

Накопичення значень $R_k^{(1)}$ відбувається аналогічно до накопичення $S_k^{(1)}$ і здійснюється до моменту часу t_2 наступного періоду дискретизації, після чого період накопичення і цикл роботи процесора повторюється (рис. 2з).

У разі вибору $M = 2^r, r > 1$ блок СО можна реалізувати на r -розрядних лічильниках і $2r$ -входовому комбінаційному суматорі.

Затримка формування значень другої різниці в даному процесорі мінімальна і дорівнює часу накопичення значень в реверсивному лічильнику СТ $t \leq T/M$. Формування значень першої ∇y_n та другої різниці $\nabla^2 y_n$ відбувається також через час T/M , тобто загальна затримка вихідного сигналу відносно подачі вхідного не перевищує часу

$$\tau \leq 3T/M,$$

що забезпечує високу швидкодію і можливість роботи процесора в замкнутому контурі керування швидкоплинними процесами.

1. Тимченко О.В. Різницеві методи цифрової фільтрації. Львів, 1999. 2. Дурняк Б.В., Стрепко І.Т., Тимченко О.В. Алгоритми швидкодіючих систем реального часу, побудованих на основі різницевих підходів // Вісн. ДУ "Львівська політехніка", 1999. №366. С.56-62. 3. Стрепко І.Т., Тимченко О.В., Дурняк Б.В. Проектування систем керування на однокристальних мікро-ЕОМ. К., 1998. 4. А.с. №1418908 ССРСР. Цифрової фільтр с дельта-модуляцією / Тимченко А.В., Тимченко С.В. (ССРСР) // Бюл. изобр. №31. 1988. 5. Дурняк Б., Стрепко І., Тимченко О. Розпаралелювання обчислень на основі вибору методів різницевого подання сигналів в САК реального часу // Комп'ютерні технології друкарства. Львів, 1998. С.120-123.

УДК 681.518.54

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ВНУТРІШНІХ ПАРАМЕТРІВ ОБМОТОК ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕОРІЇ ЧУТЛИВОСТІ

© Кучерук В.Ю., Поджаренко А.В., Селезньова Р.В., 2000

Вінницький державний технічний університет, кафедра "Метрологія та промислова автоматика"

Запропоновано метод ідентифікації внутрішніх параметрів обмоток електричних машин за допомогою теорії чутливості і проведено його дослідження. Метод дозволяє з малою похибкою ідентифікувати активний опір обмотки. Похибка ідентифікації ємності обмотки має більші значення. Це свідчить про доцільність ідентифікації ємності іншими методами ідентифікації, наприклад, методами інваріантного поглиблення або аналітичними методами. Знайдене значення ємності обмотки можна використати для початкового наближення під час ідентифікації іншими методами.

The method of identification of electrical machines windings internal parameters with the sensitivity theories is offered and is conducted of its research. The method allows with a small error to identify an active resistance of a winding. The identification error of a winding capacity has higher significance. It specifies expediency of identification of a capacity by other identification methods, for example, methods of an invariant investment or analytical methods. For want of it the found significance of a winding capacity can be used for an initial value for want of identifications by other methods.

Електричні машини (ЕМ) широко використовують як джерела електричної енергії, електроприводи механізмів, сенсори в системах контролю і управління, у різних галузях економіки. Відповідальність покладених на них функцій зумовлює високі вимоги до їх надійності. Для забезпечення надійності як на стадії виробництва, так і на стадії експлуатації ЕМ необхідне вимірювання визначеної сукупності діагностичних параметрів, які характеризують технічний стан машини. Як показує практика, здебільшого (у 85-95 %) ЕМ виникає через пошкодження обмоток. 93% основних несправностей обмоток зумовлено міжвитковими замиканнями. Тому ефективна оцінка показників якості ЕМ у процесі виробництва і після їх виготовлення, своєчасна діагностика причин розладу технологічного процесу є актуальним завданням.

В даній роботі наводяться основні результати використання методів теорії чутливості при ідентифікації параметрів обмоток ЕМ.

Для аналізу обмотки застосуємо її одноланцюгову схему заміщення відносно виводів [1] (рис. 1), в якій R_d – опір відомої величини, Ом; L – індуктивність обмотки, Гн; R_1 – активний опір обмотки, Ом; R – активний опір проводів, Ом; C_1 – ємність обмотки, Ф.

Як тестовий сигнал використаємо сигнал включення $U(t) = U_0 \cdot l(t)$. Як вихідний сигнал спостерігатимемо напругу $U_c(t)$. Опір R_d введений в схему для того, щоб при подачі тестового сигналу обмежити швидкість наростання заряду ємності C_1 .

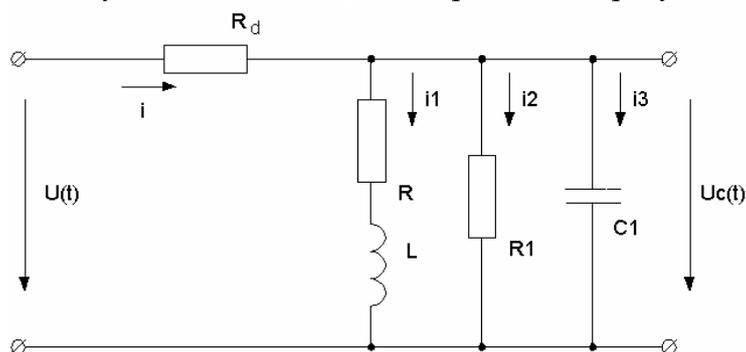


Рис. 1. Одноланцюгова схема заміщення обмотки ЕМ відносно виводів.

Допустимо, що $R \ll R_1, R_d$. Електромагнітні процеси в даній схемі можуть бути описані системою

$$\begin{cases} i(t) = i_1(t) + i_2(t) + i_3(t); & i(t)R_d + U_c(t) = U_0; \\ L \frac{di_1(t)}{dt} = U_c(t); & i_2(t)R_1 = U_c(t); & i_3(t) = C_1 \frac{dU_c(t)}{dt}. \end{cases} \quad (1)$$

Систему рівнянь (1) можна звести у форму

$$\begin{cases} \frac{dU_c(t)}{dt} = \frac{1}{C_1} \cdot \left[\frac{U_0 - U_c(t)}{R_d} - i_1(t) - \frac{U_c(t)}{R_1} \right]; \\ \frac{di_1(t)}{dt} = \frac{U_c(t)}{L}. \end{cases} \quad (2)$$

Визначимо вектор стану обмоток ЕМ:

$$\mathbf{I} = [I_1; I_2]^T = [U_c; i_1]^T. \quad (3)$$

Запишемо параметри обмоток ЕМ у вигляді вектора (R_d та L вважаємо відомими):

$$\mathbf{A} = [A_1; A_2]^T = [R_1; C_1]^T. \quad (4)$$

Використавши (3) та (4), запишемо математичну модель (2) у формі $\frac{d}{dt} \mathbf{I} = \mathbf{F}(\mathbf{I}, \mathbf{A}, t)$:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{A_2} \cdot \left[\frac{U_0 - I_1(t)}{R_d} - I_2(t) - \frac{I_1(t)}{A_1} \right] \\ \frac{I_1(t)}{L} \end{bmatrix} = [F_1; F_2]^T. \quad (5)$$

Тоді задача ідентифікації параметрів обмоток ЕМ полягає в знаходженні значень вектора \mathbf{A} при спостереженні неповного вектора стану \mathbf{I} . Для i -ї компоненти вектора \mathbf{I} достатньою для практики точністю можна прийняти:

$$I_i(t) = I_i^H(t) + \sum_{j=1}^1 u_{ij}(t) \cdot a_j, \quad (6)$$

де $I_i^H(t)$ – номінальний рух системи (5), який зумовлений номінальними значеннями параметрів \mathbf{A}^H ; $u_{ij}(t)$ – функція чутливості координати $I_i(t)$ до зміни параметра A_j ; 1 – розмірність вектора \mathbf{A} ;

$$\mathbf{a} = \mathbf{A}^H - \mathbf{A}. \quad (7)$$

Функції чутливості $u_{ij}(t)$ визначимо так:

$$\frac{\partial u_{ij}(t)}{\partial t} = \sum_{\mu=1}^n \left(\frac{\partial F_i}{\partial I_\mu} \right)^H \cdot u_{\mu i}(t) + \left(\frac{\partial F_i}{\partial A_j} \right)^H, \quad u_{ij}(0) = 0. \quad (8)$$

В матричній формі запису рівняння (6), (8) мають вигляд:

$$\mathbf{I}(t) = \mathbf{I}^H(t) + \mathbf{u}(t) \cdot \mathbf{a}; \quad (9)$$

$$\frac{\partial \mathbf{u}(t)}{\partial t} = \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{I}} \cdot \mathbf{u}(t) + \frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{A}}; \quad \mathbf{u}(0) = 0. \quad (10)$$

Номинальний рух $\mathbf{I}^H(t)$ знайдемо із рівняння

$$\frac{d\mathbf{I}^H(t)}{dt} = \mathbf{F}(\mathbf{I}^H, \mathbf{A}^H, t), \quad \mathbf{I}^H(0) = 0. \quad (11)$$

У процесі спільного розв'язання рівнянь (10) і (11) розраховуємо номинальний рух $\mathbf{I}^H(t)$ і матрицю чутливостей $\mathbf{u}(t)$ в множині точок t_1, t_2, \dots, t_r . Далі, на підставі отриманих даних про $\mathbf{I}^H(t)$, $\mathbf{u}(t)$ і результатів спостережень $\mathbf{I}(t)$ в точках t_1, t_2, \dots, t_r знаходимо невідомі значення всіх компонент вектора \mathbf{a} .

Використаємо квадратичний критерій якості ідентифікації

$$Q = \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^H(t_k) - \sum_{j=1}^l u_{ij}(t_k) \cdot a_j \right]^2 \quad (12)$$

і необхідну умову мінімуму Q

$$\frac{dQ}{da_\mu} = 2 \cdot \sum_{i=1}^s \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^H(t_k) - \sum_{j=1}^l u_{ij}(t_k) \cdot a_j \right] \cdot u_{i\mu}(t_k) = 0; \quad (13)$$

$$\mu = 1, 2, \dots, l,$$

де $\mathbf{I}^*(t) = [U_c(t)]$ – компоненти вектора стану \mathbf{I} , які вимірюються; s – кількість вимірних параметрів, що забезпечують можливість знаходження всіх компонент вектора \mathbf{a} із системи лінійних рівнянь

$$\sum_{i=1}^s \sum_{j=1}^l \left[\sum_{k=1}^r u_{ij}(t_k) \cdot u_{i\mu}(t_k) \right] \cdot a_j = \sum_{i=1}^s \sum_{k=1}^r \left[I_i^*(t_k) - I_i^H(t_k) \right] \cdot u_{i\mu}(t_k), \quad (14)$$

$$\mu = 1, 2, \dots, l.$$

Часткові похідні $\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{I}^*}$, $\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{A}}$ та функції чутливості розраховуємо так:

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{I}} = \left[\begin{array}{c|c} -\frac{1}{A_2} \cdot \left[\frac{1}{R_d} + \frac{1}{A_1} \right] & -\frac{1}{A_2} \\ \hline \frac{1}{L} & 0 \end{array} \right]; \quad (15)$$

$$\frac{\partial \mathbf{F}}{\partial \mathbf{A}} = \left[\begin{array}{c|c} \frac{I_1}{A_1^2 A_2} & -\frac{1}{A_2^2} \cdot \left[\frac{U_0 - I_1}{R_d} - I_2 - \frac{I_1}{A_1} \right] \\ \hline 0 & 0 \end{array} \right]. \quad (16)$$

Тоді математична модель обмоток разом із функціями чутливості набере вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dI_1(t)}{dt} = \frac{1}{A_2} \cdot \left[\frac{U_0 - I_1(t)}{R_d} - I_2(t) - \frac{I_1(t)}{A_1} \right]; \\ \frac{dI_2(t)}{dt} = \frac{I_1(t)}{L}; \\ \frac{du_{11}(t)}{dt} = - \left[\frac{1}{R_d} + \frac{1}{A_1} \right] \cdot \frac{u_{11}(t)}{A_2} - \frac{u_{21}(t)}{A_2} + \frac{I_1(t)}{A_1^2 A_2}; \\ \frac{du_{12}(t)}{dt} = - \left[\frac{1}{R_d} + \frac{1}{A_1} \right] \cdot \frac{u_{11}(t)}{A_2} - \frac{u_{21}(t)}{A_2} - \frac{1}{A_2^2} \cdot \left[\frac{U_0 - I_1(t)}{R_d} - I_2(t) - \frac{I_1(t)}{A_1} \right]; \\ \frac{du_{21}(t)}{dt} = \frac{u_{12}(t)}{L}; \\ \frac{du_{22}(t)}{dt} = \frac{u_{12}(t)}{L}. \end{array} \right. \quad (17)$$

За допомогою програмного пакета Maple V Release 4 [2] знайдено аналітичний розв'язок системи рівнянь (17) при нульових початкових умовах:

$$I_1(t) = 2A_1 U_0 K_3 \sqrt{\frac{L}{K_1}} \cdot \sin(K_2);$$

$$I_2(t) = A_1 U_0 \cdot \left[\frac{1}{R_d A_1} - \frac{K_3}{A_1} \sqrt{\frac{L}{K_1}} \cdot \sin(K_2) - 4R_d A_1 A_2 \frac{K_3}{K_1} \cos(K_2) + \right. \\ \left. + LA_1 \frac{K_3}{K_1 R_d} \cos(K_2) + 2L \frac{K_3}{K_1} \cos(K_2) + LR_d \frac{K_3}{K_1 A_1} \cos(K_2) - \right. \\ \left. - \frac{K_3}{R_d} \sqrt{\frac{L}{K_1}} \cdot \sin(K_2) \right];$$

$$u_{11}(t) = \frac{R_d L U_0}{A_2} \cdot \left[\frac{1}{R_d^2 A_1^2} - \frac{K_3}{R_d A_1^2} \sqrt{\frac{L}{K_1}} \cdot \sin(K_2) - 4 \frac{A_2 K_3}{K_1} \cdot \cos(K_2) + \right. \\ \left. + L \frac{K_3}{K_1 R_d^2} \cos(K_2) + 2L \frac{K_3}{K_1 R_d A_1} \cos(K_2) + L \frac{K_3}{K_1 A_1^2} \cos(K_2) - \right. \\ \left. - \frac{K_3}{A_1 R_d^2} \sqrt{\frac{L}{K_1}} \sin(K_2) + 4 \frac{R_d A_1^3 A_2 K_3}{K_1^2} \sqrt{\frac{K_1}{L}} \cdot \sin(K_2) - \right. \\ \left. - 2 \frac{A_1^2 K_3}{L K_1} t \cdot \cos(K_2) - 4 \frac{K_3 A_1 A_2}{K_1^2} \sqrt{K_1 L} \cdot \sin(K_2) + 2 \frac{K_3}{R_d K_1} t \cdot \cos(K_2) - \right.$$

$$\begin{aligned}
& \left. -4 \frac{R_d A_2 K_3}{K_1^2} \sqrt{K_1 L} \cdot \sin(K_2) + 2 \frac{K_3}{A_1 K_1} t \cdot \cos(K_2) \right]; \\
u_{12}(t) = & \frac{-L^2 U_0}{A_1 A_2} \cdot \left[4 \frac{R_d^2 A_1 A_2 K_3}{K_1^2} \sqrt{\frac{K_1}{L}} \cdot \sin(K_2) - 2 \frac{R_d K_3}{L K_1} t \cdot \cos(K_2) + \right. \\
& + 4 \frac{A_1^2 A_2 R_d K_3}{K_1^2} \sqrt{\frac{K_1}{L}} \cdot \sin(K_2) - 2 \frac{A_1 K_3}{L K_1} t \cdot \cos(K_2) - \\
& - 4 \frac{R_d^2 A_1^4 A_2 K_3}{L K_1^2} \sqrt{\frac{K_1}{L}} \cdot \sin(K_2) + 2 \frac{R_d A_1^3 K_3}{L^2 K_1} t \cdot \cos(K_2) + \\
& \left. + 2 \frac{A_1^2 K_3}{L \sqrt{L K_1}} \cdot \sin(K_2) \right]; \\
u_{21}(t) = u_{22}(t) = & \frac{-L U_0}{A_1 A_2} \cdot \left[-\frac{K_3}{A_1^2} \sqrt{\frac{L}{K_1}} \cdot \sin(K_2) - 2 \frac{K_3}{A_1 R_d} \sqrt{\frac{L}{K_1}} \cdot \sin(K_2) - \right. \\
& - 4 \frac{A_1 A_2 K_3}{K_1} \cdot \cos(K_2) - 4 \frac{R_d A_2 K_3}{K_1} \cdot \cos(K_2) + \frac{L A_1 K_3}{R_d^2 K_1} \cdot \cos(K_2) + \\
& + 3 \frac{L K_3}{R_d K_1} \cdot \cos(K_2) + 3 \frac{L K_3}{A_1 K_1} \cdot \cos(K_2) + \frac{L R_d K_3}{A_1^2 K_1} \cdot \cos(K_2) - \\
& - \frac{K_3}{R_d^2} \sqrt{\frac{L}{K_1}} \cdot \sin(K_2) - 2 \frac{A_1^2 A_2 K_3}{K_1^2} \sqrt{L K_1} \cdot \sin(K_2) - \\
& - 4 \frac{R_d A_1 A_2 K_3}{K_1^2} \sqrt{L K_1} \cdot \sin(K_2) + 2 \frac{R_d A_1^4 A_3 K_3}{K_1^2} \sqrt{\frac{K_1}{L}} \cdot \sin(K_2) - \\
& - 2 \frac{R_d^2 A_2 K_3}{K_1^2} \sqrt{L K_1} \cdot \sin(K_2) - \frac{K_3 t}{R_d \sqrt{L K_1}} \sin(K_2) - \frac{K_3 t}{A_1 \sqrt{L K_1}} \sin(K_2) + \\
& + \frac{A_1^2 K_3 t}{L \sqrt{L K_1}} \sin(K_2) + \frac{A_1 K_3 t}{R_d K_1} \cdot \cos(K_2) + \frac{R_d K_3 t}{A_1 K_1} \cdot \cos(K_2) - \\
& \left. - \frac{R_d A_1^2 K_3 t}{L K_1} \cdot \cos(K_2) + 2 \frac{R_d^2 A_1^3 K_3 A_2}{K_1^2} \sqrt{\frac{K_1}{L}} \cdot \sin(K_2) + 2 \frac{K_3 t}{K_1} \cdot \cos(K_2) - \right]
\end{aligned}$$

$$\left. - \frac{A_1^3 K_3 t}{L K_1} \cdot \cos(K_2) + \frac{1}{R_d^2 A_1} + \frac{1}{R_d A_1^2} \right],$$

де

$$K_1 = 4A_2 R_d^2 A_1^2 - L A_1^2 - 2L R_d A_1 - L R_d^2,$$

$$K_2 = \frac{t}{2A_1 A_2 R_d} \sqrt{\frac{K_1}{L}}, \quad K_3 = e^{-\frac{1}{2} \frac{A_1 + R_d}{A_1 A_2 R_d} \cdot t}.$$

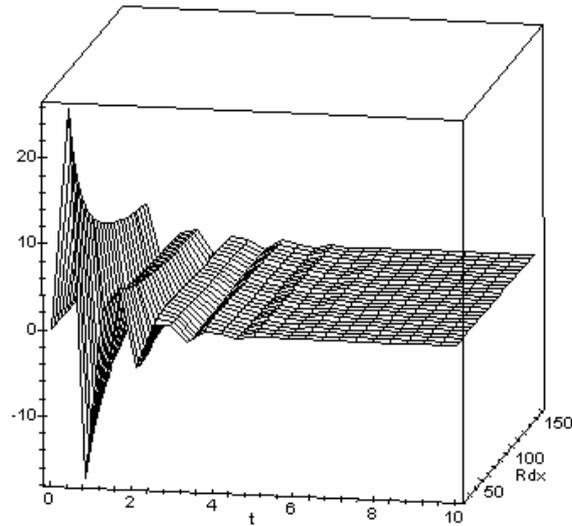


Рис. 2. Залежність $U_c = f(R_d, t)$.

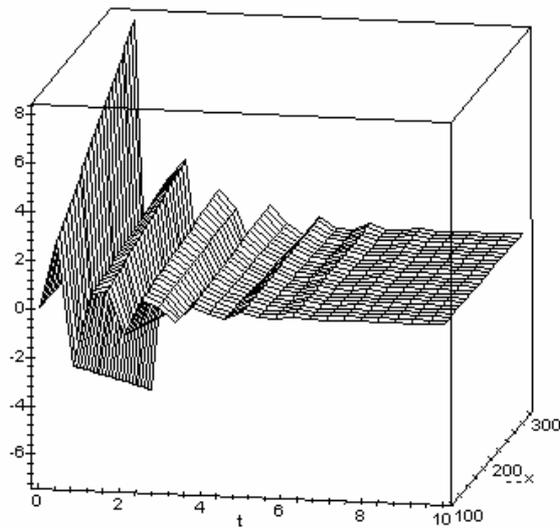


Рис. 3. Залежність $U_c = f(U_0, t)$.

На рис. 2, 3 наведено зображення поверхонь, які ілюструють характер зміни напруги U_c від часу t та значень R_d, U_0 .

Систему (14) запишемо у вигляді:

$$\sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \left[\sum_{k=1}^r u_{ij}(t_k) \cdot u_{i\mu}(t_k) \right] \cdot a_j = \sum_{k=1}^r \left[I_1^*(t_k) - I_1^H(t_k) \right] \cdot u_{i\mu}(t_k), \quad (18)$$

$$\mu = 1, 2, \dots, l.$$

Після певних математичних перетворень система рівнянь (18) набере такого вигляду:

$$\left[\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}^2(t_k) \right] \cdot a_1 + \left[\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i2}(t_k) \cdot u_{i1}(t_k) \right] \cdot a_2 = \sum_{k=1}^r \left[I_1^*(t_k) - I_1^H(t_k) \right] \cdot u_{11}(t_k);$$

$$\left[\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}(t_k) \cdot u_{i2}(t_k) \right] \cdot a_1 + \left[\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i2}^2(t_k) \right] \cdot a_2 = \sum_{k=1}^r \left[I_1^*(t_k) - I_1^H(t_k) \right] \cdot u_{12}(t_k); \quad (19)$$

В матричній формі систему рівнянь (19) можна записати:

$$\begin{bmatrix} \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}^2(t_k) & \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i2}(t_k) \cdot u_{i1}(t_k) \\ \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}(t_k) \cdot u_{i2}(t_k) & \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i2}^2(t_k) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{k=1}^r \left[I_1^*(t_k) - I_1^H(t_k) \right] \cdot u_{11}(t_k) \\ \sum_{k=1}^r \left[I_1^*(t_k) - I_1^H(t_k) \right] \cdot u_{12}(t_k) \end{bmatrix}. \quad (20)$$

Розв'язок системи (20) відносно елементів вектора \mathbf{a} матиме вигляд:

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i2}^2(t_k) \sum_{k=1}^r \left[I_1^*(t_k) - I_1^H(t_k) \right] u_{11}(t_k) - \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}(t_k) u_{i2}(t_k) \sum_{k=1}^r \left[I_1^*(t_k) - I_1^H(t_k) \right] u_{12}(t_k)}{\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}^2(t_k) \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i2}^2(t_k) - \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}(t_k) u_{i2}(t_k) \right)^2}$$

$$a_2 = \frac{\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}^2(t_k) \sum_{k=1}^r \left[I_1^*(t_k) - I_1^H(t_k) \right] u_{12}(t_k) - \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}(t_k) u_{i2}(t_k) \sum_{k=1}^r \left[I_1^*(t_k) - I_1^H(t_k) \right] u_{11}(t_k)}{\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}^2(t_k) \sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i2}^2(t_k) - \left(\sum_{i=1}^2 \sum_{k=1}^r u_{i1}(t_k) u_{i2}(t_k) \right)^2} \quad (21)$$

Реальні значення параметрів розраховуємо так:

$$\mathbf{A} = \mathbf{A}^H + \mathbf{a}. \quad (22)$$

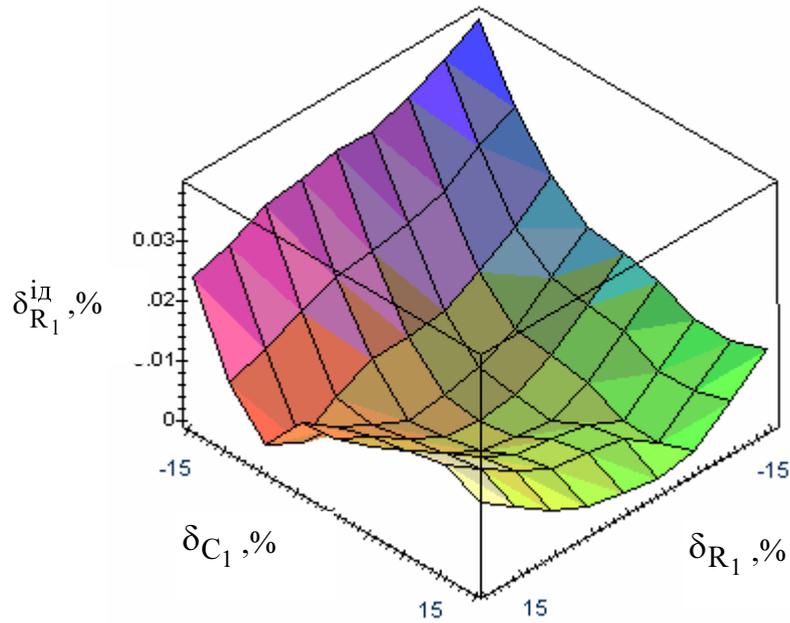


Рис. 3. Залежність відносної похибки ідентифікації R_1 $\delta_{R_1}^{id}$ від відносних відхилень δ_{R_1} та δ_{C_1} .

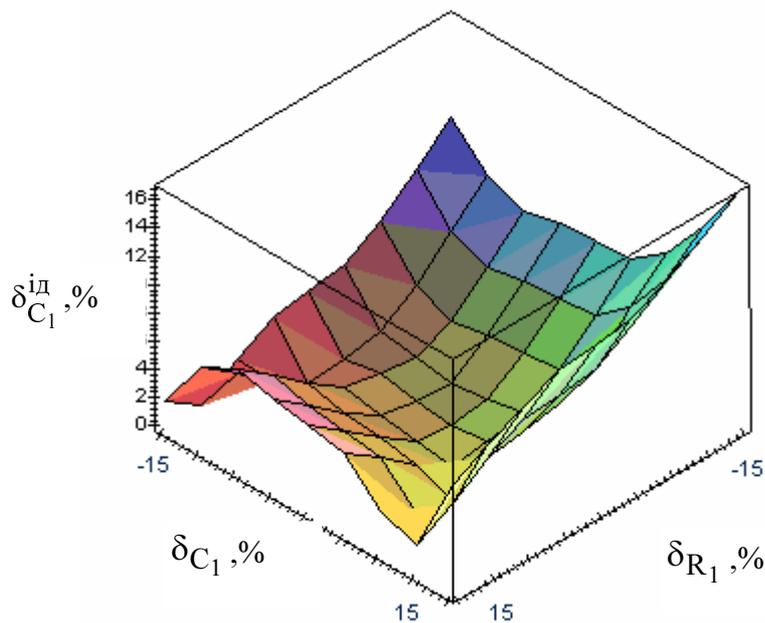


Рис. 4. Залежність відносної похибки ідентифікації C_1 $\delta_{C_1}^{id}$ від відносних відхилень δ_{R_1} та δ_{C_1} .

Розроблений метод ідентифікації параметрів обмоток досліджено за допомогою його моделювання. Алгоритм моделювання здійснено в такій послідовності:

1. Генерація значень $\mathbf{I}^H(t), \mathbf{u}^H(t)$ при номінальних значеннях параметрів R_1^H, C_1^H .
2. Генерація (імітація вимірювань) значень $\mathbf{I}^*(t), \mathbf{u}(t)$ при значеннях параметрів R_1, C_1 із відносними відхиленнями

$$\delta_{R_1} = \frac{R_1^H - R_1}{R_1^H} \times 100\%; \quad \delta_{C_1} = \frac{C_1^H - C_1}{C_1^H} \times 100\%.$$

3. Розрахунки за формулами (21) - (22) з підрахунком відносних похибок ідентифікації

$$\delta_{R_1}^{id} = \frac{|a_1|}{R_1} \times 100\%; \quad \delta_{C_1}^{id} = \frac{|a_2|}{C_1} \times 100\%.$$

Дослідження алгоритму ідентифікації здійснено для АМ типу 4А71А4. Результати досліджень наведено на рис. 4.

Аналіз результатів моделювання запропонованого методу показує:

- алгоритм ідентифікації працює досить швидко, оскільки у процесі ідентифікації необхідно проводити обчислення лише за формулами (21), (22). Підрахунки $\mathbf{I}^H(t), \mathbf{u}^H(t)$ здійснюються попередньо.

- залежності відносних похибок ідентифікації від відносних відхилень параметрів мають нелінійний характер. Це пояснюється мультимодальністю цільової функції ідентифікації.

- найменшу похибку ідентифікації даний алгоритм дає при ідентифікації R_1 . Похибка ідентифікації C_1 має більші значення. Це свідчить про доцільність ідентифікації параметра C_1 іншими методами ідентифікації, наприклад, методами інваріантного поглиблення або аналітичними методами. Знайдене значення C_1 можна використати для початкового наближення при ідентифікації іншими методами.

1. Белоусова Н.В. Оценка технического состояния обмоток электрических машин по переходному процессу // Изв. вузов. Сер. Электромеханика. 1986. Т.7. С.44-48. 2. Поджаренко В.О., Сокол В.М., Селезньова Р.В. Математичні обчислення в Maple for Windows. Вінниця, 1997.