УДК 621.311

П.М. Баран, В.П. Кідиба, Я.Д. Пришляк, В.М. Шмагала
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра електричних мереж та систем

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АНАЛІЗУ ІНФОРМАЦІЇ З ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ

© Баран П.М., Кідиба В.П., Пришляк Я.Д., Шмагала В.М., 2003

Створена спеціалізована програма для всебічного аналізу цифрограм, отриманих з цифрових пристроїв релейного захисту та автоматики зарубіжних та вітчизняних фірм.

In this work we have made the specific computer program for detailed analysis of oscillograms which were taken from digital relay and automatic protection devices of foreign and national design.

Постановка проблеми

Останнім часом в енергосистемах України широко впроваджуються цифрові пристрої захисту, автоматики, сигналізації та керування. Однією з основних переваг цифрових пристроїв порівняно з традиційними є можливість запам’ятовування інформації про координати аварійних, особливих, нормальних режимів, а також про перемикання в силових та вторинних колах. Це дає можливість експлуатаційному персоналові детально аналізувати роботу силового та вторинного обладнання, а також перевіряти правильність своїх дій під час керування роботою енергосистеми.

Аналіз останніх досліджень

Цифрові пристрої розробляються різними фірмами, найвідомішими з яких є SIEMENS, ABB, ALSTOM, IMCKOE та інші [1, 2]. Разом із пристроями фірмами поставляється і спеціальне програмне забезпечення, за допомогою якого здійснюється обробка цифрової інформації, зчитаної з пам’яті пристроїв. У кожної фірми є свої підходи та принципи формування спеціального програмного забезпечення, а також різні протоколи зберігання інформації. Для підвищення надійності функціонування пристроїв захисту та автоматики на підстанціях та електричних станціях використовують обладнання різних фірм. Тому в експлуатаційного персоналу виникають труднощі під час роботи зі спеціальним програмним забезпеченням різних цифрових пристроїв.

Постановка задачі

Спеціальне програмне забезпечення (СПЗ) повинно відповідати таким критеріям:

- універсальність, тобто можливість працювати з інформацією, отриманою з цифрових пристроїв різних фірм;
- наявність простого інтерфейсу, що дає змогу користувачам, які на недостатньо високому рівні працюють на персональних комп’ютерах, швидко засвоїти принципи роботи з СПЗ;
- багатофункціональність, тобто наявність ряду функцій, яких немає в існуючих програмах, або вони в них є недостатньо розвинені. Це дає можливість користувачеві робити глибокий та всебічний аналіз інформації, отриманої з цифрових пристроїв захисту та автоматики.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Виклад основного матеріалу

Спеціальне програмне забезпечення написано з використанням системи програмування DELPHI і призначене для роботи в середовищі операційної системи WINDOWS.

Робота з СПЗ починається з вибору файла, в якому записана інформація, отримана з цифрового пристрою. Ця інформація зчитується з пам'яті пристрою і записується на персональний комп'ютер (ПК) безпосередньо через порт обміну ПК, або через оптоволоконний зв'язок пристрою з ПК як це практикують всі зарубіжні фірми, або через проміжну FLASH-пам'ять, як це пропонує, наприклад, IMCKOE. Останній варіант на сучасному етапі розвитку енергосистем України, на наш погляд є привабливішим, тому що не вимагає перенесення ПК безпосередньо до місця встановлення цифрового пристрою, оскільки мереж, які б об'єднували цифрові пристрої захисту та автоматики з диспетчерськими пунктами, практично немає.

Отже, після зчитування інформації з цифрових пристроїв та запису її у файли, користувач може здійснювати її аналіз за допомогою запропонованого спеціального програмного забезпечення.

Після вибору потрібного файла у вікні відображається така інформація: координати режиму (напруги, струми), дискретні величини (інформація про стан комутаційного обладнання, реле) (рис. 1). Користувачеві надається можливість вибрати потрібну інформацію (1-й стовпець), при цьому можна змінити колір координати (2-й стовпець), яка буде виводитись в задане вікно (4-й стовпець), виконати за необхідності масштабування величини сигналу та задати відносний зсув у часі (відповідно 5-й та 6-й стовпці). Після виконання цих операцій натискається кнопка "Затвердити" і на дисплей комп'ютера виводяться вибрані цифрограми.

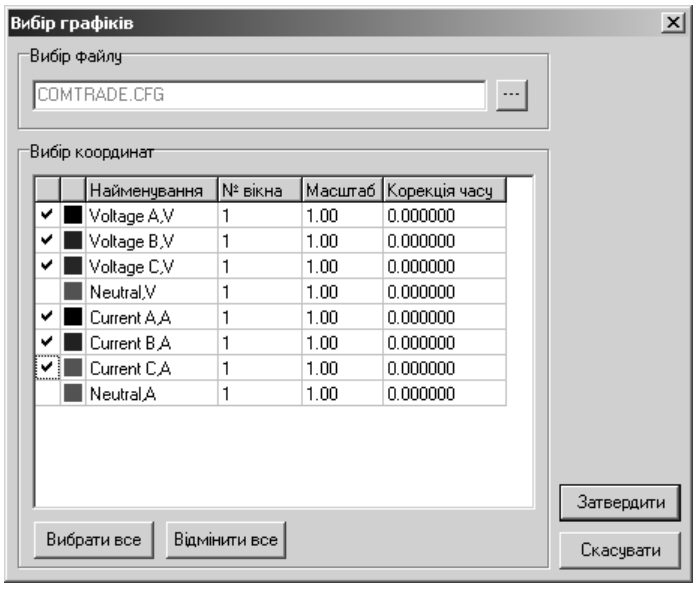

Рис. 1. Вибір координат режиму

Над відображеними цифрограмами користувач, задаючи в меню потрібну команду, може здійснювати такі дослідження:

• *виділяти фрагмент цифрограми*, задаючи потрібний інтервал часу – у вікні виведеться лише вибраний фрагмент цифрограми. Переміщаючись вздовж часової осі

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

можна переглядати цілу цифрограму. Передбачена також можливість задавати різний режим масштабування по осі ординат;

• *виводити інформацію про миттєві значення координат режиму*. Після вибору даної команди курсор маніпулятора “миша” підводиться до вікна з цифрограмами, натискається ліва клавіша й у верхній частині екрана з’являється вікно з інформацією про час та миттєві значення координат режиму. Переміщуючи курсор “миші” вздовж осі часу, можна переглядати миттєві значення координат режиму для будь-якого моменту часу;

• *здійснювати гармонічний аналіз координат режиму*. Для цього необхідно вибрати з цифрограми фрагмент координати режиму, який відповідає періоду промислової частоти (початковий, кінцевий час вибраного фрагмента чи частоту можна коректувати у додатковому діалоговому вікні, яке з’являється після вибору фрагмента). Потрібно також задавати максимальну гармоніку, включно до якої необхідно здійснювати гармонічний аналіз. Після необхідного коригування здійснюється гармонічний аналіз, внаслідок якого на екрані комп’ютера з’являються два вікна (рис. 2). В одному з них виводяться відносні значення величин гармонічних складових. У другому вікні виводиться фрагмент координати режиму, для якої здійснюється гармонічний аналіз та результуюча крива, отримана внаслідок зворотної операції – підсумовування всіх отриманих гармонічних складових. За необхідності можна отримати результати гармонічного аналізу в табличній формі;

• *виділяти симетричні складові з трифазних координат режиму*. Для цього необхідно виділити фрагмент із трьома або шістьма координатами режиму за період промислової частоти, відкоригувати за необхідності через діалогове вікно початковий, кінцевий час чи частоту. Внаслідок виконання даної команди на екран дисплею виводиться вікно, в якому відображаються симетричні складові та результуюча векторна діаграма. Для прикладу на рис. 3 зображені координати струму під час однофазного к.з. на лінії та отримані симетричні складові за вибраний час (на цифрограмах вибраний фрагмент виділений маркерами М1 та М2);

• *здійснювати перегляд зміни симетричних складових у часі.* Попередньо на цифрограмах зміни координат режиму в часі (3-х струмів та 3-х напруг) необхідно вибрати часовий діапазон, протягом якого хочемо бачити зміну симетричних складових у часі. Після виконання цієї команди на екран дисплею виводяться чотири вікна. У першому вікні відображається зміна координат режиму на вибраному часовому діапазоні. У другому вікні відображається зміна діючих значень всіх фазних струмів та напруг.

Діючі значення визначаються для кожного моменту часу, який відповідає точці дискретизації за виразом

$$F = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T f^2(t) \cdot dt}\,, \qquad (1)$$

де T – період промислової частоти; f – миттєве значення струму (напруги) для моменту часу t. Враховуючи дискретний характер інформації про миттєві значення струмів та напруг, робоча формула розрахунку діючих значень струмів та напруг має вигляд

$$F \approx \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \sum_{k=1}^{N-1} (f_{k+1} + f_k)/2 \cdot h}\,, \qquad (2)$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

де f_{k+1}, f_k – значення координат режиму (струмів, напруг) для k+1 та k точок дискретизації з умови, що на період промислової частоти T є N вибірок; h – крок дискретизації за часом.

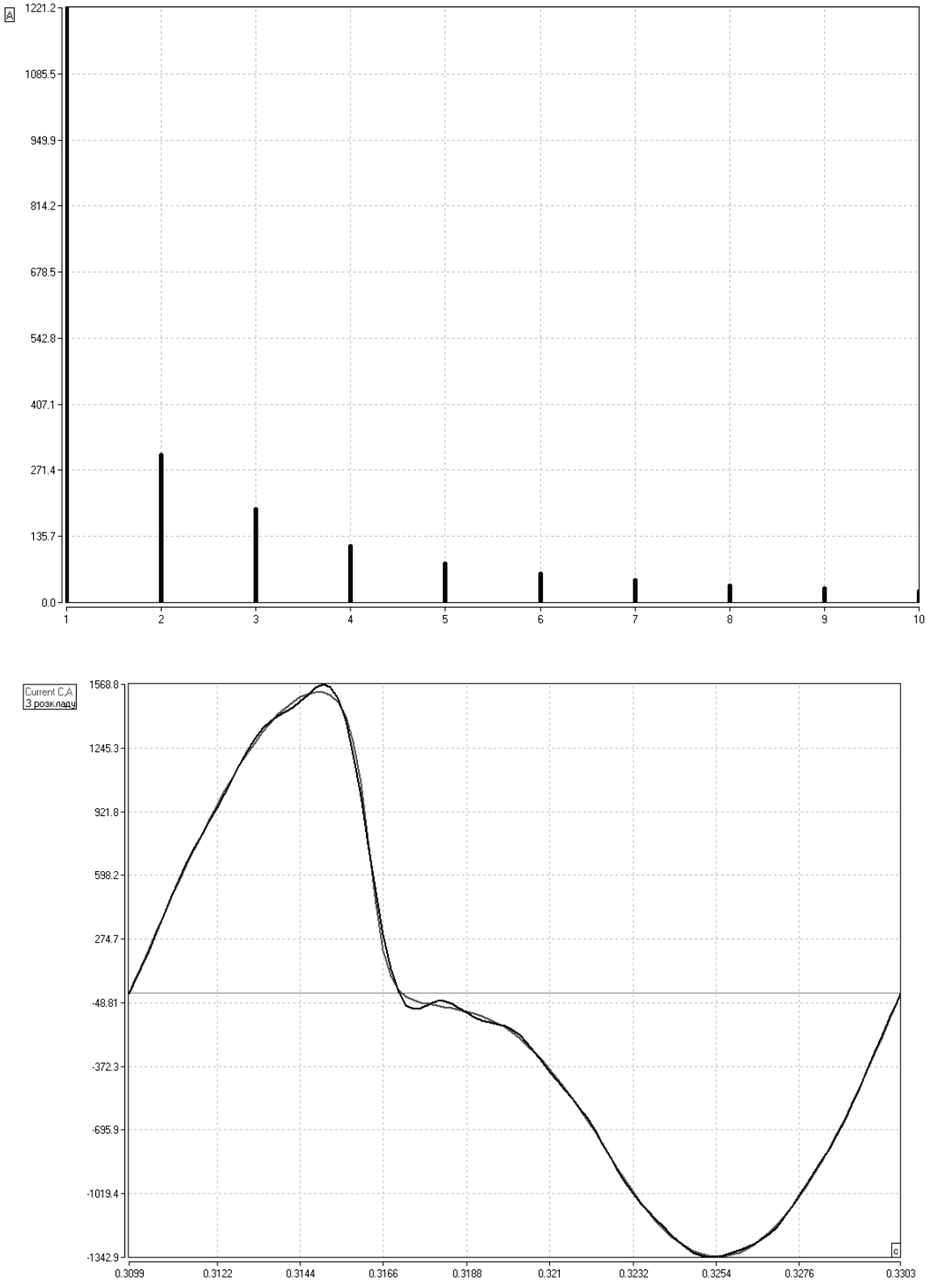

Рис. 2. Гармонічний аналіз координати режиму

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

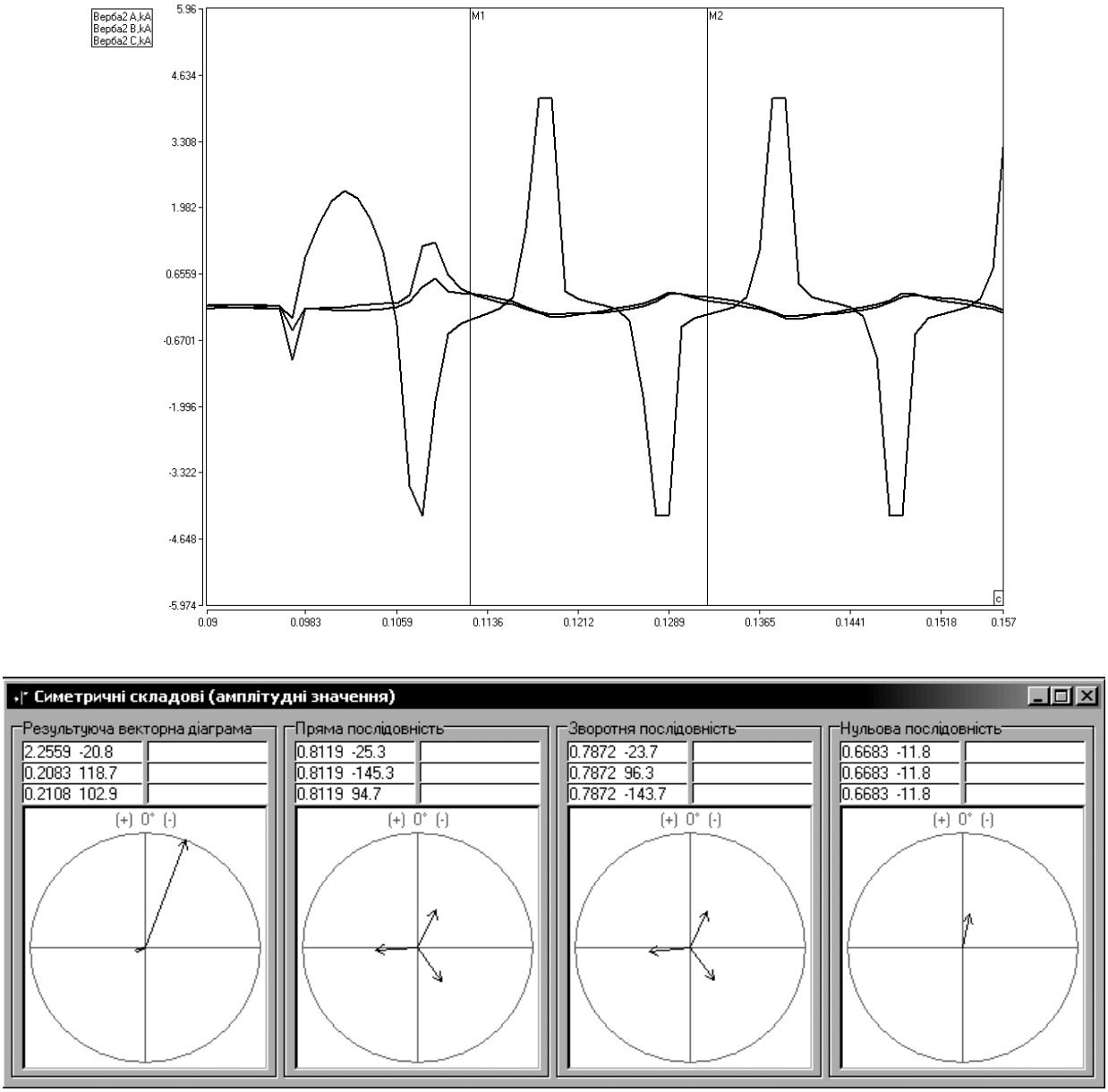

Рис. 3. Розклад координат режиму на симетричні складові

За виразом (2) здійснюється розрахунок діючого значення величини для кожної точки дискретизації.

У третьому вікні виводиться зміна симетричних складових у часі на вибраному діапазоні – це значення прямої, зворотної та нульової послідовностей напруг та струмів.

Для визначення значень симетричних складових спочатку здійснюється цифрова фільтрація миттєвих значень фазних струмів та напруг – виділяється гармоніка основної частоти. Для цифрової фільтрації використовується фільтр Фур'є. Знаходяться синусні та косинусні складові і на їх основі визначаються значення величин симетричних складових. Нижче наводяться робочі формули розрахунку синусних та косинусних складових струмів (напруг)

$$F_{Js} = -\frac{2}{T}\cdot\sum_{k=1}^{N}(f_J(k)\cdot\sin((k-1)\cdot\frac{2\cdot\pi}{N}) + f_J(k+1)\cdot\sin(k\cdot\frac{2\cdot\pi}{N}))/2\cdot h,$$

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$F_{Jc} = \frac{2}{T} \cdot \sum_{k=1}^{N} (f_J(k) \cdot \cos((k-1) \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N}) + f_J(k+1) \cdot \cos(k \cdot \frac{2 \cdot \pi}{N})) / 2 \cdot h, \quad (3)$$

де $f_J(k), f_J(k+1)$ – значення координат режиму для кожної фази (струмів, напруг) для k та k+1 точок дискретизації, де J=A,B,C; h – крок дискретизації за часом;

На основі синусних та косинусних складових, отриманих для струмів (напруг) кожної фази визначаються симетричні складові струмів та напруг

$$\begin{aligned}
F_{1s} &= F_{As} - \frac{1}{2} \cdot (F_{Bs} + F_{Cs}) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (F_{Cc} - F_{Bc}), \\
F_{1c} &= F_{Ac} - \frac{1}{2} \cdot (F_{Bc} + F_{Cc}) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (F_{Bs} - F_{Cs}), \\
F_1 &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{F_{1s}^2 + F_{1c}^2}, \\
F_{2s} &= F_{As} - \frac{1}{2} \cdot (F_{Bs} + F_{Cs}) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (F_{Bc} - F_{Cc}), \\
F_{2c} &= F_{Ac} - \frac{1}{2} \cdot (F_{Bc} + F_{Cc}) - \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot (F_{Cs} - F_{Bs}), \\
F_2 &= \frac{1}{3} \cdot \sqrt{F_{2s}^2 + F_{2c}^2}, \\
F_{0s} &= F_{As} + F_{Bs} + F_{Cs}, \quad F_{0c} = F_{Ac} + F_{Bc} + F_{Cc}, \quad F_0 = \frac{1}{3} \cdot \sqrt{F_{0s}^2 + F_{0c}^2}.
\end{aligned} \quad (4)$$

Розрахунок значень симетричних складових трифазних струмів та напруг проводиться за виразами (3), (4) для кожної точки дискретизації.

У четвертому вікні виводиться зміна в часі еквівалентних активних та реактивних опорів прямої, зворотної та нульової послідовностей.

Ці опори визначаються на основі співвідношень активної та реактивної потужностей для кожної симетричної складової

$$\begin{aligned}
P_i &= I_i^2 \cdot R_i, \\
Q_i &= I_i^2 \cdot X_i,
\end{aligned} \quad (5)$$

де I_i – значення струму для кожної послідовності, отримані за виразами (4), R_i, X_i – еквівалентні активні та реактивні опори для кожної послідовності, i = 0,1,2.

Виразивши значення активної та реактивної потужностей через синусні та косинусні складові напруг та струмів відповідних симетричних складових, отримуємо формули для розрахунку еквівалентних активних та реактивних опорів симетричних складових послідовностей

$$\begin{aligned}
R_i &= \frac{U_{ic} \cdot I_{ic} + U_{is} \cdot I_{is}}{I_{ic}^2 + I_{is}^2}, \\
X_i &= \frac{U_{is} \cdot I_{ic} - U_{ic} \cdot I_{is}}{I_{ic}^2 + I_{is}^2}.
\end{aligned} \quad (6)$$

• *виконати математичні операції з координатами режиму.* Ця функція потрібна для визначення координат режиму, які не осцилографуються безпосередньо цифровим

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

пристроєм захисту чи автоматики, наприклад активна потужність, реактивна потужність, величини прямої, нульової та зворотної послідовностей тощо;

• *побудова годографа опору*. Цю функцію можна використовувати для перевірки роботи, наприклад, дистанційних захистів. Передбачена можливість побудови зон спрацювання окремих ступенів вимірних органів захисту. Зони можна будувати будь-якої форми. Годограф опору будується на основі вибраних координат режиму (напруги та струму) та накладається на задані раніше зони спрацювання окремих ступенів. Третьою координатою годографа є час. На підставі отриманих результатів можна зробити висновок про правильність спрацювання (не спрацювання) вимірних органів дистанційного захисту та реальний час спрацювання. На рис. 4 зображений приклад побудови годографа опору під час к.з. на лінії.

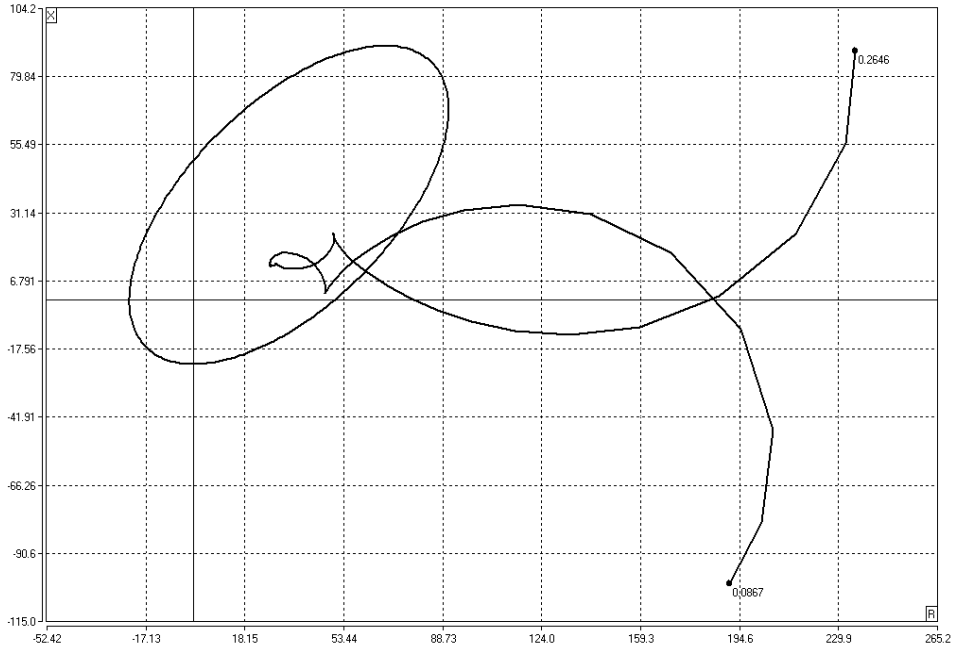

Рис. 4. Годограф опору під час виникнення к.з. на лінії

Висновки

Запропоноване спеціальне програмне забезпечення має суттєві переваги порівняно з існуючими в експлуатації:

• містить низку спеціальних функцій, які дозволяють зробити повний аналіз роботи пристроїв РЗА на основі цифрограм про координати режиму (напруг та струмів), а також про стан дискретних пристроїв (вимикачів, пускових органів, вихідних реле тощо);

• дозволяє аналізувати інформацію, отриману від різних цифрових пристроїв РЗА, які мають різні протоколи зберігання інформації. У разі появи нових протоколів, які можуть з'явитись під час розвитку цифрових пристроїв РЗА, вони легко адаптуються до запропонованого СПЗ;

• зручний інтерфейс дозволяє користувачам швидко адаптуватись до роботи в середовищі запропонованого СПЗ;

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

• може використовуватись інженерами, які працюють в експлуатації електроенергетичних систем, проектних інститутах, науковими працівникам та студентам вищих навчальних закладів електроенергетичних спеціальностей.

1. The Electricity Counsil, 1981, IEE: Power System Protection 2 – System and Methods, pg. 86; Published by Peter Peregrinus Ltd., Stevenhage, UK. 2. Omicron Electronics Corp.: CMC Software User's Manual, chapter Distance relays.

УДК 621.314:621.316

З.М. Бахор, Б.І. Дурняк, А.Я. Яцейко, Р.А. Похна
Національний університет "Львівська політехніка",
кафедра електричних мереж та систем

ПЕРЕНАПРУГИ ПІД ЧАС ВИМКНЕННЯ ДВИГУНІВ

© Бахор З.М., Дурняк Б.І., Яцейко А.Я., Похна Р.А., 2003

Наведено результати дослідження кратностей комутаційних перенапруг на двигуні 250 кВт за різної довжини кабелю живлення і режиму роботи електромережі.

Shown results of experiments with switching overvoltage ratio on the engines with 250kWt for different lengths of feeding cable and operational modes in electrical network.

Постановка проблеми

Для мереж 6–35 кВ з ізольованою чи резонансно-заземленою нейтраллю властивими є внутрішні перенапруги – комутаційні, ферорезонансні, під час замикання фази на землю. Ці перенапруги є небажаними як за частотою виникнення, так і кратністю, а в деяких випадках і небезпечними, бо рівень перенапруги в мережі перевищує випробувальну напругу ізоляції електрообладнання. Комутаційні перенапруги супроводжують технологічні та аварійні перемикання в мережах. Здебільшого такі перемикання не приводять до перенапруг значних кратностей, але під час деяких комутаційних процесів, наприклад, увімкнення та вимкнення ненавантажених ліній, вимкнення ненавантажених трансформаторів, увімкнення та вимкнення двигунів тощо, виникають перенапруги значних кратностей, які можуть перевищувати перенапруги від замикання фази на землю та ферорезонансні [1, 2].

У статті наведено результати дослідження комутаційних перенапруг під час нормального та аварійного вимкнення двигунів 6 кВ. Ізоляція високовольтних двигунів розрахована на менші допустимі кратності внутрішніх перенапруг, ніж електрообладнання з нормальною та полегшеною ізоляцією. Так, якщо допустима кратність внутрішніх перенапруг для електрообладнання з полегшеною ізоляцією лежить в межах 4,2–5,2 відносно найбільшої робочої фазної напруги, то для ізоляції високовольтних електродвигунів вона становить – 2,2–2,4 [1]. Ізоляція високовольтних двигунів є найвразливішим елементом стосовно внутрішніх перенапруг, тому дослідження рівня перенапруг у мережах з високовольтними двигунами заслуговує на увагу.

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua