

**ВДОСКОНАЛЕННЯ ЗАХИСТУ РОЗПОДІЛЬНИХ
СЕКЦІОНОВАНИХ ЛІНІЙ З ДЖЕРЕЛАМИ РОЗПОДІЛЕНОЇ
ГЕНЕРАЦІЇ (ДРГ)**

А. О. Омельчук, кандидат технічних наук, доцент

С. М. Волошин, кандидат технічних наук, доцент

Л. В. Мартинюк, асистент

Ю. В. Кайденко, студент магістратури

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: omelchuk_anatoli@ukr.net

Анотація. *При живленні від резервного джерела струми короткого замикання на захищуваній ділянці значно менші уставки струмової відсічки, встановленої на секціонуючому пункті, тому в цьому випадку струмова відсічка виявляється неефективною.*

У випадках, коли максимальні струмові направлені захисти (МСЗ) не забезпечують необхідної чутливості, на секціонованих лініях та лініях з ДРГ доцільно застосовувати дистанційні захисти з залежною витримкою часу. Підвищення чутливості захисту при цьому обумовлене значним пониженням напруги на шинах ДРГ при зовнішніх коротких замиканнях через відносно більший реактивний опір генераторів малої і середньої потужності.

Різні режими роботи секціонованих ліній з ДРГ характеризується зміною напрямку перетікання струму навантаження і струму короткого замикання. Тому на таких лініях можуть бути застосовані максимальні струмові направлені захисти, які забезпечують селективну дію суміжних комплектів захисту ліній в різних режимах їх роботи.

Застосування захистів з незалежною витримкою часу призводить до накопичення великої витримки часу для захисту, встановленому на головному вимикачі (особливо, при встановленні на лінії декількох секціонуючих вимикачів), що ускладнює узгодження захистів головних ділянок ліній з захистами живлячих підстанцій.

У статті розглянуті проблеми вдосконалення релейного захисту для розподільчих мереж з джерелами розподіленої генерації (ДРГ). Приділена увага особливостям роботи захисту при різних режимах роботи таких мереж, а саме: нормальному та післяаварійному. Захист ліній з ДРГ повинні задовольняти загальні вимоги забезпечення 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. Наведено особливості виконання релейного захисту в

секціонованих мережах при живленні їх від ДРГ.

Обгрунтовано доцільність використання дистанційних пускових органів дистанційного захисту для підвищення чутливості захисту секціонованих ліній з ДРГ.

Ключові слова: *розподільчі мережі, секціонування, релейний захист, коротке замикання, розподілені джерела генерації, селективність, максимальний струмовий захист, струмова відсічка*

Актуальність. Для відключення близьких до місця встановлення захисту коротких замикань (к.з.) застосовують струмові відсічки. При застосуванні струмових відсічок на лініях з двостороннім живленням більше 50 % лінії залишається незахищеною. Це пов'язане з відносно малою зміною струму к.з. вздовж лінії, оскільки відносна величина реактивного опору лінії в його сумарному значенні схеми заміщення складає 12...25 % [1]. Разом з максимальними струмовими направленими захистами струмові відсічки можуть бути використані для надійного відключення близьких к.з.

У тих випадках, коли максимальні струмові направлені захисти не забезпечують необхідної чутливості, на секціонованих лініях, як і на лініях з ДРГ доцільно застосовувати дистанційні захисти з залежною витримкою часу. Підвищення чутливості захисту при цьому обумовлене значним пониженням напруги на шинах ДРГ при зовнішніх к.з. через відносно більший реактивний опір генераторів малої і середньої потужності.

Різні режими роботи секціонованих ліній з ДРГ характеризується, як було відмічено в [1, 2], зміною напрямку перетікання струму навантаження і струму к.з. Тому на таких лініях можуть бути застосовані максимальні струмові направлені захисти (МСНЗ), котрі забезпечують селективну дію суміжних комплектів захисту ліній в різних режимах їх роботи.

Застосування захистів з незалежною витримкою часу призводить до накопичення великої витримки часу для захисту, встановленому на головному вимикачі (особливо, при встановленні на лінії декількох секціонуючих вимикачів), що ускладнює узгодження захистів головних ділянок ліній з захистами живлячих підстанцій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Струм спрацювання пускових органів захистів необхідно підлагоджувати при роботі лінії лише в одному напрямку. Це покращує умови роботи захистів, котрі встановлені на секціонуючі пунктах при живленні лінії від ДРГ або резервної підстанції, дозволяє виконати узгодження захистів суміжних ділянок по струму спрацювання. Але через необхідність від лагодження пускових органів захисту від максимальних струмів навантаження в режимі ввімкненого пункту АВР, узгодження суміжних захистів за струмом спрацювання і узгодження їх з запобіжниками трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ необхідний рівень чутливості, як і для максимальних струмових захистів (МСЗ) у багатьох випадках не забезпечується.

Для зменшення накопичення витримок часу головних ділянок ліній можуть бути використані способи неселективної дії захисту з подальшим виправленням спрацюванням схеми автоматичного повторного вмикання (АПВ). При цьому прискорення захисту до АПВ пов'язане з короточасним неселективним відключенням непошкоджених ділянок мережі. Реалізація таких схем на секціонованих лініях з автоматичним вмиканням резерву (АВР) ускладнюється технічно, вимагає надійної роботи АПВ вимикача і, разом з тим, не вирішує питання підвищення чутливості захисту.

Таким чином, область застосування МСНЗ обмежується чутливістю струмового пускового органу і умовами узгодження захистів головних ділянок з захистами ліній живлення 35...110 кВ.

У зв'язку з цим на секціонованих лініях з ДРГ дослідимо застосування інших видів захисту, які на відміну від розглянутих вище та [1] забезпечували б чутливий захист переважної більшості цих ліній і селективну дію суміжних захистів в різних режимах роботи мережі.

Мета дослідження – обґрунтування найбільш доцільних способів виконання захисту і автоматики розподільних секціонованих ліній з ДРГ.

Матеріали і методи дослідження. Аналіз ефективності застосування в розподільчих секціонованих лініях з ДРГ дистанційного захисту з дистанційним органом показав можливість підвищення чутливості захисту. Підвищення

коефіцієнта чутливості при використанні дистанційних пускових органів в порівнянні зі струмовими визначається співвідношенням опору переддвімкненої ділянки Z_n до опору захищеної ділянки Z_3 , що впливає з наведених коефіцієнтів чутливості дистанційного і струмового захистів:

$$K_{ч.д} = \frac{0,9 \cdot U_{л}}{\sqrt{3} \cdot I_{р.макс} \cdot K_n \cdot K_{п.д} \cdot Z_3}, \quad (1)$$

$$K_{ч.с} = \frac{I_{к.з.}}{\frac{K_n}{K_{п.с}} \cdot I_{р.макс}}, \quad (2)$$

де $U_{л}$ – лінійна напруга, кВ; $I_{р.макс}$ – максимальне значення фазного робочого струму лінії, А; $K_{п.д.}$, $K_{п.с.}$ – коефіцієнти повернення дистанційного і струмового захистів; K_n – коефіцієнт надійності; Z_3 – опір захищеної ділянки, Ом; $I_{к.з.}$ – струм к.з. при пошкодженні в кінці захищеної ділянки, А.

Підвищення коефіцієнта чутливості дистанційного захисту в порівнянні зі струмовим визначається з урахуванням (1) і (2)

$$n = \frac{K_{ч.д.}}{K_{ч.с.}} = \frac{0,9 \cdot U_{л}}{\sqrt{3} \cdot I_{к.з.} \cdot Z_3} = 1 + \frac{Z_n}{Z_3}, \quad (3)$$

Згідно проведених на кафедрі електропостачання імені проф. В.М.Синькова досліджень математичне очікування підвищення коефіцієнта чутливості захисту, встановленого на головній ділянці лінії, при виконанні дистанційного захисту в порівнянні зі струмовим складає $M[n_1]=49\%$, а для захисту, встановленому на секціоную чому вимикачі при пошкодженні в кінці II ділянки – 58% .

Відношення опору навантаження Z_n , від якого повинен бути відлагоджений дистанційний захист, до опору захищеної ділянки Z_3 , котре забезпечує необхідне значення коефіцієнта чутливості, визначається виразом

$$\frac{Z_n}{Z_3} \geq K_{ч} \cdot K_n \cdot K_{п.д.}, \quad (4)$$

Мінімальне значення цього відношення забезпечення $K_{ч}=1,5$ становить 1,8 (при $K_{н}=1,2$, $K_{н.д.}=1,1$). З приведеного на рис. 1 розподілу відношення $Z_{н}/Z_{з}$ для ділянок секціонованих ліній з ДРГ слідує, що $Z_{н}/Z_{з} \geq 1,8$ забезпечується в 92 % випадків для захистів, встановлених на секціонуючи пунктах, і у 88 % - на головних ділянках. Математичне очікування $M[Z_{н}/Z_{з}]$ складає 3,5 для захистів, встановлених на головній ділянці лінії і 4,5 – на секціонуючих пунктах і забезпечується в 67% випадків.

Результати досліджень та їх обговорення. Таким чином, використання дистанційних пускових органів забезпечує виконання захисту переважної більшості секціонованих ліній з ДРГ з необхідною чутливістю.

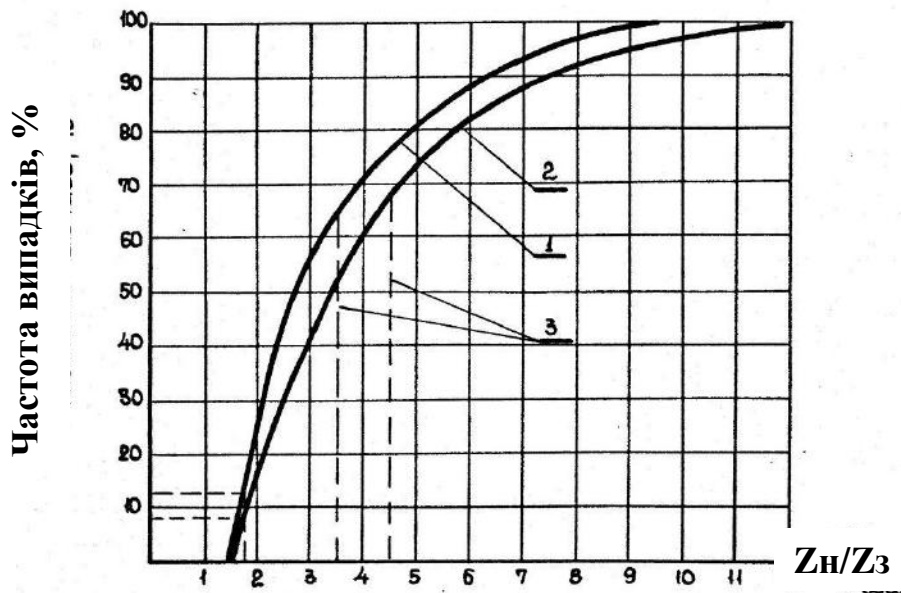


Рис.1. Розподіл відношення розрахункового опору навантаження $Z_{н}$ до опору захищуваної ділянки $Z_{з}$ для першої (1) і другої (2) ділянок секціонованої лінії; 3 – середнє значення

За умовами узгодження захистів, встановлених на головних ділянках ліній, секціонуючи пунктах і пунктах АВР між собою в різних режимах роботи, узгодження їх з роботою захисту живлячої трансформаторної підстанції, а також з роботою запобіжників споживчих ТП – на розглядуваних лініях доцільно

застосовувати дистанційні захисти з залежною від величини опору петлі короткого замикання витримкою часу.

Застосування такого захисту дозволяє одним комплектом забезпечити селективне відключення пошкоджень на кожній із суміжних ділянок у всіх режимах роботи розглядуваної лінії. Для цього при використанні ненаправлених дистанційних захистів часові характеристики суміжних захистів повинні мати однаковий нахил (рис. 2).

Дистанційні захисти з залежною витримкою часу забезпечують швидке відключення близьких коротких замикань. Тому при застосуванні таких захистів навіть на багатократно секціонованих лініях, узгодження захисту, встановленого на головній ділянці з захистом живлячої підстанції може бути виконано при значно меншій величині витримки часу останньої, ніж при застосуванні захисту з незалежною витримкою часу.

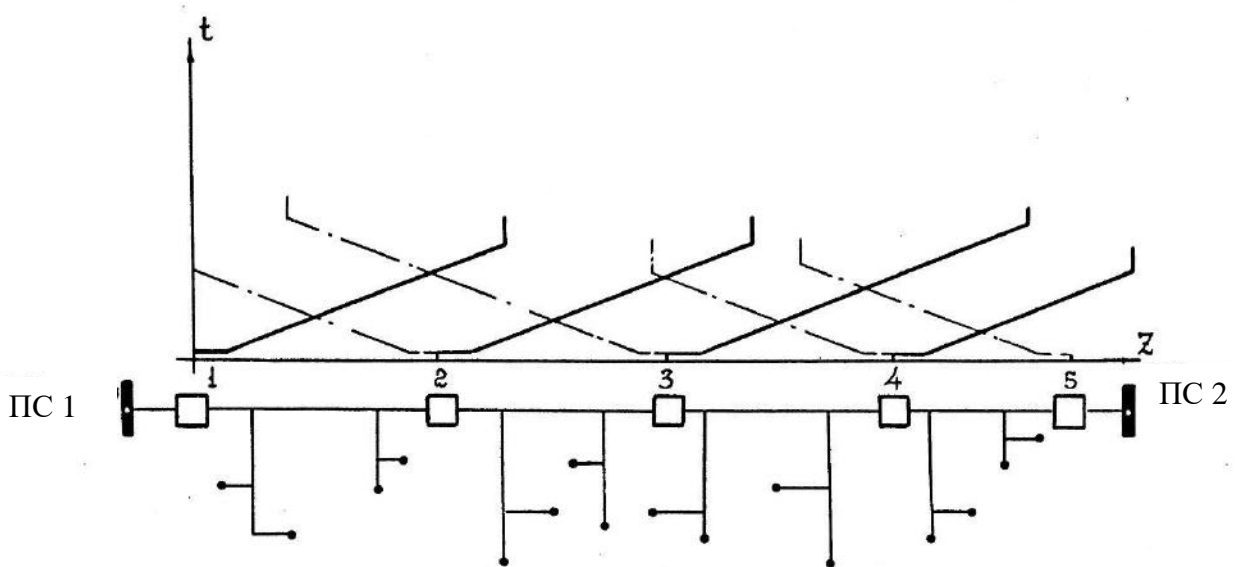


Рис. 2. Узгодження робочих дистанційних захистів з залежною витримкою часу в різних режимах роботи секціонованих ліній з ДРГ:

_____ – при живленні від підстанції 1; ___ . ___ . ___ – при живленні від підстанції 2; 1, 5 – вимикачі головних ділянок ліній; 2, 4 – секціонуючі вимикачі; 3 – пункт АВР

Дистанційні захисти із залежною від величини опору на вході реле витримкою часу забезпечують узгодження з дією запобіжників споживчих трансформаторних підстанцій 10/0,4 кВ. При цьому на відміну від максимальних струмових захистів із залежною витримкою часу не вимагається закрублювати захист по уставці спрацювання. Внаслідок значного реактивного опору трансформаторів 10/0,4 кВ, що застосовуються на відпаєчних підстанціях, вказані захисти відлагоджуються від пошкоджень за ними по опору спрацювання або по часу спрацювання.

Із ампер-секундних характеристик запобіжників типу ПК-10 з плавкими вставками на струми 15 А, 20 А, що застосовуються на трансформаторах 10/0,4 кВ потужністю, впливає, що часу повного відключення порядку 5 с відповідає при двофазному к.з. опір від системи до місця пошкодження відповідно 69...45 Ом.

Із проаналізованих величин опорів перед ввімкнених ділянок для захистів, встановлюваних на підстанціях і секціонуючи пунктах ($M[Z_H]=5,43...10$ Ом) і опорів захищуваних ділянок ($M[Z]=15,6...23,2$ Ом), вказані вище опору відповідають пошкодженням поза зоною дії захисту або в кінці зони, де узгодження може бути виконано за часом спрацювання.

Для забезпечення надійної роботи ліній з двостороннім живленням, які з'єднують ДРГ з підстанціями потужної електричної системи, і зменшення перерв в електропостачанні окрім чутливого і селективного захисту необхідно застосовувати АПВ для швидкого відновлення міжсистемних зв'язків. Однак на вказаних лініях АПВ практично не застосовується – це пов'язано з тим, що в умовах розподільчих електричних мереж з розосередженим електричним навантаження (що характерно для сільськогосподарських районів) при роботі електросистеми малої потужності паралельно з потужною електросистемою звичайні способи виконання і облаштування АПВ не завжди можливі.

Висновки і перспективи. Труднощі виконання захисту секціонованих ліній з ДРГ обумовлені необхідністю забезпечення вимог по чутливості і селективності дії в різних режимах роботи цих ліній, які відрізняються величиною і направленням робочих струмів і струмів к.з.

Аналіз параметрів і режимів роботи вказаних ліній показав, що:

а) струмові пускові органи захисту не забезпечують за вимогою чутливості значної частини таких ліній. Необхідність відлагодження захисту від робочого струму лінії при додатковому підключення резервованої лінії приводить до загублення її в основному режимі (при розімкненому пункті АВР). Лише при врахуванні цієї умови для забезпечення коефіцієнта чутливості рівного 1,5 співвідношення мінімальних струмів к.з. на захищуваних ділянках до розрахункового струму навантаження не забезпечуються в середньому в 28 % випадків для захистів, встановлених на головних ділянках ліній і в 35 % випадків для захистів, встановлених на секціонуючи пунктах;

б) розподільчі лінії з ДРГ (навіть в режимі розімкненого пункту АВР) з точки зору забезпечення селективності дії пред'являють до захистів такі ж вимоги, як і лінії з ввімкненим пунктом АВР, тобто лінії з двостороннім живленням). Тому на них необхідно застосовувати більш складні захисти, ніж для радіальних ліній, наприклад, направлені, дистанційні;

в) для виконання чутливого і селективного захисту секціонованих ліній з ДРГ доцільно застосовувати дистанційні захисти з дистанційним пуском і залежною від опору петлі короткого замикання витримкою часу. Підвищення їх чутливості порівняно зі струмовими складає в середньому 49 % для захистів головних ділянок і 58 % для захистів, встановлених на секціонуючи пунктах, причому для останніх необхідне значення коефіцієнта чутливості 1,5 забезпечується в 92 % випадків.

Такі захисти забезпечують одним комплектом селективне відключення пошкоджень на захищуваних ділянках у всіх режимах роботи багатократно секціонованих ліній з ДРГ, забезпечують узгодження захистів головних ділянок з захистом живлячих підстанцій з меншою витримкою часу останніх, забезпечують селективну дію захисту з запобіжниками споживчих ТП 10/0,4 кВ.

Список використаних джерел

1. Омельчук А. О., Волощин С. М., Тарасюк О. І. Вдосконалення способів виконання захистів ліній зв'язку з підстанціями розосереджених джерел генерації (РДГ). Енергетика і автоматика. 2019, №5.

2. Омельчук А. О., Волошин С. М., Тарасюк О. І. Щодо захисту розподільних секціонованих ліній з мережевим резервуванням. Енергетика і автоматика. 2019. №6.

3. Шабад М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей: монография. СПб.: ПЭИПК, 2003. 350 с.

References

1. Omelchuk, A. O., Voloshchyn, S. M., Tarasiuk, O. I. (2019). Vdoskonalennia sposobiv vykonannya 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.

2. Omelchuk, A. O., Voloshchyn, S. M., Tarasiuk, O. I. (2019). Shchodo zakhystu rozpodilnykh sektsionovanykh linii z merezhevym rezervuvanniam [Regarding the protection of partitioned partitioned lines with network redundancy]. Enerhetyka i avtomatyka, 6.

3. Shabad, M. A. (2003). Raschety releynoy zashchity i avtomatiki raspredelitel'nykh setey: monografiya [Calculations of relay protection and automation of distribution networks]. SPb.: P·EIPK, 350.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗАЩИТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕКЦИОНИРОВАННЫХ ЛИНИЙ С ИСТОЧНИКАМИ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ (ИРГГ)

А. А. Омельчук, С. М. Волошин, Л. В. Мартынюк, Ю. В. Кайденко

Аннотация. При питании от резервного источника токи короткого замыкания на защищаемом участке значительно меньше вставки токовой отсечки, установленной на секционирующем пункте, потому в этом случае токовая отсечка оказывается неэффективной.

В случаях, когда максимальные токовые направленные защиты (МСНЗ) не обеспечивают необходимую чувствительность, на секционированных линиях и линиях из ДРГ целесообразно применять дистанционные защиты с зависимой выдержкой в значительном понижении напряжения на шинах ДРГ при внешних коротких замыканиях через относительно большее реактивное сопротивление генераторов малой и средней мощности.

Разные режимы работы секционированных линий из ДРГ характеризуется изменением направления перетока тока нагрузки и тока короткого замыкания. Поэтому на таких линиях могут быть применены максимальные токовые направленные защиты, которые обеспечивают селективное действие смежных комплектов защиты линий в разных режимах их работы.

Применение защит с независимой выдержкой времени приводит к накоплению большой выдержки времени для защиты, установленному на главном выключателе (особенно, при установлении на линии нескольких секционирующих выключателей), который усложняет согласование защит главных участков линий из защитами питающих подстанций.

В статье рассмотрены проблемы совершенствования релейной защиты для распределительных сетей с источниками распределенной генерации (ДРГ). Уделено внимание особенностям работы защиты при разных режимах работы таких сетей, а именно: нормальному и послеаварийному. Защиту линий из ДРГ должны удовлетворять общие требования обеспечения необходимой чувствительности, селективности действия при разных видах повреждений.

Трудности в обеспечении необходимой чувствительности при использовании максимальной токовой защиты (МТЗ) и токовой отсечки (ТО) в таких сетях вызваны малым уровнем токов короткого замыкания от резервных источников. Приведены особенности выполнения релейной защиты в секционированных сетях при питании их от ДРГ.

Обоснована целесообразность использования дистанционных пусковых органов дистанционной защиты для повышения чувствительности защиты секционированных линий из ДРГ.

Ключевые слова: *распределительные сети, секционирования, релейная защита, короткое замыкание, распределенные источники генерации, селективность, максимальная токовая защита, токовая отсечка.*

IMPROVEMENT OF PROTECTION OF DISTRIBUTION OF SECTIONED LINES WITH DISTRIBUTED GENERATION SOURCES (DGS)

A. Omelchuk, S. Voloshchyn, L. Martyniuk, Yu. Kaidenko

Abstract. *When powered from a backup source, the short-circuit currents in the protected area are much lower than the current cutoff insert installed at the sectioning point, therefore, in this case, the current cutoff is ineffective.*

In cases where the maximum current directional protection (MCDP) does not provide the required sensitivity, it is advisable to use distance protection with dependent exposure on sectioned lines and lines from distributed generation sources (DGS) in a significant decrease in voltage on the DGS buses during external short circuits through a relatively large reactance of small and medium power.

Different modes of operation of sectioned lines from DGS are characterized by a change in the direction of flow of the load current and short-circuit current. Therefore, on such lines, maximum current directional protections can be applied, which provide selective action of adjacent sets of line protection in different modes of their operation.

The use of definite time protection leads to the accumulation of a long time delay for the protection installed on the main switch (especially when several sectioning switches are installed on the line), which complicates the coordination of the protection of the main sections of the lines from the protection of the supply substations.

The article deals with the problems of improving relay protection for distribution networks with distributed generation sources (DGS). Paying attention to the peculiarities of protection operation under different operating modes of such networks, namely: normal and post-emergency. The protection of lines from DGS must meet the general requirements for ensuring the necessary sensitivity, selectivity of action for different types of damage.

Difficulties in ensuring the required sensitivity when using overcurrent protection and current cutoff in such networks are caused by the low level of short-circuit currents from backup sources. The features of the implementation of relay protection in sectioned networks when they are powered from the DGS are given.

The expediency of using remote triggering devices for distance protection to increase the sensitivity of protection of sectioned lines from DGS has been substantiated.

Key words: *distribution networks, sectioning, relay protection, short circuit, distributed generation sources, selectivity, overcurrent protection, current cutoff*