

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДАВАЧА СТРУМУ РЕЛЕ ІСКРОЗАХИСТУ

Чорноус Є.В., Шевченко О.А.

Донецький державний технічний університет

This article contains technical requirements to high frequency current transducer for spark protection. Determining the parameters of its equivalent circuit. Research dynamic properties by means of mathematical computer-aided simulation of the transient processes in the current transducer. Results may be useful to perfect characteristics of spark protection.

Постановка задачі. Практика експлуатації електрообладнання показала, що існують споживачі електроенергії, для яких звичайних засобів захисту в аварійних ситуаціях недостатньо. Перш за все мова йде про холодильне, комп'ютерне та офісне обладнання, розташоване, як правило, в житлових та громадських будівлях, де існує можливість виникнення іскрових розрядів в ослаблених контактних з'єднаннях або через пошкоджену ізоляцію між фазним та нульовим проводом. Із-за поступового нагріву контактних з'єднань, на які не реагують звичайні засоби захисту, можливе виникнення пожежі. Це особливо небезпечно в неробочий час, при відсутності працюючого персоналу [1].

Для боротьби з цим недоліком, що може стати передумовою до аварійної ситуації, кафедрою ЕПМ розробляється іскрозахисне реле, яке повинно реагувати на високочастотні складові струму, що виникають при вказаних іскрових розрядах [2]. Одним з найважливіших елементів такого реле є давач, реагуючий на збурення в колі, що виникають при іскрових розрядах.

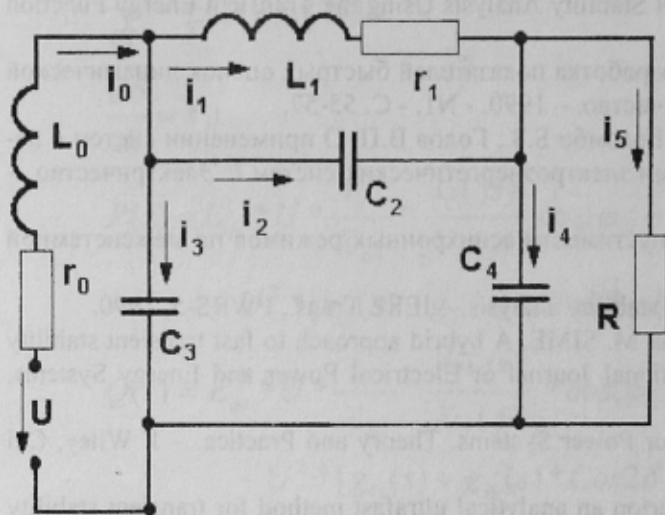


Рисунок 1

Виникнення іскрового розряду імітується стрибкоподібною зміною опору навантаження R , що в принципі відповідає дійсності, тому що іскра замикає собою деяку частину кола навантаження.

Технічні вимоги до давача іскрозахисту. Виходячи з постановки задачі технічні вимоги до давача іскрозахисту можна сформулювати наступним чином:

- давач повинен реагувати на всі види збурень, що супроводжують іскровий розряд;
- реакція давача на збурення в захищеному колі повинна відрізнятися від його реакції на збурення, що приходять з живлячої мережі;
- вихідний сигнал давача повинен бути відстроєний від частоти живлячої напруги;
- незначне власне споживання електроенергії.

Попередні дослідження показали, що давач рис.1 в основному відповідає цим вимогам, але для кінцевої відповіді необхідне моделювання його динамічних властивостей.

Ціллю даного дослідження являється розробка математичної моделі давача іскрозахисту, Mathcad – програми для його моделювання, дослідження основних його динамічних властивостей.

Математична модель. Схема заміщення давача разом з живлячою мережею та колом навантаження (рис. 1) містить п'ять накопичувачів енергії. Але з них три ємності створюють замкнуте коло, внаслідок чого напруга тільки двох з них являється незалежною. Це означає, що для математичного моделювання схеми достатньо чотирьох змінних стану, значення яких повністю і однозначно визначають стан модельованої системи рис. 1 в будь-який момент часу. В якості останніх прийемо два струми індуктивностей i_0 , i_1 а також напруги на двох ємностях u_{c2} , u_{c3} . Таким чином, схема рис. 1 описується в динаміці наступною системою диференціальних рівнянь:

Дослідники кафедри розглядали як варіанти дві основні схеми давача іскрозахисту: з індуктивним зв'язком, і з резонансним контуром. Попередній аналіз показав, що другий варіант більш перспективний.

В даній роботі ставиться задача дослідження динамічних властивостей давача іскрозахисту по другому варіанту, схема якого приведена на рис.1. Вона містить:

- еквівалентний генератор, представлений джерелом напруги $u(t)$ та внутрішнім опором r_0 , L_0 ;
- резонансний контур r_1 , L_1 , C_2 ;
- низькочастотний фільтр C_3 , C_4 ;
- опір навантаження R .

$$\begin{aligned}
 r_0 i_0 + L_0 i_0' + u_{c3} &= u(t); \\
 r_1 i_1 + L_1 i_1' - u_{c2} &= 0; \\
 i_0 - i_1 - C_2 u_{c2}' - C_3 u_{c3}' &= 0; \\
 i_1 + u_{c2}/R + (C_2 + C_4) u_{c2}' - u_{c3}/R - C_3 u_{c3}' &= 0.
 \end{aligned} \tag{1}$$

Ця ж система рівнянь, записана в символічній формі, моделює усталений синусоїдний режим досліджуваного кола:

$$\begin{aligned}
 I_0 (r_0 + j \cdot \omega \cdot L_0) + U_{c3} &= U(\alpha); \\
 I_1 (r_1 + j \cdot \omega \cdot L_1) - U_{c2} &= 0; \\
 I_0 - I_1 - j \cdot \omega \cdot C_2 U_{c2} - j \cdot \omega \cdot C_3 U_{c3} &= 0; \\
 I_1 + U_{c2}/R + j \cdot \omega \cdot (C_2 + C_4) \cdot U_{c2} - U_{c3}/R - j \cdot \omega \cdot C_3 \cdot U_{c3} &= 0.
 \end{aligned} \tag{2}$$

Враховуючи те, що досліджувана схема являє собою систему четвертого порядку, рішення однозначно визначено тільки при наявності шіснадцяти початкових умов. Чотири з них відомі з рішення системи (2). Це незалежні початкові умови, тобто значення сталих часу при $t = 0$. Інші дванадцять повинні бути знайдені з додаткової системи рівнянь, що приводиться нижче. При цьому всі значення функцій в рівняннях розглядаються в момент комутації ($t=0$).

$$\begin{aligned}
 r_0 i_0(0) + L_0 i_0'(0) + u_{c3}(0) &= u(0); \\
 r_1 i_1(0) + L_1 i_1'(0) - u_{c2}(0) &= 0; \\
 i_0(0) - i_1(0) - C_2 u_{c2}'(0) - C_3 u_{c3}'(0) &= 0; \\
 i_1(0) + u_{c2}(0)/R + (C_2 + C_4) u_{c2}'(0) - u_{c3}(0)/R - C_3 u_{c3}'(0) &= 0; \\
 r_0 i_0''(0) + L_0 i_0''(0) + u_{c3}''(0) &= u''(0); \\
 r_1 i_1''(0) + L_1 i_1''(0) - u_{c2}''(0) &= 0; \\
 i_0''(0) - i_1''(0) - C_2 u_{c2}''(0) - C_3 u_{c3}''(0) &= 0; \\
 i_1''(0) + u_{c2}''(0)/R + (C_2 + C_4) u_{c2}''(0) - u_{c3}''(0)/R - C_3 u_{c3}''(0) &= 0; \\
 r_0 i_0'''(0) + L_0 i_0'''(0) + u_{c3}'''(0) &= u'''(0); \\
 r_1 i_1'''(0) + L_1 i_1'''(0) - u_{c2}'''(0) &= 0; \\
 i_0'''(0) - i_1'''(0) - C_2 u_{c2}'''(0) - C_3 u_{c3}'''(0) &= 0; \\
 i_1'''(0) + u_{c2}'''(0)/R + (C_2 + C_4) u_{c2}'''(0) - u_{c3}'''(0)/R - C_3 u_{c3}'''(0) &= 0.
 \end{aligned} \tag{3}$$

Сутність дослідження властивостей динамічної системи полягає в тому, щоб знайти і дослідити рішення системи диференціальних рівнянь (1) при заданих початкових умовах. Останні, в свою чергу, можуть бути визначені в результаті аналізу усталеного режиму до комутації, для чого необхідно рішення системи (2). Така задача вирішується тільки за допомогою моделювання на ЕОМ. Схема алгоритму рішення цієї задачі, яка приведена на рис. 2, містить:

- список ідентифікаторів 1;
- блок вводу вихідних даних 2;
- блоки обчислення незалежних початкових умов та нового усталеного режиму, які працюють разом з підпрограмою рішення системи (2) 3, 3а;
- блок рішення характеристичного рівняння 4;
- блок визначення початкових умов для змінних стану 5;
- блок визначення постійних інтегрування та миттєвих значень змінних стану 6.

Mathcad – програма для дослідження давача іскрозахисту. Програма формується на основі схеми алгоритму (рис.2) за допомогою математичного забезпечення Mathcad [3]. Блок вводу вихідних даних,

$$\begin{aligned}
 j &:= \sqrt{-1} & \omega &:= 2 \cdot \pi \cdot 50 & r_0 &:= 1.5 & x_0 &:= 1.5 & U(\alpha) &:= 220 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{j \cdot \alpha} & r_1 &:= 0.1 \\
 L_1 &:= 0.1 \cdot 10^{-3} & C_2 &:= 1.8 \cdot 10^{-6} & C_3 &:= 0.5 \cdot 10^{-6} & C_4 &:= C_3 & R_1 &:= 220 & R_2 &:= 50 \\
 Z_0 &:= r_0 + j \cdot x_0 & Z_1 &:= r_1 + j \cdot \omega \cdot L_1 & L_0 &:= \frac{x_0}{\omega} & \alpha_1 &:= \frac{\pi}{4} & k &:= 0..3 & i &:= 0..3
 \end{aligned}$$

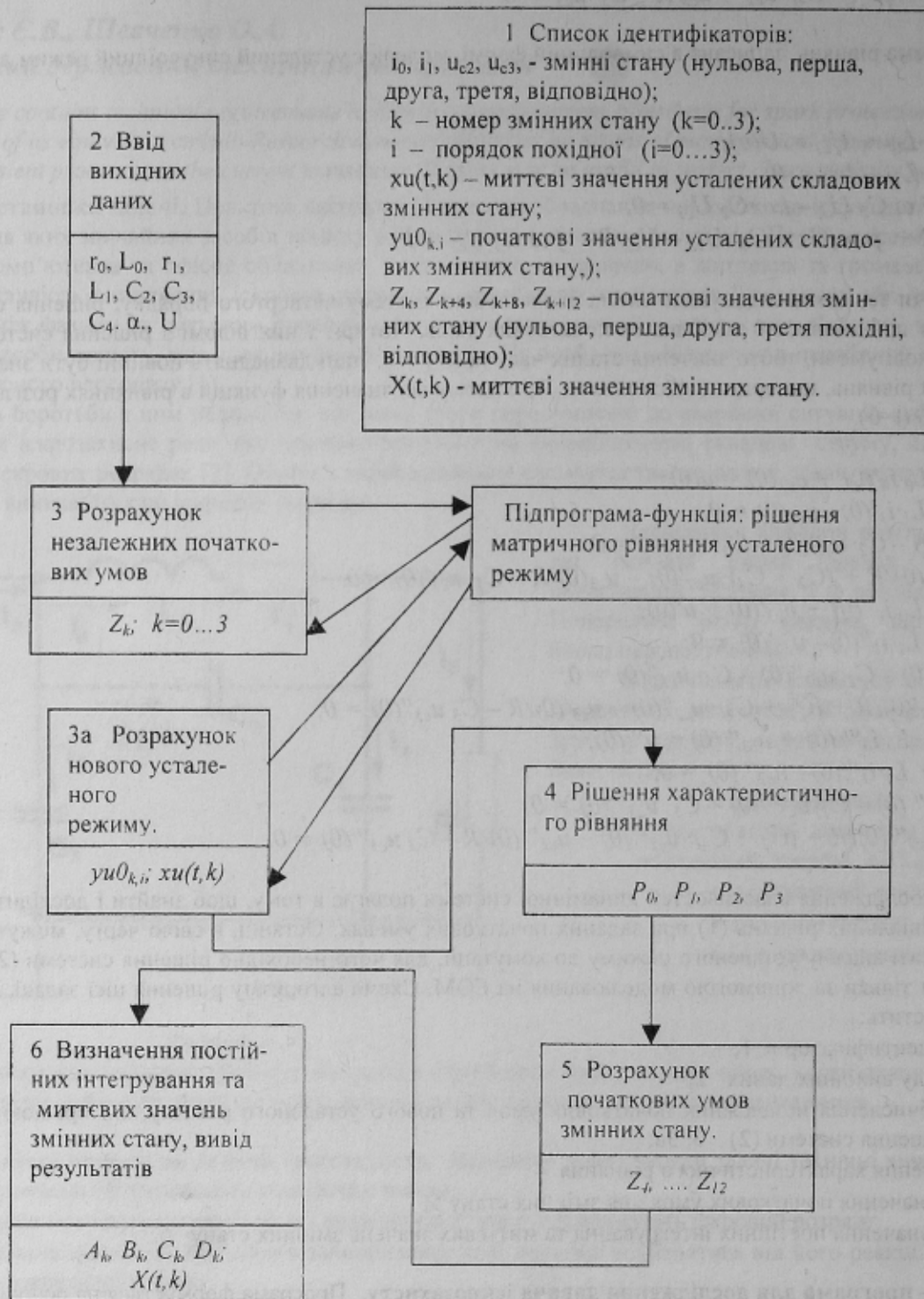


Рисунок. 2 Схеми алгоритму.

приведений нижче, крім вводу основних параметрів схеми заміщення (рис. 1), передбачає також визначення уявної одиниці j (це забезпечує стійку роботу програми в області комплексних змінних), фазового кута $\alpha 1$, що визначає момент комутації по відношенню до фази напруги джерела живлення. В цьому ж блоці проводиться розрахунок допоміжних даних ($Z0, Z1, L0$) та передбачуються два розрахункових цикла, параметри яких k , та i визначають номер змінної стану та порядок похідної цих же змінних стану відповідно (нульове значення i відповідає значенню самої функції).

Другий блок призначений для розрахунку ustalених режимів. Він складається з кількох функцій користувача, які виконують наступні дії:

- (A) – обчислює комплексні значення змінних стану;
- (B) – обчислює незалежні початкові умови (тобто значення змінних стану в момент $t=0$ до виникнення комутації)
- (C) - обчислює ustalені значення змінних стану і їх похідних (до третьої включно) для моменту $t=0$;
- (D) – обчислює миттєві значення ustalених складових змінних стану.

$$Y(R, \alpha) := \begin{bmatrix} Z0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & Z1 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & -(j \cdot \omega \cdot C2) & -j \cdot \omega \cdot C3 \\ 0 & 1 & \frac{1}{R} + j \cdot \omega \cdot (C2 + C4) & -\left(\frac{1}{R} + j \cdot \omega \cdot C4\right) \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} U(\alpha) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (A)$$

$$Z_k := |Y(R1, \alpha 1)_k| \cdot \sin(\arg(Y(R1, \alpha 1)_k)) \quad (B)$$

$$yu0_{k,i} := |Y(R2, \alpha 1)_k| \cdot \omega^i \cdot \sin\left(\arg(Y(R2, \alpha 1)_k) + \frac{\pi}{2} \cdot i\right) \quad (C)$$

$$xu(t, k) := |Y(R2, \alpha 1)_k| \cdot \sin(\omega \cdot t + \arg(Y(R2, \alpha 1)_k)) \quad (D)$$

Складання та рішення характеристичного рівняння. Характеристичне рівняння складаємо, застосовуючи до матриці коефіцієнтів системи рівнянь в символічній формі (2), формальну заміну $j \cdot \omega \rightarrow p$. В результаті одержуємо головний визначник матриці коефіцієнтів системи в операторній формі, який розкриваємо за допомогою символічної операції Determinant (меню Symbolics підменю Matrix).

$$\begin{bmatrix} r0 + p \cdot L0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & r1 + p \cdot L1 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & -(p \cdot C2) & -p \cdot C3 \\ 0 & 1 & \frac{1}{R} + p \cdot (C2 + C4) & -\left(\frac{1}{R} + p \cdot C4\right) \end{bmatrix}.$$

Для одержання поліноміальних коефіцієнтів характеристичного рівняння застосовуємо символічну операцію Polynomial Coefficients (меню Symbolics). В результаті одержуємо п'ять степеневих коефіцієнтів, значення яких присвоюємо символічному вектору $V(R)$. Останній сформовано як функцію користувача, що дозволяє використовувати його при будь-якій зміні опору навантаження.

$$V(R) := \begin{bmatrix} r0 + r1 + R \\ L0 + L1 + r0 \cdot r1 \cdot (C2 + C3) + r1 \cdot R \cdot (C2 + C4) + r0 \cdot R \cdot (C3 + C4) \\ L1 \cdot [r0 \cdot (C2 + C3) + R \cdot (C2 + C4)] + L0 \cdot [r1 \cdot (C2 + C3) + R \cdot (C3 + C4)] + r1 \cdot r0 \cdot R2 \cdot (C3 \cdot C4 + C2 \cdot C3 + C2 \cdot C4) \\ L0 \cdot L1 \cdot (C2 + C3) + L0 \cdot R \cdot r1 \cdot (C3 \cdot C4 + C2 \cdot C3 + C2 \cdot C4) + L1 \cdot R \cdot r0 \cdot (C3 \cdot C4 + C2 \cdot C3 + C2 \cdot C4) \\ L0 \cdot L1 \cdot R \cdot (C3 \cdot C4 + C2 \cdot C3 + C2 \cdot C4) \end{bmatrix}$$

Для одержання коренів характеристичного рівняння достатньо застосувати функцію $\text{polyroots}(V(R2))$ (тобто від формального параметру перейти до фактичного). В результаті одержуємо вектор p_k з чотирьох коренів, які і визначають динамічні властивості досліджуваної системи (в даному прикладі $R2=50 \text{ Ом}$).

$$p := \text{polyroots}(V(R2)) \quad p = \begin{pmatrix} -1.036 \times 10^4 + 1.047j \times 10^4 \\ -1.036 \times 10^4 - 1.047j \times 10^4 \\ -1.521 \times 10^3 - 6.972j \times 10^4 \\ -1.521 \times 10^3 + 6.972j \times 10^4 \end{pmatrix}$$

Нижче приводиться блок визначення початкових умов для змінних стану, що являє собою матричне вирішення системи рівнянь (3). Блок складається з матриці коефіцієнтів АК, вектора правих частин ВК і оператора матричного рішення $Z=AK^{-1} \cdot BK$ (для зниження порядку системи складові Z_4 та Z_5 знаходяться окремо).

$$AK := \begin{pmatrix} C2 & C3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ C2 + C4 & -C4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & C2 & C3 & 0 & C3 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & L0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & C3 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & L1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \frac{1}{R2} & -\frac{1}{R2} & 0 & 0 & C2 + C4 & -C4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & C2 & C3 \\ 0 & 0 & r0 & 0 & 0 & 1 & L0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r1 & -1 & 0 & 0 & L1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \frac{1}{R2} & -\frac{1}{R2} & 0 & 0 & C2 + C4 & -C4 \end{pmatrix}$$

$$Z_4 := \frac{1}{L0} \cdot (|U(\alpha1)| \cdot \sqrt{2} \cdot \sin(\alpha1) - r0 \cdot Z_0 - Z_3) \quad Z_5 := \frac{1}{L1} \cdot (-r1 \cdot Z_1 + Z_2)$$

$$BK := \begin{pmatrix} -Z_1 + Z_0 \\ -Z_1 + \frac{-Z_2 + Z_3}{R2} \\ -Z_5 + Z_4 \\ -r0 \cdot Z_4 + |U(\alpha1)| \cdot \omega \cdot \sin\left(\alpha1 + \frac{\pi}{2}\right) \\ -(r1 \cdot Z_5) \\ -Z_5 \\ 0 \\ |U(\alpha1)| \cdot \omega^2 \cdot \sin(\alpha1 + \pi) \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad := AK^{-1} \cdot BK \quad \begin{pmatrix} Z_6 \\ Z_7 \\ Z_8 \\ Z_9 \\ Z_{10} \\ Z_{11} \\ Z_{12} \\ Z_{13} \\ Z_{14} \\ Z_{15} \end{pmatrix}$$

Блок визначення миттєвих значень змінних стану являє собою рішення матричного рівняння, яке визначає значення постійних інтегрування А, В, С, D. Причому, це рішення проводиться чотирикратно в циклі з параметром k (по кількості змінних стану).

$$\begin{pmatrix} A_k \\ B_k \\ C_k \\ D_k \end{pmatrix} := \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ p_0 & p_1 & p_2 & p_3 \\ (p_0)^2 & (p_1)^2 & (p_2)^2 & (p_3)^2 \\ (p_0)^3 & (p_1)^3 & (p_2)^3 & (p_3)^3 \end{bmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} Z_k - yu_{k,0} \\ Z_{k+4} - yu_{k,1} \\ Z_{k+8} - yu_{k,2} \\ Z_{k+12} - yu_{k,3} \end{pmatrix}$$

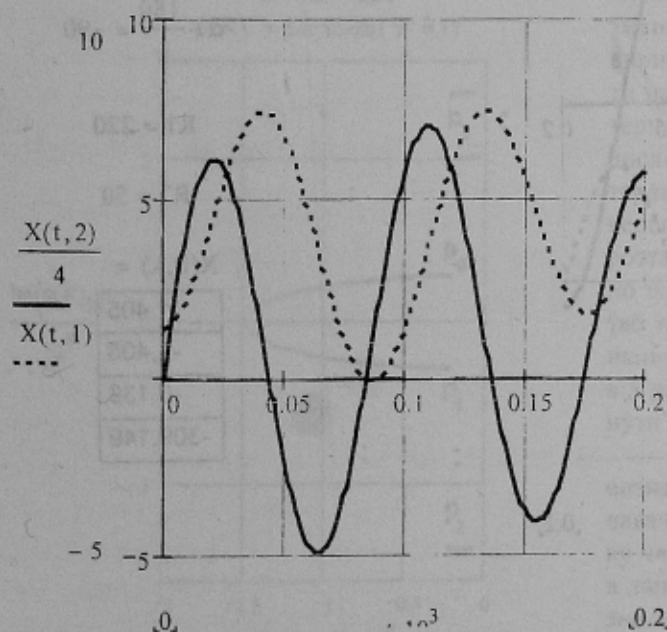
$$X(t, k) := xu(t, k) + 2 \cdot \text{Re} \left(A_k \cdot e^{p_0 \cdot t} \right) + 2 \cdot \text{Re} \left(C_k \cdot e^{p_2 \cdot t} \right)$$

В цьому ж циклі обчислюються миттєві значення змінних стану X(t,k), що визначаються сумою миттєвих значень усталених складових і чотирьох експоненціальних складових.

Визначені таким чином миттєві значення змінних стану X(t,k) являються основним об'єктом подальшого дослідження.

Основні результати дослідження. Ціллю дослідження динамічних властивостей давача іскрозахисту являється перевірка його відповідності тим технічним вимогам, які сформульовані в "Технічних вимогах до давача іскрозахисту". За базовий варіант прийняті умови, за яких виникнення іскри імітується стрибкоподібною зміною опору навантаження з 220 до 50 Ом, а комутація виникає в момент переходу напруги мережі живлення через максимум ($\alpha 1 = \pi/2$). Результати виконаного по цьому варіанту дослідження приведені на рис.3, де показано:

- X(t,2) – вихідна напруга давача, В (жирна суцільна лінія, масштаб зменшено в чотири рази);
- X(t,1) – струм індуктивності (пунктирна лінія), А;
- $\alpha 1$ – початкова фаза напруги живлення (кут комутації в градусах);
- R1, R2 – "стрибок" опору навантаження при комутації, Ом (імітація виникнення іскри);
- Z₀...Z₃ – незалежні початкові умови всіх змінних стану, А, В.



$$R1 = 220$$

$$R2 = 50$$

$$\alpha 1 \cdot \frac{180}{\pi} = 90 \quad X(0, k) =$$

1.405
1.405
0.139
309.149

В складі вихідної напруги давача переважає складова частоти, близької до власної частоти контура L₁-C₂ (11 кГц), причому, тривалість перехідного процесу складає 4–5 мс. Амплітуда першої напівхвилі вихідного сигналу, що являється визначальною для розпізнавання виниклої

ситуації, досягає 25В, а початкова фаза близька до нуля.

Для виявлення впливу значення кута комутації на амплітуду вихідної напруги давача проведемо другий дослід, який відрізняється від першого тільки одним – значенням $\alpha_1=45^\circ$. Результати цього дослідження приведені на рис.4. При співставленні цих результатів з попередніми основною відмінністю є те, що амплітуда першої напівхвилі вихідного сигналу зменшилась до 16В, що в цілому підтверджує ту особливість, що ця величина пропорційна миттєвому значенню напруги живлення в момент комутації.

$$\alpha_1 \cdot \frac{180}{\pi} = 45$$

$$R_1 = 220$$

$$R_2 = 50$$

$$X(0, k) =$$

1.055
1.02
0.132
217.019

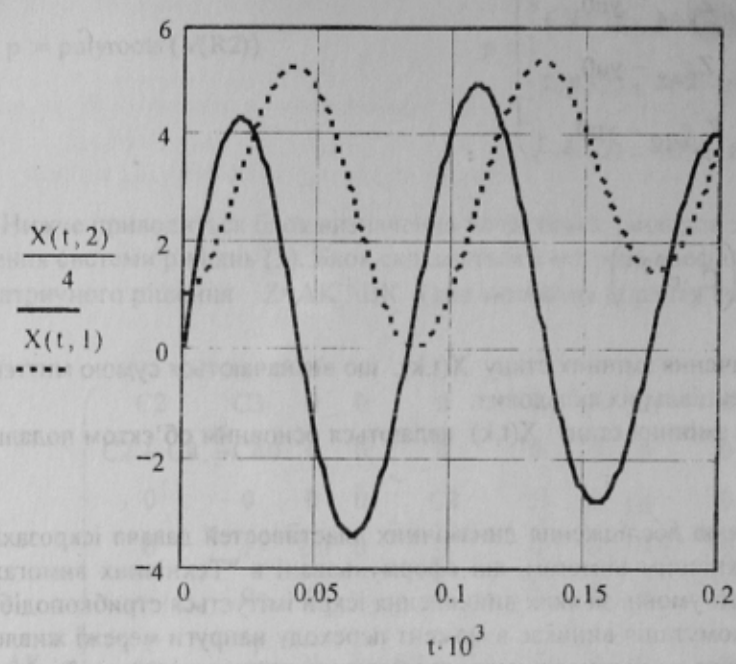


Рисунок 4

Останню гіпотезу підтверджує також і третій дослід, який відрізняється від першого зміною кута комутації на половину періоду, що змінює знак напруги джерела живлення в момент комутації (і всіх незалежних початкових умов).

Це ілюструється на рис. 5, де фаза вихідної напруги давача, (і струму індуктивності) змінилася на половину періоду.

$$\alpha_1 \cdot \frac{180}{\pi} = -90$$

$$R_1 = 220$$

$$R_2 = 50$$

$$X(0, k) =$$

-1.405
-1.405
-0.139
-309.149

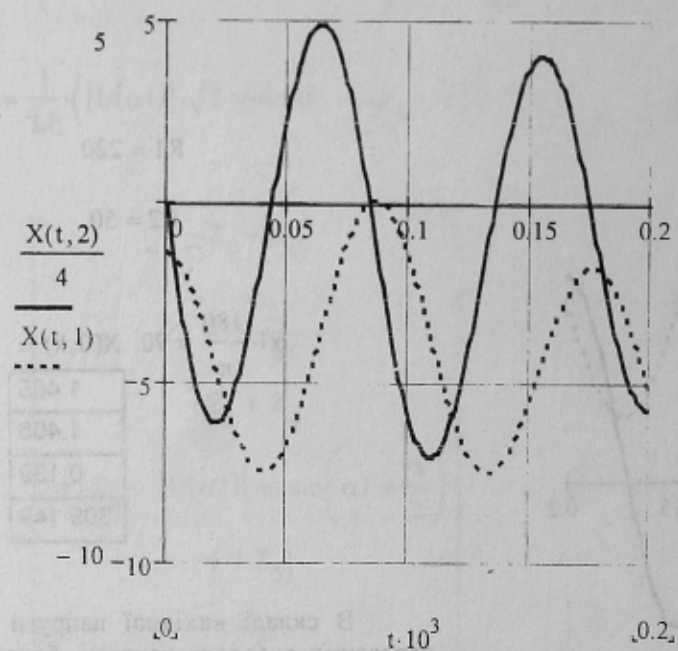


Рисунок 5

З цих трьох дослідів стає зрозумілим, що фаза та амплітуда першої напівхвилі вихідного сигналу давача функціонально зв'язана з кутом комутації і, таким чином, дає змогу відрізняти сигнали давача, обумовлені виникненням іскріння в навантаженні від випадкових збурень, які надходять з мережі живлення.

Практичне значення для оцінки стійкості і працездатності давача може мати комутація, обумовлена погуханням іскри. Найбільш ймовірно, що це відбувається в момент проходження напруги живлення через нуль. Результати цього дослідів приведені на рис.6. Зникнення іскри імітується зворотною комутацією з меншого опору навантаження ($R1=50$ Ом) на більший ($R2=220$ Ом). Основний результат – практична відсутність вихідного сигналу (значенням амплітуди на рівні 0.1 В знехтуємо) можна було передбачити з аналізу перших трьох дослідів.

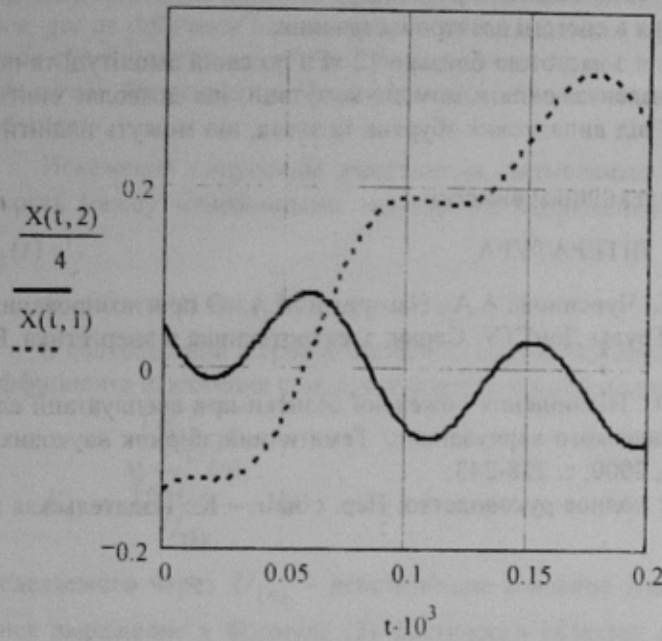


Рисунок 6

$$\alpha 1 \cdot \frac{180}{\pi} = 0$$

$$R1 = 50$$

$$R2 = 220$$

$$X(0, k) =$$

-0.087
-0.135
0.176
-8.914

Дійсно, основний перехідний процес, обумовлений виникненням іскри, на цей момент уже закінчився, а новий, обумовлений її зникненням, починається при нульовому значенні напруги. Тим більш важливо, що цей дослід побічно підтверджує перші три.

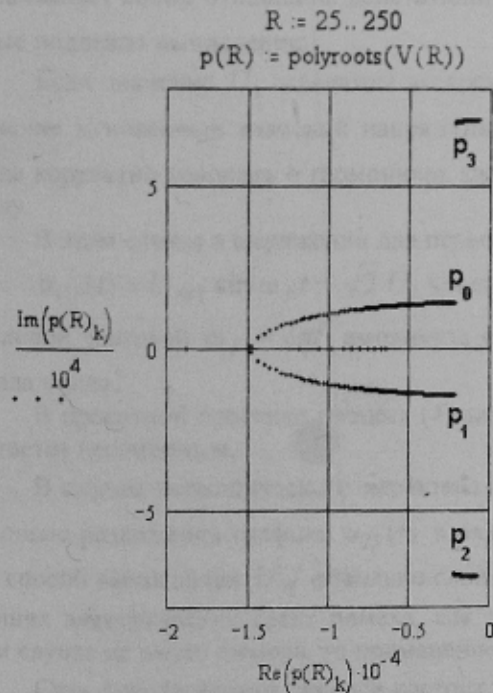


Рисунок 7

Практичний інтерес представляє “глибина” комутації, тобто на яку величину виникаюча іскра може зменшити еквівалентний опір навантаження і як це вплине на динамічні властивості давача. Щоб відповісти на це питання прослідкуємо за рухом коренів характеристичного рівняння на комплексній площині, тобто дослідимо кореневі годографи при зміні опору R в інтервалі від 250 до 25 Ом з кроком 1 Ом. На рис. 7 приведені результати цього дослідів. Геометричні місця розташування коренів (годографи) позначені відповідно їх індексів $p_0...p_3$. Необхідно відзначити, що масштаб по вертикалі (тобто по осі уявних чисел) в порівнянні з віссю дійсних чисел (по горизонталі) “стиснуто” в 5 разів, (в протилежному разі рис. 7 не вдалося б “втиснути” в габарити сторінки).

З попередніх дослідів встановлено, що найбільш визначальними для формування вихідного сигналу давача є корені p_2 і p_3 , які забезпечують більш високу частоту коливань (12 кГц). Характерно що ці корені в даному досліді при зміні R майже не змінюють своїх значень. Незначно змінюється лише їх дійсна частина, а уявна частина, яка визначає частоту коливань в контурі L_1-C_2 , залишається практично незмінною. Два другі корені p_0 і p_1 проходять більш значний шлях на комплексній площині, причому, обумовлені ними складові вихідного сигналу давача низькочастотні, а

при $R \leq 30$ Ом стають експоненціальними (корені p_0 і p_1 стають дійсними). Це означає, що від цих складових легко "відмежуватись" при синтезі схеми іскрозахисту і, таким чином підвищити стійкість її роботи.

Висновки по результатах дослідження. Виконані дослідження і проведений аналіз одержаних результатів дозволяє зробити наступні висновки:

- запропонована схема заміщення давача іскрозахисту та розроблена його математична модель адекватно відтворюють протікаючі в ньому реальні фізичні процеси, а результати моделювання в цілому узгоджуються з тими експериментальними даними, що одержані на кафедрі ЕПМ;
- розроблена Mathcad – програма для дослідження математичної моделі дозволяє з достатньою для практики точністю промодельювати будь-яку робочу ситуацію давача іскрозахисту;
- давач інтенсивно реагує на будь-які збурення в системі електропостачання;
- основна складова реакції давача на збурення з частотою близько 12 кГц по своїй амплітуді та початковій фазі функціонально зв'язана з фазою струму навантаження в момент комутації, що дозволяє синтезувати схему захисту таким чином, щоб "відмежуватись" від випадкових збурень та завад, що можуть надійти з живлячої мережі;
- давач іскрозахисту відповідає поставленим технічним вимогам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Васин А.А., Ковалев А.П., Шевченко О.А., Чурсинова А.А., Нагорный М.А. О прогнозировании экзотических пожаров по Донецкой области // Труды ДонГТУ. Серия: электротехника и энергетика. Вып. 4. Донецк, 1999, с.214-216.
2. Васин О.О., Ковальов О.П., Писарев М.Ф. Підвищення пожежної безпеки при експлуатації електрообладнання підприємств торгівлі та громадського харчування // Тематичний збірник наукових праць ДонДУЕТ, вип. 4.т.2: Донецьк: ДонДУЕТ, 2000, с. 238-243.
3. М. Херхагер, Х. Патроль. Mathcad 2000: полное руководство: Пер. с нем. – К.: Издательская группа BHV, 2000. – 416 с.

