

Як зрозуміло, вибір форми відображення нелінійності для побудови макромоделей нелінійних динамічних об'єктів з використанням оптимізації є складним, недосить вивченим і важливим питанням, яке існує під час автоматизації розглядуваного методу побудови макромоделей.

1. Стахів П.Г., Козак Ю.Я. Побудова макромоделей електромеханічних компонент із використанням оптимізації // *Технічна електродинаміка*. – 2001. – № 4. – С. 33–36. 2. Полак Э. Численные методы оптимизации. Единый подход. – М.: Мир, 1974. – 396 с. 3. Растрюгин Л.А., Рипа К.К., Тарасенко Г.С. Адаптация случайного поиска. – Рига: Зинатне, 1978. – 242 с. 4. Козак Ю.Я. Модифікація методу направляючого конуса Растрюгіна // *Електроніка і зв'язь. – Темат. вып.: Проблеми фізической и биомедицинской электроники*. – 1997. – С. 424. 5. Kozak Y., Sehedo M., Stachiv P. *Mathematical macromodel of turbogenerator based on experimental data // Proceedings of VI-th Scientific and Technical Conference SIECI 2008, pp. 411-414*. 6. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ. – М.: Наука, 1991. – 431 0441.

УДК 681.5.017

П.Й. Тарасевич

Институт электродинамики НАН Украины

## **ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ВИЯВЛЕННЯ ВИСОКОВОЛЬТНИХ ВИМИКАЧІВ НАПРУГОЮ 110–750 КВ, ЩО ВІДМОВИЛИ**

© Тарасевич П.Й., 2009

**Наведені статистичні дані про ймовірність виникнення відмови високовольтних вимикачів напругою 110–750 кВ на розподільчих пристроях підстанцій. Запропоновано новий спосіб виявлення вимикачів, що відмовили, та результати порівняння його із способом, який широко застосовують нині на розподільчих пристроях підстанцій.**

**The statistical information of probability of the high-voltage switch failures of 110-750 kV on the substations are submitted. The new way of detecting of the failures switches and results of comparison with way widely used on substations at present is offered.**

Вимоги до надійності високовольтних вимикачів, які встановлені на розподільчому пристрої підстанції, є першочерговими. Від вдалого проведення комутаційних операцій залежить робота не тільки підстанції, де встановлені вимикачі, але й часто всієї енергосистеми. Для підвищення показників безвідмовної роботи вимикачів на підстанціях використовують пристрої резервування відмови вимикачів (ПРВВ), а також системи сигналізації вимикачів, які відмовили. Наявність цих пристроїв та систем дозволяє зменшити негативні наслідки, які зумовлені відмовами, завдяки оперативній оцінці та своєчасному впливу на ситуацію, яка виникла.

Для підстанцій з приєднаннями, на яких встановлені високовольтні вимикачі, застосування системи сигналізації відмовленого вимикача є обов'язковою вимогою. Обслуговуючий персонал завдяки системі сигналізації, може оперативно визначити відмовлений вимикач та прийняти відповідні заходи для поновлення живлення ліній, які відключені ПРВВ.

Сьогодні завдання визначення вимикачів, які відмовили, на розподільчих пристроях підстанцій вирішують винятково за допомогою систем сигналізації. Такий підхід характеризують зайві матеріальні витрати порівняно зі способом, який запропоновано в цій роботі. Дослідження показують, що ефективно виявлення вимикачів, які відмовили, є досить актуальним завдяки ось чому.

Частка вимикачів в загальній кількості пошкоджень елементів розподільчих пристроїв (РП) значна і становить не менше 30 % (до 50 % для іноземних комплектних РП з елегазовою ізоляцією) [1]. На ймовірність виникнення відмови вимикача впливає велика сукупність чинників: 1) електричних апаратів (безпосередньо вимикачів з приводом, вимірювальних трансформаторів, роз'єднувачів); 2) станив пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА); 3) умови ремонтно-експлуатаційного обслуговування; 4) природнокліматичне середовище тощо.

У табл.1 наведено перелік відмов вимикачів з приводами без врахування аварійності трансформаторів струму та роз'єднувачів, які встановлені в комірках вимикачів, їх ошиновки, а також пристрої РЗА приєднань. Дані, отримані в результаті аналізу відмов 669 вимикачів на 32 підстанціях 110-750 кВ магістральних електричних мереж об'єднаної енергосистеми Центру Росії за 1992–2002 рр. [1].

Як очевидно з наведеного, ймовірність відмови –  $\omega$  одного вимикача невелика, проте із-за наявності декількох вимикачів в експлуатації, ймовірність появи відмови вимикача за рік збільшується. Наприклад, на підстанції 750 кВ встановлено 6 вимикачів типу ВНВ-750, тоді ймовірність відмови одного вимикача для цієї групи, відповідно до теореми про додавання ймовірностей, дорівнюватиме сумі ймовірностей відмови 6 вимикачів цього типу – 0,366 [2]. Ймовірність відмови вимикача стала значно більшою та, якщо врахувати аварійність трансформаторів струму, роз'єднувачів, пристроїв РЗА та інших факторів стане ще вищою.

Таблиця 1

**Відмови безпосередньо вимикачів з приводами**

| Вимикачі     | Тип вимикача | Загальна кількість розглянутих вимикачів | Розподілення відмов за рівнями напруг, кВ |     |     |     |     | $\omega$ , 1/рік |
|--------------|--------------|--|---|-----|-----|-----|-----|------------------|
|              |              |  | 110                                       | 220 | 330 | 500 | 750 |                  |
| Повітряні    | ВНВ-750      | 9  | -   | -   | -   | -   | 6   | 0,061            |
|              | ВВБ-750      | 5  | -   | -   | -   | -   | 1   | 0,018            |
| Повітряні    | ВНВ-500      | 7  | -   | -   | -   | 5   | -   | 0,065            |
|              | ВВБК-500     | 30                                       | -   | -   | -   | 17  | -   | 0,052            |
|              | ВВБ-500      | 15                                       | -   | -   | -   | 6   | -   | 0,036            |
|              | ВВ-500(Б)    | 76                                       | -   | -   | -   | 31  | -   | 0,037            |
| Елегазові    | ВГУ-500      | 8  | -   | -   | -   | 3   | -   | 0,075            |
|              | ФХТ-17       | 15                                       | -   | -   | -   | 1   | -   | 0,013            |
| Повітряні    | ВНВ-330      | 9  | -   | -   | 8   | -   | -   | 0,081            |
|              | ВВ-300Б      | 22                                       | -   | -   | 5   | -   | -   | 0,021            |
|              | ВВН-330      | 13                                       | -   | -   | 1   | -   | -   | 0,007            |
| Повітряні    | ВВБК-220     | 14                                       | -   | 1   | -   | -   | -   | 0,006            |
|              | ВВД-220      | 53                                       | -   | 4   | -   | -   | -   | 0,007            |
|              | ВВБ-220      | 85                                       | -   | 4   | -   | -   | -   | 0,004            |
|              | ВВН-220      | 58                                       | -   | 10  | -   | -   | -   | 0,016            |
| Елегазові    | ВГУ-220      | 5  | -   | 3   | -   | -   | -   | 0,055            |
| Повітряні    | ВВУ-110      | 17                                       | 1   | -   | -   | -   | -   | 0,005            |
|              | ВВШ-110      | 22                                       | 2   | -   | -   | -   | -   | 0,008            |
|              | ВВН-110      | 87                                       | 10  | -   | -   | -   | -   | 0,010            |
|              | ВВБМ-110Б    | 29                                       | 2   | -   | -   | -   | -   | 0,006            |
| Маломасляні  | ВМТ-110      | 14                                       | 3   | -   | -   | -   | -   | 0,019            |
|              | У-110        | 31                                       | 4   | -   | -   | -   | -   | 0,012            |
|              | МКП-110      | 16                                       | 3   | -   | -   | -   | -   | 0,017            |
|              | МКП-110М     | 27                                       | 2   | -   | -   | -   | -   | 0,007            |
| Елегазові    | ВГТ-110      | 2  | 3   | -   | -   | -   | -   | 0,3              |
| <i>Разом</i> |              | 669                                      | 30  | 22  | 14  | 63  | 7   |                  |

Відмова вимикачів з приводами в статичному стані, при оперативних перемикаваннях та при відімкненні к. з. наведено в табл. 2 [1]. Від 21,4 до 50 % відмов вимикачів відбувається при відімкненні к. з., у цій ситуації спрацьовує ПРВВ та процес визначення ситуації стає значно тривалішим та складнішим, ніж при знаходженні в статичному стані та оперативних перемикаваннях. Тому саме для таких випадків система визначення відмовленого вимикача є особливо необхідною.

Таблиця 2

**Відмови безпосередньо вимикачів з приводами в різних режимах**

| Відмова                        | Розподілення відмов (%) за рівнями напруг (кВ) |       |       |       |       |         |
|--------------------------------|--|-------|-------|-------|-------|---------|
|                                | 110  | 220   | 330   | 500   | 750   | 110-750 |
| В статичному стані             | 30,0   | 18,2  | 28,6  | 19,0  | 28,6  | 22,8    |
| При оперативних перемикаваннях | 20,0   | 36,3  | 50,0  | 42,9  | 42,8  | 37,5    |
| При відключенні к.з.           | 50,0   | 45,5  | 21,4  | 38,1  | 28,6  | 39,7    |
| <i>Разом</i>                   | 100,0  | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0   |

Ненадійність (відмова функціонування) пристроїв РЗА та, як результат, відмова (зайве, помилкове спрацьовування) призводить до появи достатньо великої групи відмов вимикачів. Такі випадки виникають при к.з. на приєднанні та відмові або неможливості роботи основної або резервної системи РЗА, яка діє на цей вимикач. Ліквідація к.з. відбувається під дією ПРВВ, що призводить до відімкнення не тільки цього, але й суміжних приєднань.

У табл. 3 [1] наведено структуру відмов вимикачів із-за порушень роботи пристроїв РЗА в статичному стані, при оперативних перемикаваннях та відімкненні к. з. Як очевидно з таблиці, відмова в статичному стані вимикачів на 500–750 кВ перевищує складніший режим відімкнення к. з.

Дані про остаточно повно відмови безпосередньо вимикачів з приводами та відмов із-за порушень роботи пристроїв РЗА наведено в табл.4 [1].

Таблиця 3

**Відмови вимикачів із-за порушень роботи пристроїв РЗА в різних режимах**

| Відмова                        | Розподіл відмов (%) за рівнями напруг (кВ) |            |           |            |           |             |
|--------------------------------|--|------------|-----------|------------|-----------|-------------|
|                                | 110  | 220        | 330       | 500        | 750       | 110–750     |
| В статичному стані             | 23,5                                       | 31,2       | 22,2      | 40,2       | 60,0      | 36,7        |
| При оперативних перемикаваннях | -  | 31,2       | 22,2      | 22,8       | 20,0      | 20,9        |
| При відключенні к. з.          | 76,5                                       | 37,6       | 55,6      | 37,0       | 20,0      | 42,4        |
| <i>Разом</i>                   | 100,0 (17)                                 | 100,0 (16) | 100,0 (9) | 100,0 (92) | 100,0 (5) | 100,0 (139) |

Таблиця 4

**Відмови безпосередньо вимикачів з приводами та відмови із-за порушень роботи пристроїв РЗА в різних режимах**

| Відмова                        | Розподіл відмов (%) за рівнями напруг (кВ) |            |            |             |            |             |
|--------------------------------|--|------------|------------|-------------|------------|-------------|
|                                | 110  | 220        | 330        | 500         | 750        | 110-750     |
| В статичному стані             | 27,7                                       | 23,7       | 26,1       | 31,6        | 41,7       | 29,8        |
| При оперативних перемикаваннях | 12,8                                       | 34,2       | 39,1       | 31,0        | 33,3       | 29,1        |
| При відключенні к.з.           | 59,5                                       | 42,1       | 34,8       | 37,4        | 25,0       | 41,1        |
| <i>Разом</i>                   | 100,0 (47)                                 | 100,0 (38) | 100,0 (23) | 100,0 (155) | 100,0 (12) | 100,0 (275) |

У табл. 5 [1] наведено випадки відмов вимикачів, які не призводять та які призводять до втрати приєднань. За наведеними даними можна зробити висновок, що 70–75 % відмов призводить до втрати одного або більше приєднань. При втраті приєднань, обслуговуючому персоналу необхідно оперативно з'ясувати ситуацію та вжити заходи з відновлення живлення відімкнених неаварійних приєднань.

**Структура відмов безпосередньо вимикачів з приводами  
та із-за порушень роботи пристроїв РЗА за кількістю відімкнених приєднань**

| Напруга, кВ | Відмови, які призводять до втрати приєднань, % |               | Відмови, які не призводять до втрати приєднань, % | Разом, % | Всього відмов, шт. |
|-------------|--|---------------|---|----------|--------------------|
|             | одного   | більше одного |   |          |                    |
| 110         | 38,3   | 34,0          | 27,7  | 100,0    | 47                 |
| 220         | 23,7   | 47,4          | 28,9  | 100,0    | 38                 |
| 330         | 39,2   | 30,4          | 30,4  | 100,0    | 23                 |
| 500         | 51,0   | 23,9          | 25,1  | 100,0    | 155                |
| 750         | 41,7   | 33,3          | 25,0  | 100,0    | 12                 |
| 110–750     | 43,6   | 29,8          | 26,6  | 100,0    | 275                |

Хоча відмови вимикачів відбуваються рідко, наведені міркування підтверджують їх вагомий вплив на показники надійності функціонування енергосистеми. Крім того, системи сигналізації вимикачів, що відмовили, які використовуються сьогодні, є достатньо складними, громіздкими, неефективними та порівняно дорогими. Все це спонукає шукати ефективніші шляхи виявлення високовольтних вимикачів, які відмовили.

Переглянути питання, пов'язані зі способами виявлення вимикачів, що відмовили, дозволяють сучасні технології створення інформаційно-керуючих систем в електроенергетиці з застосуванням штучного інтелекту та елементів логіки [3,4]. Вони пропонують використання комп'ютерних мереж передачі інформації, мікропроцесорних систем реєстрації інформації та останніх досягнень у галузі розробки сучасних програмних продуктів.

Для виявлення вимикачів, що відмовили, на розподільчому пристрої підстанції найбільш доцільним є мікропроцесорні системи реєстрації інформації типу “Регіна” [5]. Інформаційно-діагностичний комплекс (ІДК) “Регіна” призначений для реєстрації аналогових та дискретних сигналів, аналізу розвитку аварійних ситуацій, оцінки функціонування пристроїв РЗА, визначення місця пошкодження при к. з. на лініях електропередачі, визначення залишкового ресурсу високовольтних вимикачів, побудови добової відомості режимів, проведення фазового та гармонійного аналізу синусоїдальних сигналів, виділення симетричних складових в трифазних мережах змінної напруги, подання інформації в вигляді текстових повідомлень, графіків і таблиць на екран дисплея та на друк, а також передачі зареєстрованої та обробленої інформації на вищі рівні керування. До ІДК “Регіна” підмикають аналогові сигнали змінного та постійного струму та напруги, а також дискретні сигнали типу “сухий контакт” або потенційні. Цей комплекс широко застосовується на різних електроенергетичних об'єктах України та в деяких країнах СНГ.

Для аналізу топології схеми, що враховує оперативні данні про стан комутаційних пристроїв та систем РЗА, необхідна розробка алгоритмів, які реалізовані на відповідному програмному забезпеченні. Найбільш широко вирішити поставлене завдання допоможуть програмні засоби, які отримали назву “інтелектуальне програмне середовище” (ІПС) [6,7]. Особливістю цієї технології є створення та використання єдиного для всієї кількості електротехнічних та електроенергетичних завдань програмного продукту. На відміну від відомих засобів вирішення електротехнічних завдань, які відповідають, як правило, формулі “одне завдання – одна програма”, ІПС відповідає формулі “багато завдань – одна програма”.

Вирішення великої кількості відомих різноманітних електротехнічних завдань, а також сукупності вимог, які властиві кожному конкретному способу їх вирішення, визначають універсальність нової технології. З багатьох позитивних та відмінних властивостей нової технології відзначимо основні:

- ◆ вирішення завдань заданого класу здійснюють у межах єдиного програмного середовища;
- ◆ для додавання нових та модифікації вже існуючих завдань використовують процедуру навчання середовища;
- ◆ процедура навчання пропонує внесення в діалоговому режимі не тільки традиційних даних, але й елементів знань;

- ◆ для вводу даних та знань розроблена спеціальна мова, яка близька до загальноприйнятої мови в математиці;
- ◆ завдяки звичному представленню та відносній простоті мови опису завдань, навчання середовища відбувається порівняно швидко та достатньо просто широким загалом користувачів;
- ◆ навчене один раз середовище можна використовувати іншими користувачами, та, окрім цього, за необхідності засоби навчання дозволяють видалити з нього непотрібні або додати нові завдання;
- ◆ вирішення окремого завдання в межах єдиного середовища реалізується автоматично під час її функціонування, що виключає необхідність виконання робіт, які пов'язані з складанням алгоритму та відповідних програм;
- ◆ кількість одночасно закладених в середовище завдань, які готові для їх вирішення, практично необмежена.

Що стосується стану практичної розробки ІПС, то сьогодні реалізовано експериментальний зразок. Він дозволяє формувати, а потім вирішувати завдання обчислювального характеру, до яких зараховують завдання розрахунку електротехнічних схем, вирішення яких зводиться до системи алгебраїчних (лінійних, нелінійних) та звичайних диференціальних рівнянь. Окрім того, слід додати оптимізаційні завдання, які виникають під час проектування схем і сформульовані математично, як завдання нелінійного програмування. Реалізований зразок ІПС можна використати також як калькулятор з розширеними можливостями. Зокрема, за його допомогою можливо здійснювати обчислення значень, як окремих формул, так і їх ланцюгів, а також визначати значення похідних від функціональних залежностей за будь-яким параметром, який входить в їх вирази. Результати розрахунку за необхідності можна відобразити у вигляді графіка.

В існуючому вигляді розроблене середовище характеризує швидкість освоєння, простоту роботи з нею, можливість з невеликими затратами праці та часу розширювати коло вирішуваних завдань, доступність широкому загалу користувачів, дружність та універсальність, які сприяють в перспективі її широкому практичному застосуванню.

Визначення високовольтних вимикачів, що відмовили, на розподільчому пристрої підстанції можливо трьома способами: перший – з використанням дискретних сигналів про стан вимикачів; другий – на основі результатів контролю електричних параметрів, які характеризують режим роботи розподільчого пристрою підстанції (напруги в вузлах та струмів у гілках схеми); третій – одночасне використання дискретних сигналів та контроль електричних параметрів. Вхідні дані виміряні за допомогою мікропроцесорного реєстратора “Регіна” періодично, наприклад один раз у секунду, надходять у ІПС. Топологія розподільчого пристрою, стан комутаційних апаратів та параметри елементів схеми визначаються наперед і вводять в програму ІПС.

У кожний момент часу відбувається контроль станів дискретних контактів комутаційних пристроїв і/або значень параметрів електричної схеми. При зміні параметрів або станів дискретних сигналів відбувається розрахунок параметрів схеми та станів її елементів з визначенням знеструмлених зон і, як результат, вимикача, що відмовив. Надалі відбувається перевірка отриманих результатів та подання інформації диспетчеру.

Отримання інформації від мікропроцесорних реєстраторів та використання можливостей ІПС має очевидні переваги для вирішення завдання виявлення вимикачів, що відмовили, порівняно з системою сигналізації. Порівняємо два згаданих раніше способи вирішення завдання виявлення вимикачів, що відмовили. Почнемо порівняння з аналізу технічного обладнання, яке необхідне в обох випадках.

Устаткування, яке необхідне для вирішення новим способом, включає реєстратори, які зазвичай вже встановлені на підстанціях для вирішення інших завдань. Окрім реєстраторів також використовують комп'ютери, які необхідні для встановлення ІПС. Інтелектуальне програмне середовище при цьому може бути використане для деяких різних завдань, включаючи завдання виявлення вимикачів, що відмовили. Відмітимо, що в другому випадку для кожного вимикача встановлюють свою систему сигналізації, а кожна з них – це свій певний набір додаткових технічних

засобів. Причому збільшення кількості вимикачів неминуче призводить до збільшення кількості технічних засобів, які необхідні для вирішення завдання. З наведеного робимо висновок, що в першому випадку для вирішення цього завдання достатньо обладнання, яке встановлене на підстанціях.

Отже, перша перевага запропонованого способу полягає в тому, що сумарна вартість встановлюваного устаткування менша. Інші переваги з'являються завдяки тому, що для кожного типу вимикачів проектують, а потім виготовляють та експлуатують власну систему сигналізації. Ці системи конструктивно відрізняються одна від іншої. Все це потребує істотних затрат матеріальних ресурсів. Для першого способу вказані витрати виявляються зайвими, що забезпечує економію як матеріальних ресурсів, так і часу, необхідного для організації контролю роботи високовольтних вимикачів.

1. Абдурахманов А.М., Мисриханов М.Ш., Неклепаев Б.Н., Шутков А.В. Еще раз о составляющих модели отказа выключателя // Электрические станции. – 2005. – № 4. – С. 41–48. 2. Владимировский Б.М., Горстко А.Б., Ерусалимский Я.М. Математика. Общий курс. – СПб.: Лань, 2002. – 960 с. 3. Стогний Б.С., Гримуд Г.И., Мольков А.Н., Сопель М.Ф., Павловский В.В. Некоторые тенденции развития АСУ технологическими процессами на подстанциях энергосистем // Техническая электродинамика. – 2003. – № 5. – С.44–49. 4. Стогний Б.С., Кириленко О.В., Яндутьский О.С. Проблемы та шляхи підвищення ефективності систем інформаційного забезпечення а електроенергетиці // Техническая электродинамика. – 2001. – № 1. – С. 3–10. 5. Стогний Б.С., Сопель М.Ф. Информационно-диагностический комплекс "Регіна" // Новини енергетики. – 2000. – № 10. – С. 44–47. 6. Кириленко А.В., Левитский В.Г. Основы автоматизации процессов расчета электротехнических схем. – К.: Наук. думка, 2004. – 242 с. 7. Кириленко А.В., Левитский В.Г., Яндутьский А.С. Интеллектуальная программная среда решения задач диспетчерского управления в электроэнергетике // Техн. электродинамика. – НАН України, Темат. вип., ч. 1. – К., 1999. – С. 17–21.

УДК 621.3.01:519.875.5

С.М. Тиховод

Запорожский национальный технический университет

## КОМПЛЕКС КОМПЬЮТЕРНЫХ ПРОГРАММ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В НЕЛИНЕЙНЫХ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

© Тиховод С.М., 2009

**Розроблено програмний комплекс Colo для комп'ютерного моделювання динамічних процесів у нелінійних магнітоелектричних схемах заміщення електротехнічних пристроїв, що містять котушки індуктивності і трансформатори.**

**Program complex Colo for computer modeling dynamic processes in nonlinear magnetoelectric equivalent circuits of the electrotechnical devices containing the coils of inductance and transformers is developed.**

**Постановка проблеми.** В настоящее время этап моделирования является обязательным при разработке большинства электротехнических устройств. Если устройство содержит катушки индуктивности со стальными магнитопроводами или трансформаторы, то часто возникает необходимость исследования динамических электромагнитных процессов в магнитной системе и связанной с ней электрической цепи. Моделирование динамических электромагнитных полей в трансформаторах, включенных в сложные электротехнические устройства, пока не представляется возможным. Поэтому динамические процессы в электромагнитных устройствах моделируют методами магнито-