

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ЦИФРОВОЇ СИСТЕМИ ТЕСТУВАННЯ ПРИБОРІВ РЕЛЕЙНОГО ЗАХИСТУ ТА АВТОМАТИКИ

*П.М. Баран, В.П. Кідиба, О.Л. Сторчун, В.М. Шмагала*  
*Національний університет "Львівська політехніка", каф. ЕСМ,*  
*ВАТ "Західенергоавтоматика"*  
*peterb@volia-lviv.com*

*Digital test system is developed for testing the relay protection and automatic devices and other electrotechnical devices, which are made on electromechanical and digital basis.*



*Рисунок 1 - Спеціальний випробувальний пристрій*

Цифрова система тестування призначена для налагодження та перевірки пристроїв релейного захисту та автоматики (РЗА) як вітчизняного, так і зарубіжного виробництва, виконаних на електромеханічній та цифровій основі. Система має дворівневу ієрархічну структуру. Верхній рівень створений на основі персонального комп'ютера. На нижньому рівні знаходиться спеціальний випробувальний пристрій (рис. 1), до якого безпосередньо під'єднується об'єкт перевірки.

Спеціальне програмне забезпечення GRAN Test System призначене для керування цифровою системою тестування та формування цифrogram для перевірки пристроїв РЗА. Спеціальне програмне забезпечення розроблене для роботи в середовищі Windows, має зручний та простий інтерфейс

користувача [1]. За допомогою програмного забезпечення реалізуються такі задачі:

- формування параметрів перевірки пристроїв РЗА;
- формування цифrogram перевірки, сформованих за певними законами;
- автоматичний аналіз результатів перевірки;
- формування результатів перевірки (протоколи);
- формування бібліотеки тестів для перевірки та налагодження типових пристроїв РЗА;
- підтримання конфігурації цифрових терміналів у міжнародному форматі RIO.

GRAN Test System має модульну структуру. Окремі модулі дають можливість користувачу формувати цифrogramи різної форми залежно від об'єкту перевірки. Забезпечується формування напруг та струмів, які відповідають різним режимам енергосистеми – всі види к.з. (в усталених та перехідних режимах), синхронні хитання, асинхронний хід, неповнофазні режими тощо.

Для формування цифrogram в межах окремого модуля передбачені взаємозв'язані підсистеми. Інформація модуля перевірки зберігається у вигляді окремого файлу. Це дає можливість користувачу працювати з бібліотеками даних, в яких зберігається інформація, отримана під час перевірки пристрою РЗА, та використовувати цю інформацію для подальшої перевірки даного пристрою або інших подібних пристроїв.

Для аналізу результатів перевірки передбачена можливість графічного відображення цифrogram перевірки у сукупності зі станом бінарних входів та виходів пристрою, який перевіряється.

Після закінчення перевірки пристрою РЗА створюються протоколи перевірки. Форми протоколів визначені для кожного конкретного пристрою перевірки. Протоколи перевірки можна друкувати.

Передбачена можливість контролювати величини аналогових сигналів зовнішніх пристроїв.

GRAN Test System складається з базових та спеціалізованих модулів для налагодження типових пристроїв РЗА. За бажанням користувача можуть бути розроблені додаткові спеціалізовані модулі перевірки.

Базова система містить такі модулі перевірки:

- Незалежне джерело;
- Дистанційний захист;
- Струмовий захист;
- Прості реле;
- Синхронізатор;
- Осцилограф.

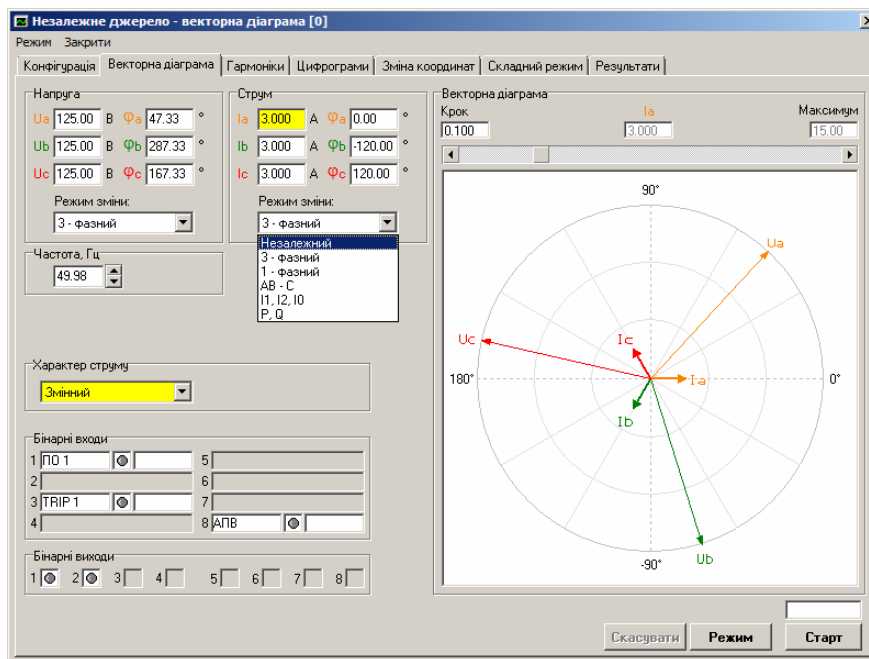


Рисунок 2 - Інтерфейс модуля "Незалежне джерело"

Інтерфейс модуля "Незалежне джерело" наведений на рис. 2. Цей модуль дозволяє виконати перевірку в ручному режимі будь-яких простих реле (струму, напруги, частоти, опору, потужності), а також складних терміналів РЗА. Даний модуль дозволяє формувати трифазну систему струмів та напруг на основі: векторної діаграми, яка може відобразити режими трифазного, двофазного, однофазного к.з., а також незалежний режим зміни координат; симетричних складових струмів та напруг - прямої, оберненої та нульової послідовностей; активної та реактивної потужностей; сигналів струмів та напруг довільної форми, сформованих з вищих гармонічних та

субгармонічних складових, а також з врахуванням аперіодичної складової; цифрограм, отриманих з цифрових пристроїв РЗА, які встановлені безпосередньо на об'єктах енергосистем, або отриманих на основі математичного моделювання; складних цифрограм, сформованих з окремих фрагментів, якими можуть бути сигнали будь-якої форми; сигналів струмів та напруг зі змінною частотою; сигналів струмів та напруг постійного струму.

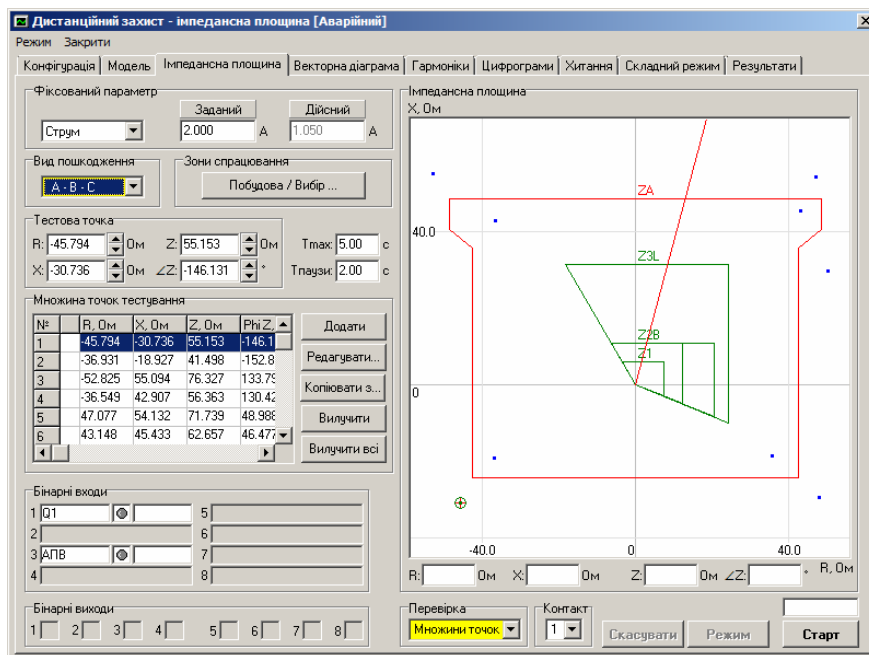


Рисунок 3 - Інтерфейс модуля "Дистанційний захист"

Одним з найскладніших модулів системи є модуль "Дистанційний захист". Інтерфейс цього модуля наведений на рис. 3. Модуль "Дистанційний захист" дозволяє перевірити практично всі характеристики дистанційного захисту – зони спрацювання окремих ступеней з врахуванням допустимих похибок, часові характеристики спрацювання ступеней, стійкість до вищих гармонічних складових, реакцію пристроїв РЗА на різноманітні збурення реальної електричної мережі, блокування роботи захисту під час хитань тощо. За допомогою цього модуля можна перевіряти як сучасні цифрові дистанційні захисти зарубіжних фірм, таких як ABB, Siemens, а також традиційні електромеханічні

пристрої, наприклад, ЕПЗ-1636.

Створена модель хитань енергосистеми, яка дозволяє відтворювати асинхронний хід з заданою частотою ковзання, а також хитання, з врахуванням дії регуляторів на електричних станціях. Це в повній мірі дозволяє перевірити роботу дистанційних захистів під час таких режимів.

В модулі закладена математична модель енергосистеми, яка реалізує різні види пошкодження. Розрахункова схема мережі для різних видів к.з. наведена на рис. 4.

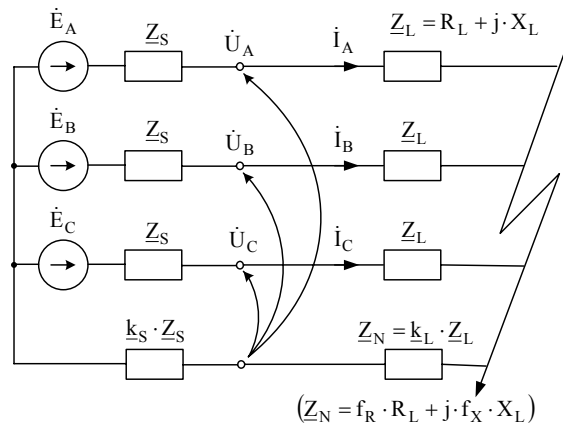


Рисунок 4 - Розрахункова схема мережі для різних видів к.з.

В розрахунковій схемі мережі прийняті наступні позначення:  $\dot{E}_A, \dot{E}_B, \dot{E}_C$  – фазні е.р.с. системи;  $\dot{U}_A, \dot{U}_B, \dot{U}_C$  – фазні напруги на шинах підстанції (на початку лінії);  $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$  – фазні струми в лінії;  $\underline{Z}_S$  – імпеданс системи;  $\underline{k}_S$  – коефіцієнт заземлення системи;  $\underline{Z}_L = R_L + j \cdot X_L$  – імпеданс до місця к.з.;  $\underline{k}_L$  – коефіцієнт заземлення лінії;  $f_R = \frac{R_E}{R_L}, f_X = \frac{X_E}{X_L}$  – коефіцієнти заземлення лінії для моделі виду  $R_E/R_L, X_E/X_L$ .

Коефіцієнт заземлення лінії  $\underline{k}_L$ , яка немає відпайок та коли можна знехтувати впливом на неї інших ліній, обчислюється за виразом

$$\underline{k}_L = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{\underline{Z}_{L0}}{\underline{Z}_{L1}} - 1 \right) = k_{LR} + j \cdot k_{LX}, \quad (1)$$

де  $\underline{Z}_{L1}, \underline{Z}_{L0}$  – опори прямої та нульової послідовностей лінії.

Зв'язок між моделями  $\underline{k}_L$  та  $R_E/R_L, X_E/X_L$  здійснюється через вирази

$$\underline{k}_L = \frac{\underline{Z}_E}{\underline{Z}_L} = \frac{R_E + j \cdot X_E}{R_L + j \cdot X_L} = \frac{f_R \cdot R_L + j \cdot f_X \cdot X_L}{R_L + j \cdot X_L}, \text{ або} \quad (2)$$

$$k_{LR} = \frac{f_R \cdot R_L^2 + f_X \cdot X_L^2}{R_L^2 + X_L^2}, k_{LX} = \frac{R_L \cdot X_L \cdot (f_X - f_R)}{R_L^2 + X_L^2}.$$

Модуль "Струмовий захист" дозволяє виконати автоматичну перевірку та налагодження багатоступеневих струмових захистів: спрямованих, неспрямованих, з блокуванням за напругою, з довільними часовими характеристиками спрацювання. Кількість ступеней часової характеристики та їх форми не обмежена. В модулі передбачена можливість формування комплексної характеристики згідно міжнародних стандартів (IEEE, I2T), а також довільної характеристики в табличній формі, які зберігаються у відповідних бібліотеках.

Модулі групи "Прості реле" призначені для автоматичної перевірки та налагодження простих реле пристроїв РЗА. Ці модулі дозволяють перевіряти електричні характеристики реле, наприклад, параметри спрацювання та повернення, коефіцієнти повернення, зони дії, чутливість, кутові характеристики, часові характеристики, характеристики гальмування тощо.

Передбачена можливість вибирати досліді для перевірки потрібних характеристик реле та задавати їх кількість. Після проведення дослідів автоматично формується усереднена інформація про результати перевірки. Перевірку реле може здійснювати з врахуванням або без врахування вібрації контактів реле.

Розроблені модулі для автоматичної перевірки таких реле: струмових реле з незалежною характеристикою, реле напруги постійного чи змінного струму, реле спрямування потужності, проміжних та сигнальних реле, диференційних реле з гальмуванням та реле частоти.

Модуль "Синхронізатор" (рис. 5) призначений для налагодження та перевірки пристроїв синхронізації генераторів електричних станцій, а також підсистем дистанційних захистів - АПВ з синхронізацією. Модуль "Синхронізатор" реалізує наступні режими: перевіряє вікно синхронізації; перевіряє поведінку синхронізатора

при лінійному характері зміни напруги та частоти генератора; перевіряє поведінку синхронізатора при застосуванні нелінійної моделі генератора та турбіни з врахуванням дії автоматичних регуляторів збудження та частоти обертання [2].

Для перевірки синхронізатора розроблена математична модель турбоагрегату та системи збудження генератора з врахуванням регуляторів швидкості та збудження. Структурна схема моделей наведена на рис. 5.

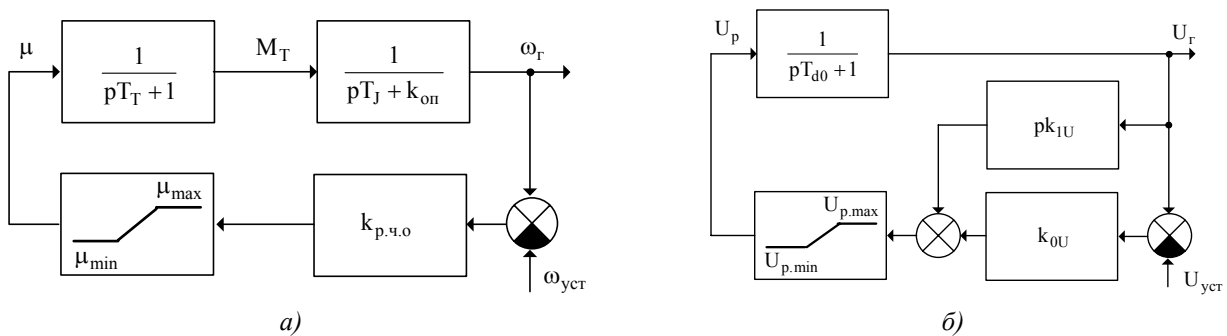


Рисунок 5 - Структурна схема моделей а) турбоагрегату та б) системи збудження генератора

Позначення на рисунку:  $T_j$  – постійна часу руху обертювних мас турбоагрегату;  $\omega_r$  – кутова частота обертання турбоагрегату;  $M_T$  – обертювий момент турбїни;  $k_{оп}$  – коефїцієнт опору, який визначає втрати турбїни на тертя з повітрям та в підшипниках турбоагрегату;  $T_T$  – еквївалентна постійна часу турбїни;  $\mu$  – положення регулюючих клапанів турбїни, через які здїйснюється впуск пари в турбїну;  $k_{p.ч.о}$  – коефїцієнт посилення регулятора швидкостї обертання, величина, яка оберненопропорційна статизму регулюючої характеристики системи регулювання;  $\omega_{уст}$  – уставка регулятора швидкостї, на змїну якої дїє синхронїзатор в процесї синхронїзацїї;  $\mu_{min}, \mu_{max}$  – обмеження на перемїщення регулюючих клапанів турбїни; де  $T_{d0}$  – постійна часу електромагнїтного стану генератора;  $U_r$  – напруга статора генератора, яка пропорційна напрузї на кїльцях ротора обмотки збудження генератора;  $U_p$  – напруга на кїльцях ротора обмотки збудження генератора, яка у вїдносних одиницях рївна величинї сигналу системи регулювання струму збудження генератора;  $k_{0U}, k_{1U}$  – коефїцієнти посилення по каналах вїдхилення напруги та по похїднїй вїд напруги;  $U_{уст}$  – уставка регулятора по вїдхиленню напруги, на змїну якої дїє синхронїзатор;  $U_{p.min}, U_{p.max}$  – обмеження на сигнал тиристорної системи збудження.

Модуль "Осцилограф" призначений для всебїчного аналізу роботи пристроїв РЗА на основї координат режиму (напруг та струмів) та спрацювань їх бїнарних входів і виходів. Цей модуль можна також використовувати для формування цифрограм, отриманих з математичних моделей та з пристроїв, які фіксують реальнї аварїйнї процеси в енергосистемах. Це дозволяє здїйснити оптимальнїй аналіз функціонування пристроїв, які перевіряють.

Модуль "Осцилограф" мїстить ряд спеціальних функцій аналізу координат режиму, які дозволяють виконувати гармонїчний аналіз, здїйснювати розрахунок симетричних складових, будувати годографи опору, розраховувати інші координати режиму, наприклад, активну, реактивну потужностї, формувати інтегральнї, диференцїйнї характеристики, визначати вїдстань до мїсця пошкодження тощо [3].

Передбачена можливїсть аналізу цифрограм, записаних в рїзних форматах, в тому числї в мїжнародному форматї COMTRADE, а також сумїснїй аналіз цифрограм рїзної дискретностї та тривалостї, отриманих з цифрових пристроїв рїзних виробникїв.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Баран П.М., Кїдиба В.П., Шмагала В.М., Пришляк Я.Д. "Спеціальне програмне забезпечення цифрової тестової системи для перевірки пристроїв релейного захисту та автоматики" // Енергетика та електрифікація, Київ. – 2006. – № 6 – С. 25 – 32.

2. П.М. Баран, В.П. Кїдиба, В.М. Амброз, В.М. Шмагала "Модель турбоагрегата для перевірки пристроїв синхронїзацїї" // Вісн. Нацїонального ун-ту "Львївська полїтехнїка". – 2007. – № 587 – С. 3 – 6.

3. П.М. Баран, В.П. Кїдиба, Я.Д. Пришляк, В.М. Шмагала "Програмне забезпечення аналізу інформацїї з цифрових пристроїв захисту та автоматики" // Вісн. Нацїонального ун-ту "Львївська полїтехнїка". – 2003. – № 479 – С. 10 – 17.

Рекомендовано д.т.н. Гребченко М.В.