

УДК 621.311

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2019.54.029>

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРАХУНКУ І ВИБОРУ УСТАВОК ПАРАМЕТРІВ СПРАЦЬОВУВАННЯ МОДУЛЯ ФАЗОВОГО СЕЛЕКТОРА З СЕКТОРОМ НАВАНТАЖЕННЯ

Н.Ф. Колесникова, О.І. Козлова, О.А. Литвинова

Інститут електродинаміки НАН України,
пр. Перемоги, 56, Київ, 03057, Україна
e-mail: mes@ied.org.ua

*Представлено результати роботи по створенню програмного забезпечення розрахунку і вибору уставок фазового селектора з сектором навантаження. Мета роботи – доповнити розроблений і впроваджений в промислову експлуатацію в «НЕК Укренерго» та його регіональні диспетчерські центри України Комплекс IEDKK10-RW автоматизованих розрахунків аварійних режимів та уставок мікропроцесорних пристроїв REL6** фірми АВВ для повітряних ліній та автотрансформаторів в складних електричних мережах обсягом до 10000 вузлів програмним забезпеченням для виконання автоматизованих розрахунків та вибору уставок фазового селектора і сектора навантаження. Роботу виконано у зв'язку з необхідністю правильного і надійного вибору пошкодженої фази в разі короткого замикання протягом всієї довжини лінії, що захищається, у всіх режимах та з метою виключення помилкових спрацьовувань при великих перетоках потужності в терміналі на довгих, сильно навантажених лініях для забезпечення ефективної роботи однофазного автоматичного повторного включення на повітряних лініях. Бібл 1, рис. 7.*

Ключові слова: енергосистема, електрична мережа, уставка релейного захисту, коротке замикання, аварійний режим, програмне забезпечення, фазовий селектор, сектор навантаження.

У електричній мережі високого класу напруг Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України набули широкого розповсюдження мікропроцесорні (МП) пристрої захисту REL6** фірми АВВ, що встановлюються на відповідальних внутрішніх, міжсистемних, системоутворюючих та міждержавних лініях електропередачі ОЕС. Такі МП пристрої REL6** забезпечують захист ліній електропередач та автотрансформаторів. У складі цих захистів поряд з струмовими і дистанційними захистами (ДЗ) від усіх видів коротких замикань (КЗ) функціонує і модуль фазового селектора (PHS) з відлаштуванням від навантажувального режиму (Load encroachment) для точного вибору необхідного контуру пошкодження залежно від типу пошкодження. Робота мереж електропередачі в багатьох випадках наближається до меж стійкості. Точність та надійність класифікації різних типів пошкоджень для однофазного відключення і однофазного автоматичного повторного включення (ОАПВ) залишаються актуальними. Тому основним завданням модуля фазового селектора є правильний і надійний вибір пошкодженої фази в разі КЗ протягом усієї довжини лінії, що захищається, у всіх режимах та виключення помилкового спрацьовування в разі великих перетоків потужності в терміналі на довгих, сильно навантажених лініях для забезпечення ефективної роботи ОАПВ на повітряній лінії (ПЛ). Оскільки найбільш поширеним видом КЗ у мережі 110–750 кВ є однофазні (1ф) КЗ (80 %), тобто пошкоджується одна з трьох фаз, має сенс відключення саме пошкодженої фази, для чого використовують вимикачі з пофазним приводом. Це забезпечує стійку роботу мережі, оскільки рештою фаз передається потужність, і райони мережі не ізолюються один від одного (зберігається синхронна робота системи). Релейний захист (РЗ) має точно визначати пошкоджену фазу, щоб уникнути трифазного відключення. Саме для цього є необхідним фазовий селектор, побудований за дистанційним принципом.

Для правильного і надійного вибору пошкодженої фази в разі КЗ протягом всієї довжини лінії, що захищається, у всіх режимах та з метою виключення помилкових спрацьовувань у разі великих перетоків потужності в терміналі на довгих, сильно навантажених лініях для забезпечення ефективної роботи ОАПВ на ПЛ виникла потреба доповнити додатковою можливістю розроблений і впроваджений у промислову експлуатацію в «НЕК Укренерго» та всі його регіональні диспетчерські центри України Комплекс IEDKK10-RW автоматизованих

розрахунків аварійних режимів та уставок типових захистів і захистів у МП пристроях REL6** для ПЛ та автотрансформаторів в складних електричних мережах обсягом до 10000 вузлів. Було розроблено програмні засоби автоматизованих розрахунків уставок параметрів спрацьовування модуля фазового селектора з сектором навантаження. Модуль здійснює вибір пошкоджених фаз за допомогою дистанційних органів: селектор характеризується як неспрямований, але водночас використовується інформація від функції органу спрямованості в прямому і зворотному напрямках. Алгоритм виміру повного опору вимірювальних органів фазового селектора подібний до алгоритму виміру, призначеного для органів дистанційного захисту. Функція селектора має вбудовані засоби від навантажувального режиму, а набір вихідних сигналів також надає інформацію про пошкоджені фази. Сформовані модулем сигнали надходять в логіку відключення для формування команд пофазного (трифазного) відключення.

Програмний комплекс IEDKK10-RW автоматизованих розрахунків аварійних режимів, уставок РЗ та МП захистів REL6** в складних електричних мережах працює в середовищі інтелектуалізованої системи. При розробці інтелектуалізованої системи для автоматизації налаштування засобів захисту енергосистем та енергооб'єднань була прийнята модель подання знань за допомогою фреймів-сценаріїв, що являють собою типову структуру для вибору уставок релейного захисту або розрахунку аварійних режимів і т.ін. та включають характерні елементи цієї ситуації з роз'яснювальною коментуючою інформацією (додаткові знання, особливо при виборі уставок РЗ). Інформація в дужках з покращеною візуалізацією за рахунок підсвічення різними кольорами робить фрейм-сценарій ще більш доступним для огляду на екрані [1]. Мовою подання знань було обрано російську мову в зв'язку з тим, що комплекси ІЕД НАН України в складі розробленої інтелектуалізованої системи впроваджуються не лише в Україні, а і в країнах СНД. З урахуванням викладеного було розроблено фрейм-сценарій вибору уставок фазового селектора і сектора навантаження. Фрейм-сценарій для розрахунку та вибору уставок фазового селектора, а також макети (шаблони) комутацій гілок та вузлів знаходяться в меню у верхньому рядку головного вікна під назвою «Макети».

Уставки модуля PHS підбирають відповідно до вибраних уставок зон дистанційного захисту REL6** для лінії, що розглядається. Ці ставки відображені в таблиці з коментарем «< Заданные параметры измерительного органа ZM >». ДЗ лінії є повносхемним захистом з п'ятьма незалежними зонами, кожна з яких має характеристику і контролює три контури пошкодження від міжфазних КЗ та три контури від КЗ між фазою і землею. ДЗ має можливість відбудови від навантажувального режиму, що збільшує ймовірність виявлення КЗ через великий активний опір на сильно навантажених лініях.

Режим роботи і спрямованість «Operation DIR» кожної із зон дистанційного захисту представлено в таблиці: Forward (прямий), Reverse (зворотний), NoneDir (неспрямований). Характеристика зони в зворотному напрямку симетрична характеристиці в прямому напрямку з розворотом на 180 градусів.

Розрахунки уставок модуля PHS проводяться в розділах 1, 2, 3:

- « Раздел 1- Расчеты X1уст, X0уст при 3ф КЗ и 1ф КЗ »;
- « Раздел 2- Расчет "в прямом направл." RFFwPP, RFFwPE »;
- « Раздел 3- Расчет "в обратном направл." RFRvPP, RFRvPE ».

Розрахунки уставок вирізу від навантаження фазового селектора проводяться в розділах 4, 5, 6:

- « Раздел 4- Расчет зоны выреза "в прямом направл." RLdFw »;
- « Раздел 5- Расчет зоны выреза "в обратном направл." RLdRv »;
- « Раздел 6- Расчет ставки угла выреза от нагрузки ArgLD PHS ».

У кожному розділі виконуються розрахунки відповідних уставок. Відповідно до призначення фазового селектора вимірювальні елементи вибору фази повинні завжди перекривати відповідну зону дистанційного захисту, яка охоплює лінію, що захищається, у всіх режимах. Також варто враховувати вихідний сигнал фазового селектора (PHS), який може бути прийнятий як STCNDZ. Тому розглядаються ступені, налаштовані на сигнал STCNDZ, серед них вибирається зона дистанційного захисту, яка максимально охоплює лінію, що захища-

ється, у всіх режимах як при міжфазних КЗ, так і при однофазних КЗ на землю. Робота програми розрахунку уставок фазового селектору з сектором навантаження демонструється на ПЛ 750 Київська-ХАЕС, що є в схемі «НЕК Укренерго». Для цієї ПЛ – це зона захисту 3, уставки якої максимально її охоплюють.

Розрахунок і вибір уставок фазового селектору в розробленій програмі реалізуються за різними умовами.

1. Уставка $X1_{PHS}$ реактивного опору прямої послідовності модуля PHS при міжфазних і однофазних КЗ є спільною для виборчих органів від усіх видів КЗ, тому вибирається за умовою забезпечення чутливості до КЗ усіх видів в кінці ПЛ, що захищається, а для сильно навантажених ПЛ 330–750 кВ – через *Rпер.розр.* у режимі зустрічного перетікання потужності

$$X1_{PHS} = k_{\text{ч}} \cdot X1, \quad (1)$$

де $k_{\text{ч}} = 1, 1, \dots, 1, 5$ – коефіцієнт чутливості (для вибраної 3 зони ДЗ значення $k_{\text{ч}}$ для PHS приймається з урахуванням можливості забезпечення далекого резервування, як правило, $k_{\text{ч}} \geq 1, 2$); $X1$ – уставка за реактивним опором прямої послідовності зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається, як у разі міжфазних КЗ, так і у разі однофазних КЗ на землю.

При трифазних КЗ, з огляду на особливості характеристики фазового селектора, уставка $X1_{PHS}$ може бути визначена за перетинанням з лінією спрямованості або за врахуванням RFPP вибраної зони ДЗ:

якщо $X1 \cdot \text{tg}(\text{ArgNeg Rez} - 90) \leq RFPP / 2$, то

$$X1_{PHS} = k_{\text{ч}} \cdot (X1 \cdot (\cos(\text{ArgNeg Rez} - 120) / \cos(\text{ArgNeg Rez} - 90))), \quad (2)$$

якщо $X1 \cdot \text{tg}(\text{ArgNeg Rez} - 90) > RFPP / 2$, то

$$X1_{PHS} = k_{\text{ч}} \cdot \sqrt{X1^2 + (RFPP / 2)^2} \cdot \cos(\text{arctg}(RFPP / 2 \cdot X1) - 30), \quad (3)$$

де $k_{\text{ч}} = 1, 1, \dots, 1, 5$ – коефіцієнт чутливості; $X1$ – уставка за реактивним опором прямої послідовності зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається, як у разі міжфазних КЗ, так і в разі однофазних КЗ на землю; $RFPP$ – уставка за активним опором у місці КЗ зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається, у разі міжфазних КЗ; ArgNeg Rez – уставка за кутом для верхньої межі характеристики ДЗ у прямому напрямку (спрямованість спрацьовування ДЗ у прямому і зворотному напрямках для міжфазних і однофазних пошкоджень).

У цьому разі вибирається більша з величин уставок $X1_{PHS}$, розрахованих за цими умовами за формулами (1)–(3).

2. Уставка $X0_{PHS}$ реактивного опору нульової послідовності модуля PHS вибирається за умовою забезпечення чутливості до однофазних КЗ на землю (з урахуванням прийнятого коефіцієнта компенсації струмом 3І0-потроєним струмом нульової послідовності):

$$X0_{PHS} = k_{\text{ч}} \cdot X0 \cdot k', \quad (4)$$

де $k_{\text{ч}} = 1, 1, \dots, 1, 5$ – коефіцієнт чутливості; $X0$ – уставка за реактивним опором нульової послідовності відповідної зони дистанційного захисту від КЗ на землю, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається; k' – поправочний коефіцієнт з урахуванням зміни $X1_{PHS}$, обраного в разі 3ф КЗ (максимальне значення з розрахованих уставок PHS $X1$ при однофазних і трифазних КЗ, поділене на мінімальне значення цих розрахованих уставок).

3. Уставки RFFwPP і RFRvPP активного опору в місці КЗ виборчих органів модуля PHS від міжфазних КЗ у «прямому» і «зворотному» напрямках вибираються за умовою забезпечення чутливості до міжфазних КЗ у кінці ПЛ, а для сильно навантажених ПЛ 330–750 кВ через *Rпер.розр.* у режимі зустрічного перетікання потужності. У разі двофазного (2ф) КЗ залежно від характеристичного кута лінії FL:

у разі двофазного КЗ (2ф), якщо кут $FL > 60^\circ$, то

$$RFFwPP(RFRvPP) = k_{\text{ч}} \cdot RFPP, \quad (5)$$

якщо кут $FL < 60^\circ$, то

$$RFFwPP(RFRvPP) = k_{\text{ч}} \cdot (2 \cdot R1 + RFPP - X1 \cdot \text{ctg} 60^\circ), \quad (6)$$

у разі трифазного КЗ (3ф)

$$RFFwPP(RFRvPP) = k_q \cdot (2 \cdot R1 + RFPP) \cdot 2 / \sqrt{3}, \quad (7)$$

де $k_q = 1, 1 \dots 1, 5$ – коефіцієнт чутливості; $RFPP$ – уставка активного опору в місці КЗ для зони ДЗ від міжфазних КЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається; $R1$ – уставка активного опору прямої послідовності в разі міжфазних КЗ і КЗ на землю зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається; $X1$ – уставка за реактивним опором прямої послідовності у разі міжфазних КЗ і КЗ на землю зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається.

За трифазного (3ф) КЗ область охоплення характеристики збільшується на коефіцієнт $2/\sqrt{3}$ в усіх напрямках. У цьому разі обираються найбільші з розрахованих величин уставок $RFFwPP$ і $RFRvPP$ за формулами (5)...(7).

4. Уставка $RFFwPE$ активного опору в разі КЗ на землю в «прямому напрямку» виборчих органів модуля PHS вибирається за умовою забезпечення чутливості до однофазних КЗ на землю в кінці ПЛ, що захищається, а для сильно навантажених ПЛ 330–750 кВ – через $R_{пер.розр.}$ у режимі зустрічного перетікання потужності залежно від характеристичного кута FLK фазного опору в разі металевого однофазного КЗ у кінці зони дії:

якщо кут $FLK > 60^\circ$, то

$$RFFwPE = k_q \cdot RFPE, \quad (8)$$

якщо кут $FLK < 60^\circ$, то

$$RFFwPE = k_q \cdot \left[\frac{(R0 + 2 \cdot R1)}{3} + RFPE - \frac{(X0 + 2 \cdot X1)}{3} \cdot ctg 60^\circ \right], \quad (9)$$

де $k_q = 1, 1 \dots 1, 5$ – коефіцієнт чутливості; $R1$ – уставка активного опору в разі КЗ на землю зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається; $R0$ – уставка активного опору нульової послідовності в разі КЗ на землю зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається; $RFPE$ – уставка реактивного опору в місці КЗ у разі КЗ на землю для зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається; $X1$ – уставка реактивного опору прямої послідовності в разі КЗ на землю зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається; $X0$ – уставка реактивного опору нульової послідовності в разі КЗ на землю зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається.

Уставка $RFRvPE$ активного опору в разі КЗ на землю в «зворотному напрямку» виборчих органів модуля PHS вибирається за умовою перетину з лінією спрямованості у другому квадранті

$$RFRvPE = k_q \cdot (X1 + (X0 - X1)/3) \cdot tg(ArgNegRez - 90), \quad (10)$$

де $k_q = 1, 1 \dots 1, 5$ – коефіцієнт чутливості; $X1$ – уставка за реактивним опором прямої послідовності в разі міжфазних КЗ і КЗ на землю зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається; $X0$ – уставка реактивного опору нульової послідовності в разі КЗ на землю зони ДЗ, яка максимально охоплює ПЛ, що захищається; $ArgNegRez$ – уставка по куту для верхньої межі характеристики ДЗ в «прямому» напрямку (спрямованість спрацьовування ДЗ в «прямому» і «зворотному» напрямках для міжфазних і однофазних пошкоджень).

На довгих, сильно навантажених лініях існує ймовірність, що опір навантаження потрапить всередину характеристики спрацьовування дистанційного захисту. Щоб виключити помилкові спрацьовування в разі великих перетоків потужності в терміналі REL6**, передбачена функція Load encroachment – виріз навантаження. За допомогою функції Load encroachment забезпечується блокування ДЗ у навантажувальних режимах у разі попадання виміру в «зону вирізу навантаження».

Сектор навантаження вирізає з багатокутника характеристики виборчих органів область навантаження.

При розрахунках уставок вирізу від навантаження враховуються параметри вихідного навантажувального режиму (НР) і електромеханічного перехідного процесу (ЕМПП). Навантажувальний режим може бути врахований за допомогою напруги у вузлах та потоків потужностей (струмів) у гілках, взятих без будь-яких змін прямо з розрахунку даного НР (з їх ку-

тами по відношенню до напруги балансуєчого вузла). У програмі передбачено врахування комутації «Изм3» – моделювання навантажувального режиму. Навантажувальний режим враховується як в «прямому» (Forward), так і у «зворотному» напрямках (Reverse):

« /10 Изм3=1022-1032-527-522 PQ=1645 -91 1625 50 <Forward – аварийный переток от ПЛ 750 Киевская-ХАЭС > UF=732.6 -8.29 725.78 -22.04 »;

« /11 Изм3=522-527-1032-1022 PQ=2992 470 2920 -474 <Reverse – аварийный переток от ПЛ 750 Киевская-ХАЭС > UF=712.42 38.69 695.68 11.26 ».

Урахування проводиться автоматично методом накладення, виходячи із заданих напруг НР (модулів і кутів) у вузлах з КЗ і потоків (струмів) НР у гілках з поздовжньою несиметрією. У багатовузловій схемі аварійного режиму розраховуються симетричні складові струмів у вузлах з КЗ і електрорушійна сила (ЕРС) у гілках з поздовжньою несиметрією (неповнофазним відключенням і т.ін.). За цими струмами і ЕРС у пасивних схемах прямої, зворотної і нульової послідовностей аварійного режиму визначаються симетричні складові напруг у необхідних вузлах і струмів у необхідних гілках. Для зворотної і нульової послідовностей знайдені величини є результуючими, для прямої послідовності результуючі значення обчислюються підсумовуванням знайдених напруг і струмів з заданими для цих елементів напругами і струмами НР. Після обчислення описаним способом симетричних складових результуючих напруг і струмів визначення інших розрахункових величин (насамперед, фазних дистанційних опорів, а також фазних і міжфазних значень напруг і струмів) проводиться звичайним порядком.

У програмі передбачено також дві комутації: « Изм1 = » – зміна модуля і кута напруги у вузлі та струму по ПЛ та « Изм2 = » – розбіжність еквівалентних ЕРС за кінцями ПЛ.

Оскільки врахування НР і розрахунок опорів навантаження на основі заданих комутацій « Изм3 = », або « Изм1 = », або « Изм2 = » реалізується у програмі розрахунку та вибору уставок ДЗ МП пристроїв REL6**, то вхід у програму ДЗ REL6** забезпечується сформованими для цього вихідними даними. Відповідні опори навантаження автоматично вибираються з таблиць розрахунку для врахування в подальших розрахунках уставок вирізу навантаження фазового селектора ПЛ 750 Київська-ХАЕС :

Підрежим 10 – Максимальне навантаження Fw (Forward) $R_{нагр}=317.34$ $X_{нагр}=-19.94$;

Підрежим 11 – Максимальне навантаження Fv (Reverse) $R_{нагр}=-157.80$ $X_{нагр}=24.68$.

Уставки RLdFw та RLdRv зони вирізу від навантаження «в прямому напрямку» (11) і «зворотному напрямку» (12) за активним опором розраховуються за умовою відлаштування від відповідного максимального навантаження (Forward або Reverse):

$$RLdFw = k_{отс} \cdot R_{нагр}(Fw) \quad (11)$$

$$RLdRv = k_{отс} \cdot R_{нагр}(Rv), \quad (12)$$

де $k_{отс}=0,8...0,9$ – коефіцієнт відлаштування; $R_{нагр}(Fw)$ – активний опір максимального перетоку «в лінію» (Forward); $R_{нагр}(Rv)$ – активний опір максимального перетоку «до шин» (Reverse).

Вибрані уставки RLdFw та RLdRv узгоджуються з відповідними уставками зовнішньої зони вирізу від навантаження блоку блокування коливань (RLdOutFw_{PSD} – «в прямому напрямку» (13) і RLdOutRv_{PSD} – «у зворотному напрямку» (14)):

$$RLdFw = KLdFw_{PSD} \cdot RLdOutFw_{PSD}, \quad (13)$$

$$RLdRv = KLdRv_{PSD} \cdot RLdOutRv_{PSD}, \quad (14)$$

де $KLdRFw_{PSD}$ – коефіцієнт (здається як уставка), що визначає ширину зони між внутрішньою і зовнішньою характеристиками блокування від коливань «у прямому напрямку»; $KLdRFv_{PSD}$ – коефіцієнт (здається як уставка), що визначає ширину зони між внутрішньою і зовнішньою характеристиками блокування від коливань «у зворотному напрямку»; $RLdOutFw_{PSD}$ – уставка зовнішньої зони вирізу від навантаження «в прямому напрямку» блоку блокування коливань; $RLdOutRv_{PSD}$ – уставка зовнішньої зони вирізу від навантаження «в зворотному напрямку» блоку блокування коливань.

Розрахунок кута навантаження перетоків «в лінію» (Forward) та «до шин» (Reverse) за умовою відлаштування від максимального кута навантаження (діапазон 5...70 °):

$$\begin{aligned} ArgLd &= ATAN(X_{назр}/R_{назр}), \\ ArgLd &= F_{назр\ max} + dF, \end{aligned} \quad (15)$$

де $F_{назр\ max}$ – максимальний кут повного опору навантаження, $dF=5$.

Вибрана уставка $ArgLd_{PHS}$ узгоджується з відповідною уставкою $ArgLd_{PSD}$ блока блокування коливань як «у прямому напрямку» (16), так і «в зворотному напрямку» (17).

$$ArgLd_{PHS} = \arctg(tg ArgLd_{PSD} : KLdF_{WPSD}), \quad (16)$$

$$ArgLd_{PHS} = \arctg(tg ArgLd_{PSD} : KLdRv_{PSD}). \quad (17)$$

Вибирається максимальний $ArgLd_{PHS}$ з розрахованих кутів за формулами (16), (17).

Режим роботи і спрямованість кожного зі ступенів дистанційного захисту може бути: Forward (пряма), Reverse (зворотна характеристика, симетрична характеристикі «в прямому напрямку» з поворотом на 180 градусів) або None Dir (неспрямована). Розрахунки уставок фазового селектора виконуються, виходячи з уставок ступеня дистанційного захисту REL6**, які максимально охоплюють ПЛ, що захищається, як у разі міжфазних КЗ, так і у разі однофазних КЗ на землю і налаштованого на сигнал STCNDZ. Його уставки беруться за основу при виборі уставок виборчих органів фазового селектора. Для даної ПЛ 750 Київська-ХАЕС – це зона захисту 3, уставки якої максимально охоплюють дану ПЛ (спрямованість Forward). Тому характеристика зони знаходиться у I та IV квадрантах. Результати розрахунку уставок фазового селектора за розробленою програмою видаються у вигляді спеціалізованих таблиць (по кожній з заданих команд) розрахунку і визначення уставок, що містять необхідну розрахункову інформацію з потрібними коментарями.

На рис. 1–3 відображено результуючі графічні характеристики фазового селектора з сектором навантаження в площині по відношенню до характеристик дистанційного захисту вибраного ступеня, уставки якого максимально охоплюють лінію ПЛ 750 Київська-ХАЕС при 2ф, 1ф, 3ф КЗ (спрямованість ступеня Forward).

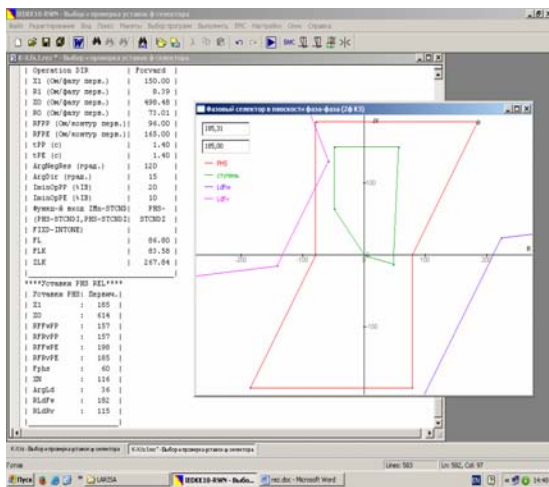


Рис. 1

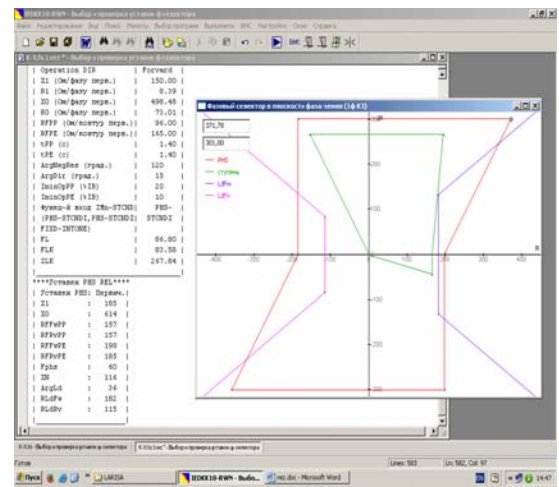


Рис. 2

На рис. 4, 5 відображено результуючі графічні характеристики фазового селектора з сектором навантаження в площині по відношенню до характеристик дистанційного захисту вибраного ступеня, уставки якого максимально охоплюють лінію ПЛ 750 Київська-ХАЕС у разі 1ф, 3ф КЗ і зворотно направленою ступеня дистанційного захисту, тобто Reverse (аналогічно виглядає характеристика в разі 2ф КЗ, тобто з поворотом на 180 градусів).

На рис. 6, 7 відображено результуючі графічні характеристики фазового селектора з сектором навантаження в площині по відношенню до характеристик дистанційного захисту вибраного ступеня, уставки якого максимально охоплюють лінію ПЛ 750 Київська-ХАЕС у разі 1ф, 3ф КЗ, якщо ступінь дистанційного захисту неспрямований, тобто None Dir (аналогічно виглядає і характеристика в разі 2ф КЗ).

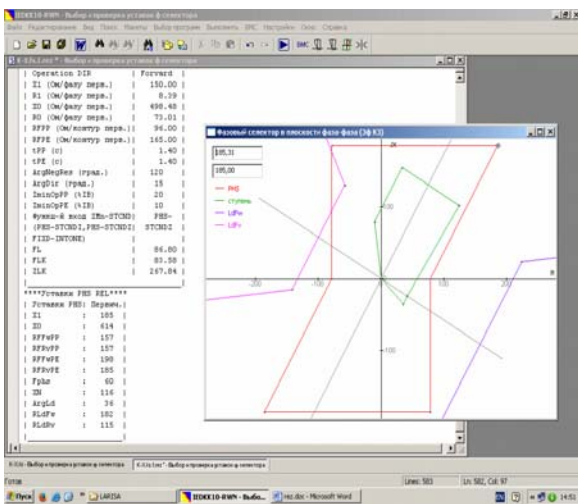


Рис. 3

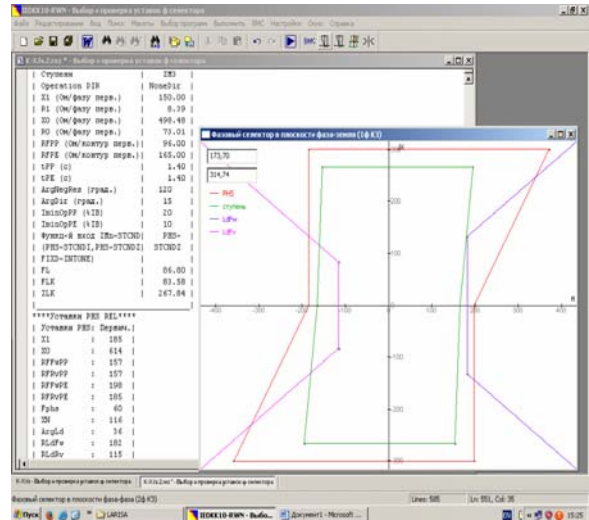


Рис. 6

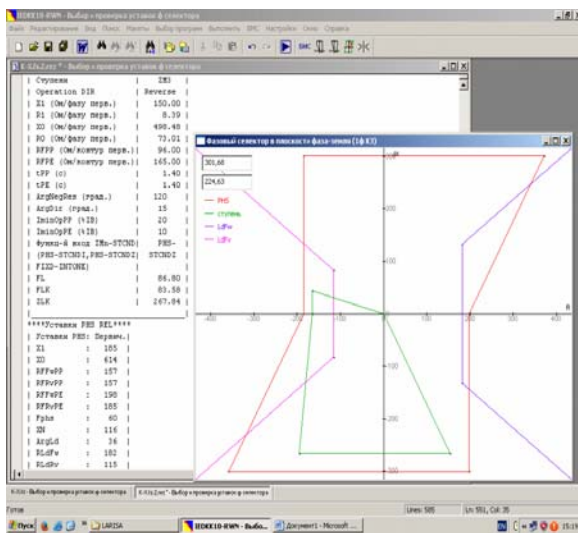


Рис. 4

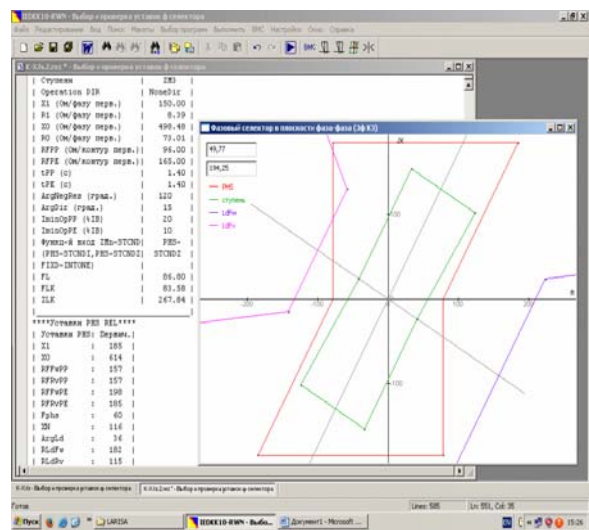


Рис. 7

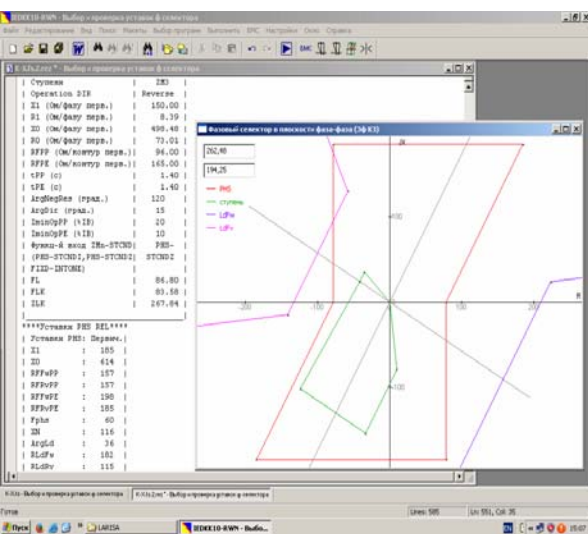


Рис. 5

На розроблену програму отримано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. Ця програма інтегрована в ліцензований Комплекс IEDKK10-RW і доповнила розроблені раніше програми розрахунків та вибору уставок МП пристроїв REL6**, що створило можливість правильного і надійного вибору пошкодженої фази в разі КЗ протягом всієї довжини лінії, що захищається, у всіх режимах з метою виключення помилкових спрацьовувань у разі великих перетоків потужності в терміналі на довгих, сильно навантажених лініях для забезпечення ефективної роботи ОАПВ на ПЛ. Програмне забезпечення

відповідає технічній документації виробника на термінал REL6** та вимогам, висунутим відділом розрахунків параметрів РЗ та ПА НЕК «Укренерго», та апробовано на реальних ПЛ НЕК «Укренерго» Київська-ХАЕС, ЗАЕС – Запорізька в разі як міжфазних, так і однофазних КЗ. Роботу рекомендовано до впровадження у промислову експлуатацію в ОЕС України.

Робота фінансувалась за рахунок цільової комплексної програми наукових досліджень за темою «Розроблення інтелектуальної системи оперативного аналізу післяаварійного стану електричних мереж для підтримки рішень диспетчера з відновлення електропостачання» (шифр «Об'єднання-3»), що виконувалась за Розпорядженням Президії НАН України від 01.02.2018, протокол № 69. Державний реєстраційний номер 0116U006459.

1. Колесникова Н.Ф., Литвинова О.А., Козлова Е.И. Интеллектуализована система для релейного захисту. *Праці Ін-ту електродинаміки НАН України*. 2016. Вип. 44. С. 34–42.

УДК 621.311

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАСЧЕТА И ВЫБОРА УСТАВОК ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ МОДУЛЯ ФАЗОВОГО СЕЛЕКТОРА С СЕКТОРОМ НАГРУЗКИ

Н.Ф. Колесникова, Е.И. Козлова, О.А. Литвинова

Институт электродинамики НАН Украины,
пр. Победы, 56, Киев, 03057, Украина

*Представлены результаты работы по созданию программного обеспечения расчета и выбора уставок фазового селектора с сектором нагрузки. Цель работы – дополнить разработанный и внедренный в промышленную эксплуатацию в «НЭК Укрэнерго» и его региональные диспетчерские центры Украины Комплекс IEDKK10-RW автоматизированных расчетов аварийных режимов и уставок микропроцессорных устройств REL6 ** фирмы ABB для воздушных линий и автотрансформаторов в сложных электрических сетях объемом до 10000 узлов программным обеспечением для выполнения автоматизированных расчетов и выбора уставок фазового селектора и сектора нагрузки. Работа выполнена в связи с необходимостью правильного и надежного выбора поврежденной фазы при коротком замыкании на протяжении всей длины линии, которая защищается, во всех режимах с целью исключения ложных срабатываний при больших перетоках мощности в терминале на длинных, сильно нагруженных линиях для обеспечения эффективной работы однофазного автоматического повторного включения на воздушной линии. Библ. 1, рис. 7.*

Ключевые слова: энергосистема, электрическая сеть, уставка релейной защиты, короткое замыкание, аварийный режим, программное обеспечение, фазовый селектор, сектор нагрузки.

SOFTWARE FOR SETTLEMENT AND CHOICE OF SETTING OF THE PHASE SELECTOR SETTING WITH LOAD SECTOR

N.F. Kolesnykova, O.I. Kozlova, O.A. Lytvynova

Institute of Electrodynamics of the National Academy of Sciences of Ukraine,
pr. Peremohy, 56, Kyiv, 03057, Ukraine

*Presents the results of work on the creation of software to ensure settlement and the choice of the settings of the Phase Selector Settings with Load Sector. The purpose of this work was the need to supplement the IEDKK10-RW automated calculations complex of emergency modes and setpoints of MPs of the ABB REL6 ** devices for overhead lines and AT in complex electrical networks up to 10,000 nodes developed and implemented into commercial operation at NEK Ukrenergo and its Regional Dispatch Rooms Centers of Ukraine with software for performing automated calculations and selecting settings for the phase selector and the load sector. The work was carried out due to the need for correct and reliable selection of the damaged phase during short circuits throughout the length of the line that is protected in all modes and to eliminate false alarms with large power flows in the terminal on long heavily loaded lines to ensure efficient operation of single phase automatic reclosing on overhead lines. Reference 1, figures 7.*

Key words: power system, electrical network, setpoint of relay protection, short circuit, emergency mode, software, Phase Selector, Load Sector.

1. Kolesnykova N.F., Lytvynova O.A., Kozlova O.I. Intelligent system for relay protection. *Pratsi Instytutu elektrodynamiky Natsionalnoi Akademii Nauk Ukrainy*. 2016. No 44. Pp. 34–42. (Ukr)

Надійшла 20.03.2019

Received 20.03.2019