

О. С. Яндульський¹
 А. А. Марченко¹
 В. М. Хлистов¹

МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОПРОЦЕСОРНОГО ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА

¹Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

Розглянуті питання моделювання мікропроцесорного диференційного захисту силового трансформатора в середовищі програмного забезпечення Matlab. Проведені дослідження працездатності моделі в характерних режимах роботи трансформатора.

Ключові слова: мікропроцесорний диференційний захист трансформатора, моделювання захисту, гальмівна характеристика, гальмівний та диференційний струми.

Вступ

Передача електроенергії в електричних системах вимагає багаторазової трансформації в підвищувальних та понижувальних трансформаторах. Тому силовий трансформатор є важливим елементом електричної мережі будь-якого класу напруги і від його надійної роботи та коректної роботи його захисту залежить надійність роботи електричної системи в цілому. Використання мікропроцесорних захистів підвищує надійність захисту та розширює його функціональність. Умовою надійної роботи захисту є його правильне налаштування. Правильному вибору робочих параметрів гальмівної характеристики диференційного захисту трансформатора сприяє моделювання гальмівної характеристики і її дослідження в нормальному та аварійному режимах роботи трансформатора [1].

В роботі запропонована модель цифрового диференційного захисту силового трансформатора, яка реалізована стандартними блоками середовища програмного забезпечення Matlab на основі гальмівної характеристики та алгоритму роботи терміналу Sepam 87T (Schneider Electric) [2, 3].

Матеріали дослідження

Для вибору уставок спрацювання цифрового диференційного захисту Sepam 87T трансформатора відповідно до [2] необхідно враховувати такі параметри: мінімальна уставка I_{ds} ; крутизна гальмівної характеристики першої похилої ділянки I_d/I_{t1} ; крутизна гальмівної характеристики другої похилої ділянки I_d/I_{t2} ; точка зміни крутизни SLP ; струм спрацювання диференційної відсічки I_{dmax} ; уставка блокування по другій гармоніці I_{2f}/I_{1f} .

Математична модель зони спрацювання гальмівної відсоткової характеристики диференційного захисту трансформатора може бути представлена таким чином:

$$\begin{aligned} I_{d*} &\geq I_{ds}; \quad I_{t*} \leq 2; \\ I_{d*} &\geq (I_d/I_{t1})I_{t*}, \quad 2 < I_{t*} \leq SLP; \\ I_{d*} &\geq (I_d/I_{t2})I_{t*}, \quad SLP < I_{t*} \leq I_{d*}/(I_d/I_{t2}); \\ I_{d*} &\geq I_{dmax*}, \quad I_{t*} > 0, \end{aligned}$$

де I_{d*} , I_{t*} — відносні значення диференційного та гальмівного струмів захисту.

У відповідності до алгоритму роботи захисту [2] та параметрів гальмівної характеристики розроблена в середовищі Matlab модель гальмівної характеристики з блокуванням від кидка струму намагнічування (КСН) на основі гармонічного аналізу наскрізного струму за 2-ю гармонікою. Вхідними параметрами моделі гальмівної характеристики є сигнали диференційного та гальмівного струмів захисту, а також низка констант: номінальний струм трансформатора і координатні точки гальмівної характеристики — I_{ds} , I_d/I_{t1} , I_d/I_{t2} , SLP , I_{dmax} . Випробовування моделі гальмівної характеристики на всіх чотирьох ділянках довели її працездатність та коректність роботи.

Для дослідження цифрового диференційного захисту силового трансформатора в різних режимах роботи трансформатора пропонується інтегрувати модель гальмівної характеристики (вторинне коло) в модель трансформатора або фрагменту мережі (первинне коло) в єдиному середовищі Matlab.

Такий підхід дозволив розробити лінійку об'єднаних моделей для дослідження диференційного захисту трансформатора в характерних режимах роботи трансформатора — нормальний, режим к.з. (в зоні дії захисту, поза зоною), увімкнення під напругу, увімкнення на к.з., які різняться тільки структурою первинного кола. Випробовування розроблених моделей підтвердили їх працездатність та адекватність відповідним діям реального диференційного реле.

На рис. 1 подана розроблена стандартними блоками Matlab [3] функціональна схема об'єднаної моделі диференційного захисту трансформатора та фрагменту мережі для дослідження, наприклад, режиму увімкнення трансформатора під напругу (режим кидка струму намагнічування).

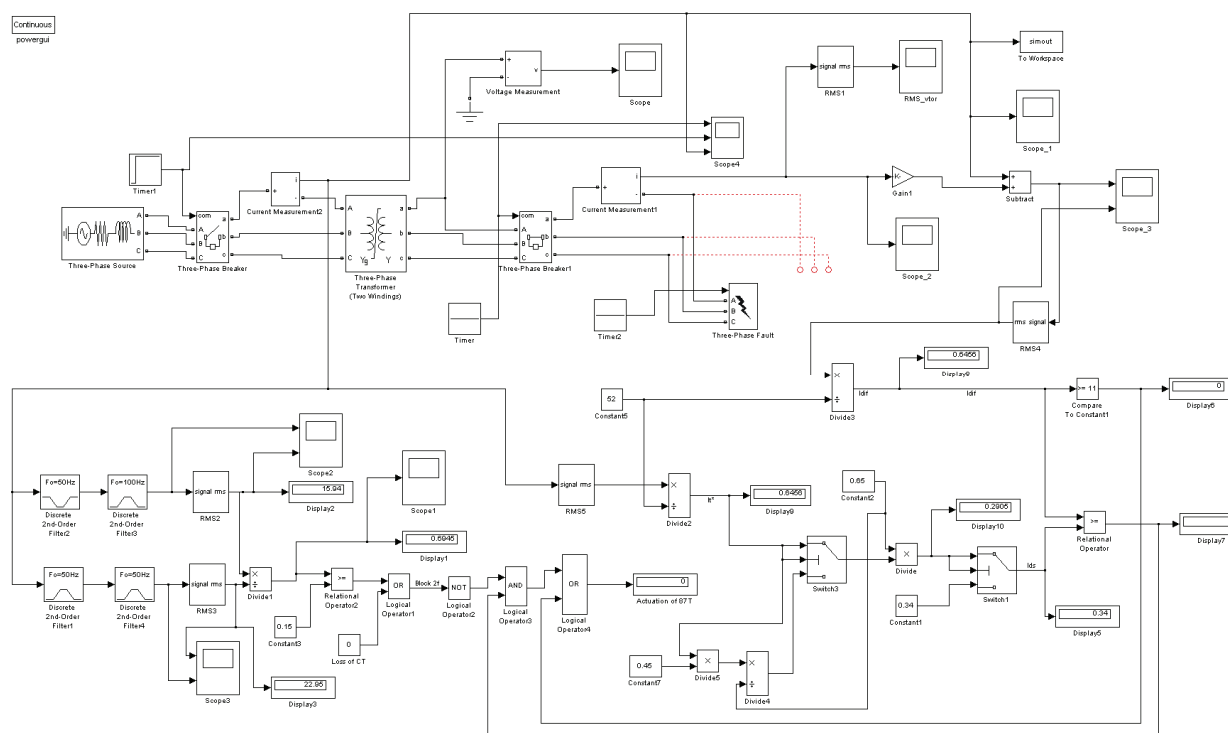


Рис. 1. Функціональна схема моделювання дифзахисту трансформатора в режимі кидка струму намагнічування

Розрахунок параметрів моделі трансформатора та гальмівної характеристики диференційного захисту (див. рис. 1) здійснено для трансформатора: 10 МВА, 115/10,5 кВ, $U_K = 10,5\%$, $\Delta U = \pm 16\%$, $\Delta P_K = 60$ кВт, $\Delta P_X = 14$ кВт, $I_X = 0,85\%$. Вхідними параметрами моделі захисту трансформатора є: сигнал диференційного струму I_{dif} , сигнал наскрізного (гальмівного) струму I_t , а також ряд сталих: номінальний струм сторони ВН (52 А), параметри гальмівної характеристики (0,34; 0,45; 0,65; 4,0; 11), уставка блокування за 2-ю гармонікою (0,15).

Під час випробовування в режимі увімкнення трансформатора на холостий хід (режим кидка струму намагнічування) вимикач на стороні ВН вмикав трансформатор під напругу в момент $t = 0,08$ с від початку моделювання напруги живлення. Кидки струмів фаз В і С є однополярними негативними, а кидок струму у фазі А — однополярним позитивним. Значення струму КСН приблизно в два рази перевищує номінальний струм трансформатора. На схемі зафіксовані в момент часу $t = 0,2$ с такі результати (RMS): $I_{dif}^* = 0,65$; $I_t^* = 0,65$; $I_{ds}^* = 0,34$ (спрацьовує перша ділянка гальмівної характеристики (ГХ) — $0,65 > 0,34$), відносний рівень 2-ї гармоніки — 69% (спрацьовує блокування за 2-ю гармонікою — $0,69 > 0,15$).

Бачимо, що захист трансформатора не спрацював: вихідний сигнал захисту 87Т — 0. Хоча диференційний струм знаходиться в зоні спрацювання першої ділянки гальмівної характеристики (коректна реакція на кидок струму намагнічування): вихідний сигнал ГХ (дисплей 7) — 1. Але, з причини блокування за другою гармонікою: сигнал Block 2f — 1, на блок AND надходять різнілогічні сигнали 0 і 1. Це блокує дію захисту (вихідний сигнал 87Т — 0). Отже, досліджуючи захист в режимі КСН, запропонована модель цифрового захисту працює коректно.

На рис. 2 показані сигнали, отримані під час роботи моделі в режимі кидка струму намагнічування. Для досліджуваного трансформатора встановлено, що період згасання струму намагнічування до рівня $I_{d\text{sm}\text{in}} = 0,34$ складає $t = 1,3$ с, після чого вихідний сигнал блока гальмівної характеристики повертається в початковий стан (сигнал — 0).

Також досліджувався вплив на кидок струму намагнічування моментів увімкнення трансформатора відносно періоду синусоїдальної напруги живлення (0,01...0,08 с). Аналіз осцилограм показав, що характер і рівень кидка струму намагнічування залежать від моменту часу увімкнення трансформатора та параметрів ланцюга намагнічування трансформатора. Встановлено, що максимальне значення кидка струму намагнічування буде мати місце у випадку збігу моментів часу увімкнення трансформатора та переходу кривої напруги живлення через 0 й настає в момент часу подальшого переходу кривої напруги через 0, тобто через півперіод після увімкнення трансформатора під напругу. Кидок струму намагнічування відстає по фазі від напруги на чверть періоду й має полярність відповідно до знаку напівхвилі напруги після увімкнення вимикача. Найменше значення кидка струму намагнічування має місце у разі увімкнення трансформатора в моменти позитивного або негативного максимумів кривої напруги живлення.

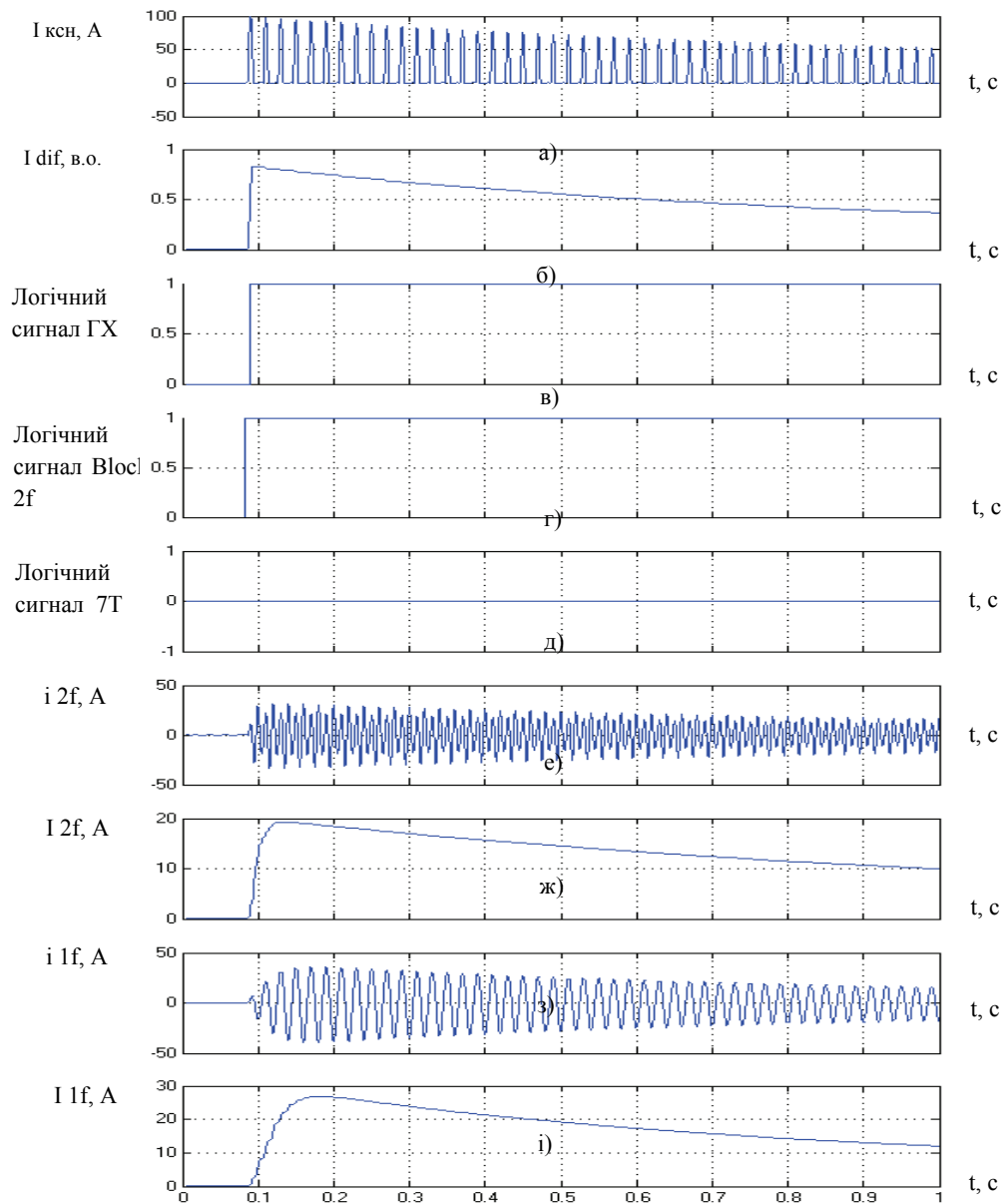


Рис. 2. Сигнали, отримані під час дослідження моделі в режимі КСН:

а — кидок струму намагнічування; б — диференційний струм (діюче значення); в — сигнал спрацювання гальмівної характеристики; г — сигнал блокування за 2-ю гармонікою КСН; д — сигнал спрацювання захисту (Actuation of 87T); е, ж, з, і — друга та перша гармоніки КСН (миттєві та діючі значення)

Звичайно, для аналізу та розрахунку диференційного захисту слід приймати до розгляду найбільше можливе значення кидка струму намагнічування. Встановлено, що трифазний кидок струму намагнічування має різні полярності, періоди (1,2 с; 2,2 с; 3,2 с) та характери згасання у трьох фазах. Кидок струму намагнічування представляє собою зміщений відносно осі часу t несинусоїдальний сигнал (рис. 2а), в якому відсутні напівхвилі протилежного знаку, що характерно для парних гармонік. Тому друга гармоніка в робочому сигналі гальмівного струму є надійним ідентифікатором кидка струму намагнічування.

Висновки

Особливістю запропонованої моделі цифрового диференційного захисту трансформатора є можливість її інтегрування в модель трансформатора (мережі), що дозволяє одночасно досліджувати як режим роботи трансформатора (первинне коло), так і відповідну реакцію захисту (вторинне коло) в різних режимах, при різних координатах гальмівної характеристики.

Аналіз отриманих осцилограм гальмівного та диференційного струмів в характерних режимах (нормальний, к.з., кидок струму намагнічування), гармонічний аналіз та часові діаграми спрацювання елементів моделі підтвердили працездатність моделі та її адекватність відповідним діям реального диференційного реле.

Модель доцільна для перевірки роботи цифрового диференційного захисту трансформатора, вибору оптимальної форми гальмівної характеристики та уточнення уставок за можливих змін конфігурації мережі та режимів і характеристик трансформатора, що дозволяє підвищити ефективність захисту трансформатора.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Засыпкин А. С. Релейная защита трансформаторов / А. С. Засыпкин. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 240 с.
2. Методика расчета уставок дифференциальной защиты трансформаторов. Серам Т87. Выпуск № 9. — Shneider Electric, 2007. — 16 с.
3. Черных И. В. Моделирование электротехнических устройств в Matlab, SimPower Systems и Simulink / И. В. Черных. — СПб.: Питер, 2008. — 288 с.

Рекомендовано кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 29.01.2014

Яндутьський Олександр Станіславович — д-р. техн. наук, професор кафедри автоматизації енергосистем;

Марченко Анатолій Андрійович — канд. техн. наук, доцент кафедри автоматизації енергосистем;

Хлустов Валерій Михайлович — старший викладач кафедри автоматизації енергосистем, e-mail: khlystov@ukr.net.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ

O. S. Yandulskyy¹
A. A. Marchenko¹
V. M. Khlystov¹

Simulation of Microprocessor Differential Protection of Transformer

¹National Technical University «Kyiv Politechnical Institute»

The questions of microprocessor differential protection of power transformer in the environment of Matlab software are considered. The studies of model in the characteristic modes of operations of transformer are conducted in the paper.

Keywords: microprocessor-based differential defence of transformer, design of defence, brake description, brake and differential currents

Yandulskiy Oleksandr S. — Dr. Sc. (Eng.), Professor of the Chair of Automation of Power Systems;

Marchenko Anatolii A. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Automation of Power Systems;

Khlystov Valerii M. — Senior Lecturer of the Chair of Automation of Power Systems, e-mail: khlystov@ukr.net

А. С. Яндульский¹
А. А. Марченко¹
В. М. Хлыстов¹

Моделирование микропроцессорной дифференциальной защиты трансформатора

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

Рассмотрены вопросы моделирования микропроцессорной дифференциальной защиты силового трансформатора в среде программного обеспечения Matlab. Проведены исследования работоспособности модели в характерных режимах работы трансформатора.

Ключевые слова: микропроцессорная дифференциальная защита трансформатора, моделирование защиты, тормозная характеристика, тормозной и дифференциальный токи.

Яндульский Александр Станиславович — д-р техн. наук, профессор кафедры автоматизации энергосистем;
Марченко Анатолий Андреевич — канд. техн. наук, доцент кафедры автоматизации энергосистем;
Хлыстов Валерий Михайлович — старший преподаватель кафедры автоматизации энергосистем, e-mail: khlystov@ukr.net