ на скаляр k_1 .Тоді отримаємо вектор $\dot{z}_1 = k_1x + jk_1y$, коли $x_0 \approx k_1x$. На основі можливих вхідних інформативних дій $A_i(x,x_0)$ і $A_i(y_i)$ (табл. 9) і систем (5), (6) рівнянь отримано адитивні і адитивно-мультиплікативні методи вимірювань.

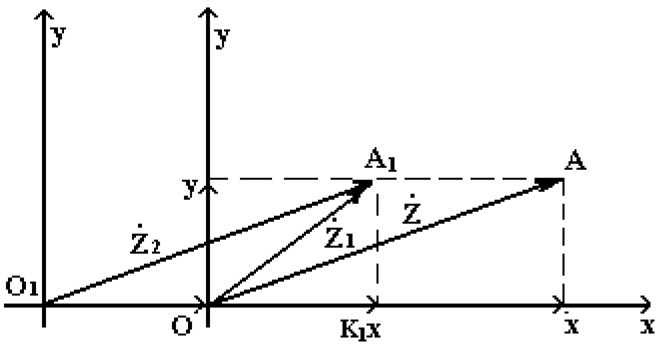

Рис. 6

Таблиця 8

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
$A_1(x,x_0)$	$x_1 + x_0$	$x_1 + x_0$	$x_0 - x_1$	$- x_1 - x_0$	x_1	$- x_1$	kx_1
$A_1(y_i)$	y	y	y	y	y	y	y

Умови використання:

$$x >> y; \quad x_0 << x; \quad kx_1 \approx x_0; \quad x_1 = k_1x.$$

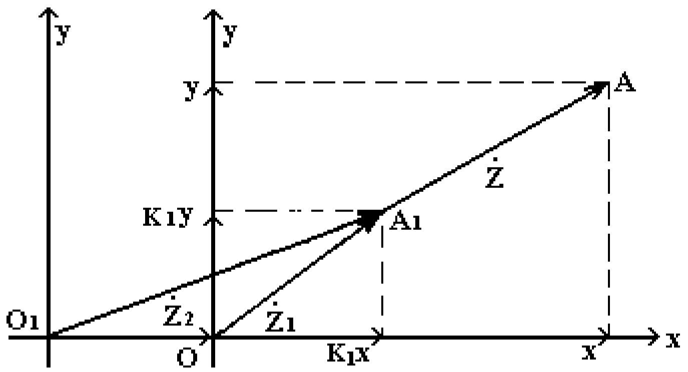

Рис. 7

Таблиця 9

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
$A_1(x,x_0)$	$x_1 + x_0$	$x_1 - x_0$	$x_0 - x_1$	$- x_1 - x_0$	x_1	$- x_1$	kx_1
$A_1(y_i)$	k_1y	k_1y	k_1y	k_1y	k_1y	k_1y	k_1y

Умови використання:

$$x >> x_0; \quad x_0 << x; \quad x_1 = k_1x \approx x_0; \quad OO_1 = x_0.$$

При додаванні до вектора $\dot{z} = x + jy$ другого вектора $\dot{z}_{зм} = x_{зм}$ отримуємо результуючий вектор (рис. 5):

$$\dot{z}_1 = (x + x_{зм}) + jy,$$

в якого координати $(x + x_{зм}) > y$. Виходячи з вхідних інформативних дій $A_i(x,x_0)$ і $A_i(y_i)$ (табл. 7) і систем (5), (6) рівнянь синтезовано адитивні і адитивно-мультиплікативні методи вимірювань. Тут вирівнювання координат в базовому векторі $\dot{z}1$ відбулося за рахунок введення зміщення у вимірювану координату.

В деяких випадках (вимірювання складових потужності) значення зразкової величини x_0 значно менше від значення x, причому вимірювання z_1 і z_2 в області значень x_0 приводить до значно більшої похибки порівняно з вимірюваннями в області значень x. Тоді доцільно вектор x_0 помножити на скаляр k_1, а вектор z_2 – сформувати як $\dot{z}2 = \dot{z}1 + k_1x_0 = (k_1x_0 + x) + jy$ (рис. 8). Виходячи з вхідних інформативних дій $A_i(x,x_{01})$ і $A_i(y_i)$ (табл. 10) і систем рівнянь (5), (6), одержуємо адитивні і адитивно-мультиплікативні методи вимірювань.

Таблиця 10

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7
$A_1(x,x_0)$	$x + x_{01}$	$x - x_{01}$	$x_{01} - x$	$- x - x_{01}$	x	$- x$	kx
$A_1(y_i)$	y	y	y	y	y	y	y

Умова використання:

$$x_0 << x; \quad x_{01} = k_1x_0; \quad k_1x_0 \approx x.$$

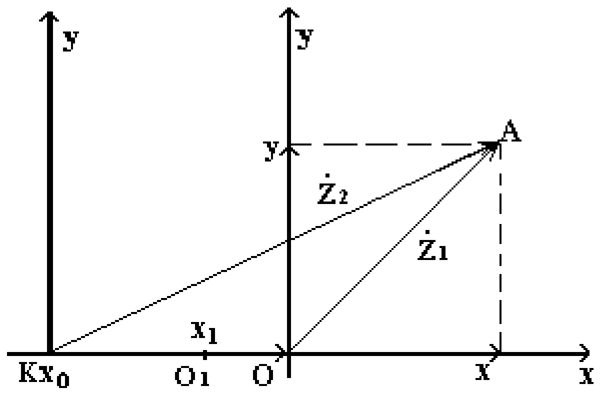

Рис. 8

В інтелектуальних засобах вимірювань один з розроблених методів вибирають так. Спочатку проводиться грубе вимірювання і знаходяться числові значення x і y. Після цього, залежно від значення x_0 і співвідношень x і y, а також x_0 і x вибирається метод, що забезпечує мінімальну похибку вимірювання координати x.

1. Мантуров О.В. Элементы тензорного исчисления. – М., 1991. 2. Теоретичні основи і принципи проектування високоточних інтелектуальних мультиметрів системного застосування / Звіт про НДР. В.Ф.Ткаченко, Б.І.Стадник, М.І.Грибок та ін. – Львів, 1998. 3. А.с. №711480 (СССР) Цифровой измеритель комплексных параметров напряжения / А.А.Бабий, Н.И.Грибок, С.С.Обозовский, С.С.Ткаченко // Бюл. изобрет., 1980. № 3. 4. А.с. №1246023 (СССР) Цифровой измеритель параметров пассивных двухполюсников / Н.И.Грибок, В.Н.Лаврив, С.А.Савенко // Бюл. изобрет., 1986. № 27 5. А.с №1337820 (СССР) Цифровой измеритель RLC-параметров / Н.И.Грибок и др. // Бюл. изобрет., 1987. №34. 6. А.с. №1357874 (СССР) Цифровой измеритель RLC-параметров / Н.И.Грибок и др. // Бюл. изобрет., 1987. № 45. 7. А.с. №1437799 (СССР) Цифровой измеритель параметров комплексного сопротивления / Н.И.Грибок и др. // Бюл. изобрет., 1988. № 42. 8. А.с. №1456907 (СССР). Цифровой измеритель составляющих комплексных сопротивлений / Н.И.Грибок, С.Г.Романюк, С.А.Савенко // Бюл. изобрет., 1989. № 5. 9. А.с. №1155954 (СССР) Цифровой измеритель мощности / Н.И.Грибок, И.П.Лаврив, С.А.Савенко // Бюл. изобрет., 1985.

УДК 658.512.2

В. Теслюк
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра систем автоматизованого проектування

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЕНЕРАТОРА РІВНОМІРНОГО ЗАКОНУ РОЗПОДІЛУ

Запропоновано генератор випадкових чисел рівномірного розподілу, який реалізований у вигляді підпрограми та проведені дослідження даного генератора на рівномірність та визначено його період.