

**ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ В
РОЗГАЛУЖЕНІЙ СЕКЦІОНОВАНІЙ ЛІНІЇ 10 КВ**

А. О. Омельчук, кандидат технічних наук, доцент

E-mail: omelchuk_anatoli@ukr.net

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Я. Д. Ярош, доктор технічних наук, професор

E-mail: yaroslav.yarosh76@gmail.com

В. А. Прядко, асистент

E-mail: vapryadko@gmail.com

Поліський національний університет

О. А. Мащенко, старший викладач

E-mail: oll973@ukr.net

Національний університет харчових технологій

Анотація. Досліджено параметри налаштування суміжних дистанційних захистів з дистанційним пуском із урахуванням особливостей режимів роботи та умов експлуатації секціонованих розгалужених розподільчих ліній. Визначено вплив параметрів і режимів роботи таких ліній на діапазон регулювання уставок за опором та часом спрацювання в кінці зони дії та вимоги до лінійності часових характеристик, що дозволяє визначати відстані до місця короткого замикання за часом спрацювання.

Отримані результати для налагодження дистанційних захистів секціонованих ліній з джерелами розподіленої генерації: визначено умови регулювання уставок захисту за опором спрацювання з урахуванням параметрів секціонованих ліній та визначено межі регулювання уставок за опором спрацювання за вторинними значеннями. Також визначено умови регулювання уставок за часом спрацювання та межі часу спрацювання захисту для більшості ліній.

Для селективної роботи захисту при вибраних уставках за часом спрацювання забезпечується однозначність часових характеристик при зміні величин робочих струмів захисту при умові десятивідсоткової точності роботи захисту за опором спрацювання.

Досліджено умови забезпечення селективної роботи суміжних захистів у вибраному діапазоні уставок за часом спрацювання з урахуванням відношення опорів та визначено розбіжність у часі спрацювання.

Обґрунтовано початковий час дії захисту для відлагодження захисту за часом спрацювання від спрацювання обмежувачів перенапруги та від перегорання плавкої вставки запобіжників відгалужень і відпайок при короткому замиканні

безпосередньо за запобіжником. Використання сучасних мікропроцесорних пристроїв захисту забезпечить, з одного боку, точність опору спрацювання, лінійної і однозначної залежності витримки часу спрацювання від опору петлі короткого замикання при різних рівнях струмів і напруг, а з іншого боку - простоту в обслуговуванні комплектів захисту.

Ключові слова: *дистанційний захист, коротке замикання, секціоновані лінії, джерела розподіленої генерації, чутливість, селективність*

Актуальність. Традиційні захисти розподільчих мереж 10 кВ у вигляді максимального струмового захисту (МСЗ) і струмової відсічки (СВ) за своїми технічними характеристиками і виконанням не відповідають вимогам захисту секціонованих ліній з джерелами розподіленої генерації (ДРГ). Тому на цих лініях доцільно використання дистанційного захисту з дистанційним пуском і залежною від опору петлі к.з. витримкою часу [1, 2].

Дистанційні захисти, які широко застосовуються в мережах 35...110 кВ і вище, забезпечують селективне відключення пошкоджень в мережах будь-якої конфігурації. Сучасні дистанційні мікропроцесорні захисти використовують релейний ефект миттєвої дії з різними характеристиками в комплексній площині і моделюють окремі струмові і дистанційні пускові органи.

Окрім цього, дистанційні захисти, необхідні для розгалужених розподільчих мереж з відносно малими потужностями захищуваних ліній, повинні характеризуватись необхідними технічними характеристиками і невисокою вартістю, простотою в налагоджуванні та обслуговуванні.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Питання використання релейного захисту для розподільчих мереж з мережним резервуванням та ДРГ висвітлювались в окремих публікаціях [1, 2]. Досліджувались особливості роботи захисту в нормальному та післяаварійному режимах роботи таких мереж: захисти ліній з ДРГ повинні задовольняти загальним вимогам забезпечення необхідної чутливості, селективності дії при різних видах пошкоджень. Проблеми в забезпеченні необхідної чутливості та селективності при використанні максимальних струмових захистів та струмових відсічок в таких мережах обумовлені малим рівнем струмів короткого замикання від резервних джерел. Наведено особливості виконання релейного захисту в секціонованих мережах при живленні їх від резервних джерел.

Характер розподілу струмів к.з. по магістралі секціонованої лінії в режимі роботи з розімкненим пунктом АВР і в режимі живлення від резервної підстанції при середніх параметрах довжин і опорів ділянок показує, що струмова відсічка, встановлена на головній ділянці, відлагоджена від максимального струму к.з. за секціонуючим пунктом, забезпечує захист приблизно 67 % магістралі першої ділянки лінії. Відсічка, встановлена на секціонуючому пункті, відлагоджена від максимального струму к.з. на суміжній ділянці, забезпечує захист тільки 20 % ділянки магістралі лінії при живленні від основного джерела.

При живленні від резервного джерела струми к.з. на захищуваній ділянці є значно менші уставки струмової відсічки, встановленої на секціонуючому пункті, тому в цьому випадку струмова відсічка, встановлена на секціонуючому вимикачі, виявляється неефективною.

У сучасних умовах розвитку розподільчих мереж та поширення ДРГ досліджуються проблеми вдосконалення релейного захисту для таких розгалужених мереж. Привертають увагу особливості роботи захисту при різних режимах роботи таких мереж, а саме: нормальному та післяаварійному: захист таких мереж повинен задовольняти вимоги необхідної чутливості, селективності дії при різних видах пошкоджень. Труднощі в забезпеченні необхідної чутливості при використанні МСЗ та СВ в таких мережах викликані малим рівнем струмів короткого замикання від резервних джерел.

Приведемо особливості виконання релейного захисту в секціонованих мережах при живленні їх від ДРГ та обґрунтуємо доцільність використання дистанційних пускових органів дистанційного захисту для підвищення чутливості захисту секціонованих ліній з ДРГ.

Дослідження режимів роботи, параметрів ліній з ДРГ і критеріїв визначення уставок дистанційних захистів з залежною витримкою часу для цих ліній дозволяють визначити основні характеристики вказаних захистів:

- діапазон регулювання уставок по опорі і часу спрацювання;
- характер залежності часу спрацювання захисту від опорі на вхідних затискачах реле;

- струм 10 %-ної точності спрацювання захисту;
- допустимі межі неточності уставок захисту;
- межі початкового часу спрацювання захисту;
- облаштування захисту та його відлагодження з урахуванням умов експлуатації

тощо.

Мета дослідження – вивчення роботи дистанційного захисту в секціонованих лініях з резервуванням або ДРГ.

Матеріали і методи дослідження. Для обґрунтування ефективних способів виконання дистанційних захистів і отримання рекомендацій необхідно визначити характеристики захисту з урахуванням умов узгодження та вибору уставок захисту по опорі і часу спрацювання в кінці зони дії.

Умови вибору опору спрацювання захисту визначаються:

1) необхідністю забезпечення нормованого коефіцієнта чутливості в кінці зони дії захисту:

$$Z_{уст.} \geq K_{\text{ч}} \cdot Z_{\text{зах.}}, \quad (1)$$

де $Z_{\text{зах.}}$ – опір на затискачах реле захисту при к.з. в найбільш віддаленій розрахунковій точці зони захисту, Ом; $Z_{уст.}$ – уставка опору спрацювання дистанційного захисту, Ом; $K_{\text{ч}}$ – коефіцієнт чутливості захисту;

2) необхідністю відлагодження від мінімального розрахункового опору на затискачах реле в нормальному режимі роботи лінії - $Z_{р.н.}$:

$$Z_{уст.} < \frac{Z_{р.н.}}{K_{н.д.} \cdot K_{п.д.}}, \quad (2)$$

де $K_{н.д.}$, $K_{п.д.}$ – коефіцієнти, відповідно, надійності і повернення дистанційного захисту.

3) необхідністю відлагодження від к.з. на шинах 0,4 кВ трансформаторів споживчих підстанцій:

$$Z_{уст.} < K_{н1} \cdot Z_{о-тп.}, \quad (3)$$

де $Z_{о-тп.}$ – опір від місця встановлення захисту до шин 0,4 кВ найбільш потужної з розміщених поблизу до місця встановлення захисту споживчих трансформаторних

підстанцій, Ом; $K_{Н1}$ – коефіцієнт надійності, котрий враховує похибку спрацювання захисту, вимірювальних трансформаторів.

4) узгодження по опору спрацювання з захистом суміжної ділянки:

$$Z_{уст.} \ll \frac{Z_{уст.наст.} + Z_{М.}}{K_{Н.2}}, \quad (4)$$

де $Z_{уст.наст.}$ – опір спрацювання наступного захисту, розміщеного ближче до місця пошкодження, Ом; $Z_{М.}$ – опір по магістралі лінії до місця встановлення наступного захисту, Ом; $K_{Н.2}$ – коефіцієнт надійності, що враховує похибку по опору спрацювання розглядуваного захисту і захисту суміжної ділянки.

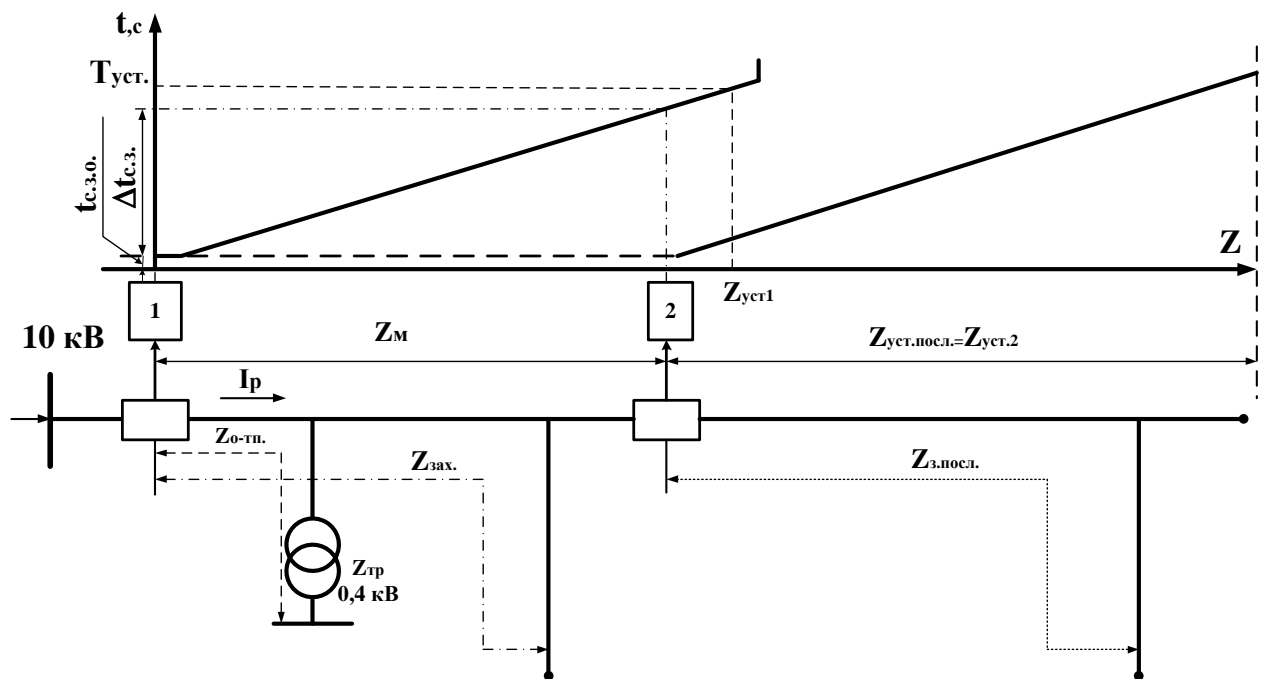


Рис.1. Пояснювальна схема до визначення умов спрацювання дистанційного захисту з дистанційним пуском і залежною витримкою часу

Отже, умова вибору опору спрацювання може мати вигляд (рис.1):

$$K_{ч} \cdot Z_{зах.} < Z_{уст.} < \begin{cases} \frac{Z_{р.н.}}{K_{Н.д.} \cdot K_{В.д.}}; \\ K_{Н1} \cdot Z_{0-тп.}; \\ \frac{Z_{уст.наст.} + Z_{М.}}{K_{Н.2}}; \end{cases} \quad (5)$$

$$K_{ч.мін} < K_{ч.} < \begin{cases} \frac{1}{K_{н.д.} \cdot K_{в.д.}} \cdot \frac{Z_{р.н.}}{Z_{зах.}}; \\ K_{н1} \cdot \frac{Z_{о-тп.}}{Z_{зах.}}; \\ \frac{Z_{уст.наст.} + Z_{м.}}{Z_{зах.} \cdot K_{н.2}}; \end{cases} \quad (6)$$

Опір спрацювання захисту приймається найбільшим із опорів суміжних ділянок захищеної лінії напругою 10 кВ.

Для забезпечення селективної роботи захистів у різних режимах живлення секціонованої лінії часові характеристики захистів, які діють на відключення вимикачів магістралі лінії, повинні налагоджуватись з одним кутом нахилу.

Для зручності відлагодження характеристик захистів і можливості використання їх для реєстрації місця пошкодження необхідно забезпечити лінійну залежність часу спрацювання захисту від опору на затискачах реле.

Час спрацювання захисту в кінці зони дії визначається такими умовами:

1) необхідністю забезпечення ступеня селективності ($\Delta t_{с.з.}$) при пошкодженні поблизу місця встановлення наступного вимикача на лінії, тобто секціонуючого вимикача або вимикача пункту АВР (рис.1);

2) необхідністю відлагодження дії захисту від часу перегорання плавких вставок запобіжників споживчих підстанцій 10/0,4 кВ при пошкодженні за трансформаторами у випадку, коли при цьому опір до місця пошкодження входить в зону спрацювання захисту.

Виконання умови 2 при використанні дистанційних захистів із залежною витримкою часу забезпечується, оскільки опори споживчих трансформаторів потужністю від 100 до 420 кВ·А змінюються в межах (14,4...60,6) Ом, що перевищує опір секціонованої ділянки лінії.

Тому для потужних відгалужень, розміщених поблизу вимикачів і пристроїв захисту, к.з. за трансформатором споживчої підстанції еквівалентне пошкодженню в кінці зони захисту або навіть на суміжній ділянці, що дозволяє узгодити роботу дистанційних захистів за часом спрацювання з запобіжниками на відгалуженнях і відпайках.

Результати досліджень та їх обговорення. Для забезпечення умови 1 щодо захисту час його спрацювання в кінці зони захисту повинен відповідати умові:

$$t_{c.z.} \gg (t_{c.z.o.} + \Delta t_{c.z.}) \frac{Z_{уст.}}{Z_M}, \quad (7)$$

де $t_{c.z.o.}$ – час спрацювання наступного захисту на початку зони дії, с; $\Delta t_{c.z.}$ – ступінь селективності захисту, с; $Z_{уст.}$ - опір спрацювання захист, Ом; Z_M - опір по магістралі до місця встановлення наступного захисту, Ом.

При певній максимальній тривалості дії в кінці зони захисту ця умова є визначальною при виборі $Z_{уст.}$ захисту, оскільки

$$\frac{t_{макс.}}{(t_{c.z.o.} + \Delta t_{c.z.})} \gg \frac{Z_{уст.}}{Z_M}, \quad (8)$$

то

$$Z_{уст.} \gg Z_M \cdot \frac{t_{макс.}}{(t_{c.z.o.} + \Delta t_{c.z.})}.$$

Така взаємна залежність при виборі уставок за опором і часом спрацювання захисту пояснюється тим, що захист повинен містити дистанційний пусковий орган і орган залежної витримки часу.

Оскільки необхідно забезпечити чутливість і селективність дії захисту в різних режимах роботи лінії, а також узгодити дистанційний захист з роботою запобіжників, встановлених на споживчих трансформаторних підстанціях 10/0,4 кВ, умови вибору уставок захисту матимуть вигляд:

$$K_{\text{ч}} \cdot Z_{\text{зах.}} < Z_{\text{уст.}} < \begin{cases} \frac{Z_{p.n.}}{K_{н.д.} \cdot K_{в.д.}}; \\ Z_M \cdot \frac{t_{макс.}}{(t_{c.z.o.} + \Delta t_{c.z.})}; \\ \frac{K_{н1} \cdot Z_{o-тп.}}{Z_{уст.наст.} + Z_M}; \\ \frac{Z_{уст.наст.} + Z_M}{K_{н.2}}; \end{cases} \quad (9)$$

$$t_{c.z.} > (t_{c.z.o.} + \Delta t_{c.z.}) \frac{Z_{уст.}}{Z_M}, \quad (10)$$

Залежності (9), (10) є основними критеріями вибору уставок дистанційного захисту з дистанційним пуском і залежною витримкою часу і необхідні для визначення їх технічних характеристик.

Висновки і перспективи. Результати проведених досліджень рекомендується використовувати для налагодження дистанційних захистів секціонованих ліній з ДРГ.

Діапазон регулювання уставок захисту за опором спрацювання визначається за умовою (9) і параметрів секціонованих ліній. З урахуванням того, що первинні значення опорів ділянок знаходяться в межах (1...50) Ом, а значення коефіцієнтів трансформації трансформаторів струму $n_{тс}$ в межах 5...20 і трансформаторів напруги на пунктах секціонування та АВР $n_{тн}=50$, межі регулювання уставок за опором спрацювання за вторинними значеннями повинні бути від 0,1 до 8 Ом.

Діапазон регулювання уставок за часом спрацювання вибирається за умовою (10). При $(t_{с.з.}+\Delta t_{с.з.})=0,6$ с і $Z_M/Z_{уст.}=0,1...0,5$ для більшості ліній час спрацювання захисту при опорі на затискачах, рівному $0,9 \cdot Z_{уст.}$, необхідно регулювати в межах 1...6 с.

Для забезпечення селективної дії захисту в різних режимах роботи ліній та зручності при виборі уставок спрацювання часова характеристика захисту повинна бути лінійною. Окрім цього, лінійність часової характеристики захисту дозволяє використати значення часу спрацювання для визначення відстані до місця к.з.

Величини струмів к.з. в різних режимах роботи ліній суттєво відрізняються і для селективної роботи захисту при вибраних уставках за часом спрацювання необхідно забезпечити однозначність часових характеристик при зміні величин робочих струмів захисту. У зв'язку з цим необхідно забезпечити десятивідсоткову точність роботи захисту за опором спрацювання в межах струмів 4...75 А (при уставці 0,4 Ом на фазу).

Для забезпечення селективної роботи комплектів суміжних ділянок у вибраному діапазоні уставок за часом спрацювання (1...6 с) з урахуванням меж зміни $Z_M/Z_{уст.}$ від 0,1 до 0,5 розбіжність за часом спрацювання при опорі $Z=0,9 \cdot Z_{уст.}$

повинна не перевищувати 20 % при максимальній уставці за часом від 2 с до 6 с і не більше $\pm 0,2$ с при максимальному часі спрацювання 1...2 с.

Для відлагодження захисту за часом спрацювання від спрацювання обмежувачів перенапруги (ОПН) та від перегорання плавкої вставки запобіжників відгалужень і відпайок при к.з. безпосередньо за запобіжником, початковий час дії захисту повинен складати 0,25...0,4 с. Тобто, для розгалужених ліній напругою 10 кВ дистанційний захист з залежною витримкою часу не повинен бути швидкодіючим на відміну від аналогічного захисту для ліній більш високої напруги.

Дистанційний захист повинен встановлюватися на пунктах секціонування і резервування. Забезпечення досить складних характеристик (достатньої точності опору спрацювання, лінійної і однозначної залежності витримки часу спрацювання від опору петлі короткого замикання при різних рівнях струмів і напруг тощо) з однієї сторони та простоти в обслуговуванні з іншої сторони досягається використанням сучасних мікропроцесорних пристроїв захисту.

Список використаних джерел

1. Омельчук А. О., Волошин С. М., Тарасюк О. І. Вдосконалення способів виконання захистів ліній зв'язку з підстанціями розосереджених джерел генерації (РДГ). Енергетика і автоматика. 2019. №5. С. 107-115.
2. Омельчук А. О., Волошин С. М., Тарасюк О. І. Щодо захисту розподільних секціонованих ліній з мережевим резервуванням. Енергетика і автоматика. 2019. №6. С.55-65.
3. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: монография. СПб.: ПЭИПК, 2003. 350 с.

References

1. Omelchuk, A. O., Voloshyn, S. M., Tarasiuk, O. I. (2019). Vdoskonalennia sposobiv vykonannia zakhystiv linii zv'iazku z pidstantsiiamy rozoseredzhenykh dzherel heneratsii (RDH) [Improving methods of protection of lines of communication with substations of distributed sources of generation (DSG)]. Enerhetyka i avtomatyka, 5, 107-115.
2. Omelchuk, A. O., Voloshyn, S. M., Tarasiuk, O. I. (2019). Shchodo zakhystu rozpodilnykh sektsionovanykh linii z merezhevym rezervuvanniam [Regarding the protection of distribution partitioned lines with network redundancy]. Enerhetyka i avtomatyka, 6, 55-65.
3. Shabad M. A. (2003). Raschety releynoy zashchity i avtomatiki raspredelitel'nykh setey: monografiya [Calculations of relay protection and automation of distribution

networks]. SPb.: PEIPK, 350.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДИСТАНЦИОННОЙ ЗАЩИТЫ В РАЗВЕТВЛЕННОЙ СЕКЦИОНИРОВАННОЙ ЛИНИИ 10 КВ

А. А. Омельчук, Я. Д. Ярош, В. А. Прядко В.А., О. А. Мащенко

Аннотация. *Исследованы параметры смежных дистанционных защит с дистанционным пуском с учетом особенностей режимов работы и условий эксплуатации секционированных разветвленных распределительных линий. Определено влияние параметров и режимов работы таких линий на диапазон регулирования уставок по сопротивлению и времени срабатывания в конце зоны действия и требования к линейности временных характеристик, что позволяет определять расстояния до места короткого замыкания по времени срабатывания.*

Получены результаты для налаживания дистанционных защит таких линий с источниками распределенной генерации: определены условия регулирования уставок защиты по сопротивлению срабатывания с учетом параметров линий и определены границы регулирования уставок по сопротивлению срабатывания по вторичным значениям. Также определены условия регулирования уставок по времени срабатывания и пределы времени срабатывания защиты линий.

Для селективной работы защиты при выбранных уставках по времени срабатывания обеспечивается однозначность временных характеристик при изменении величин рабочих токов защиты при условии десятипроцентной точности работы защиты по сопротивлению срабатывания. Исследованы условия обеспечения селективной работы смежных защит в выбранном диапазоне уставок по времени срабатывания с учетом отношения сопротивлений и определен разброс времени срабатывания.

Обосновано начальный момент действия защиты для отладки защиты по времени срабатывания от срабатывания ограничителей перенапряжения и от перегорания плавкой вставки предохранителей ответвлений и отпаек при коротком замыкании непосредственно за предохранителем. Использование микропроцессорных устройств защиты обеспечит точность сопротивления срабатывания, линейность и однозначность зависимости выдержки времени срабатывания от сопротивления петли короткого замыкания при различных уровнях токов и напряжений, а также простоту в обслуживании защиты.

Ключевые слова: *дистанционная защита, короткое замыкание, секционированные линии, источники распределенной генерации, чувствительность, селективность*

RESEARCH OF REMOTE PROTECTION OPERATION IN A BRANCHED SECTIONED LINE 10 KV

A. Omelchuk, Y. Yarosh, V. Pryadko, O. Mashchenko

Abstract. *The article investigates the parameters of setting up adjacent remote protections with remote start-up, taking into account the peculiarities of operating modes and operating conditions of partitioned branched distribution lines. The influence of parameters and modes of operation of such lines on the range of adjustment of settings on*

resistance and time of operation at the end of a zone of action and requirements to linearity of time characteristics that allows to define distances to a place of short circuit on operation time is defined.

The results for setting up remote protections of partitioned lines with sources of distributed generation are obtained: the conditions for adjusting the protection settings for resistance to operation are determined taking into account the parameters of the partitioned lines and the limits of adjusting the settings for resistance to secondary values are determined.

The conditions for adjusting the settings by the time of operation and the limits of the time of operation of protection for most lines are determined.

For selective operation of protection at the selected settings on time of operation unambiguity of time characteristics at change of sizes of working currents of protection on condition of ten percent accuracy of work of protection on resistance of operation is provided.

The conditions for ensuring the selective operation of adjacent protections in the selected range of settings by the time of operation, taking into account the ratio of resistances and the difference in the time of operation are determined.

The initial time of protection protection is substantiated for debugging of protection on time of operation against operation of overvoltage limiters and against burnout of fusible insert of fuses of branches and unsoldering at short circuit directly behind the fuse. The use of modern microprocessor protection devices will ensure, on the one hand, the accuracy of the resistance, linear and unambiguous dependence of the operating time on the resistance of the short circuit at different levels of currents and voltages, etc., and on the other hand - ease of maintenance.

Key words: *distance protection, short circuit, sectioned lines, distributed generation sources, sensitivity, selectivity*