УДК 621.316.92 DOI 10.31548/energiya2019.06.055

ЩОДО ЗАХИСТУ РОЗПОДІЛЬНИХ СЕКЦІОНОВАНИХ ЛІНІЙ З МЕРЕЖЕВИМ РЕЗЕРВУВАННЯМ

А. О. Омельчук, кандидат технічних наук, доцент

С. М. Волошин, кандидат технічних наук, доцент

О. І. Тарасюк, аспірант

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: omelchuk_anatoli@ukr.net

Анотація. *Розглянуті проблеми використання релейного захисту для розподільчих мереж з мережним резервуванням. Приділена увага особливостям роботи захисту при різних режимах роботи таких мереж, а саме: нормальному та післяаварійному. Захист ліній з мережним резервуванням повинен задовольняти загальним вимогам забезпечення необхідної чутливості, селективності дії при різних видах пошкоджень. Труднощі в забезпеченні необхідної чутливості при використанні максимальних струмових захистів та струмових відсічок в таких мережах викликані малим рівнем струмів короткого замикання від резервних джерел. Наведено особливості виконання релейного захисту в секціонованих мережах при живленні їх від резервних джерел.*

Залежності розподілу струмів к.з. по магістралі секціонованої лінії в режимі роботи з відключеним пунктом АВР і в режимі живлення від резервної підстанції при середніх параметрах довжин і опорів ділянок показують, 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 % магістралі лінії при живленні від основного джерела.

При живленні від резервного джерела струми к.з. на захищеній ділянці значно менші уставки струмової відсічки, встановленої на секціонуючому пункті, тому в цьому випадку струмова відсічка, встановлена на секціонуючому вимикачі, виявляється неефективною. Максимальні струмові відсічки на секціонованих лініях з мережним резервуванням як захист другого ступеня доцільно використовувати на головних ділянках лінії.

Ключові слова: розподільчі мережі, секціонування, релейний захист, коротке замикання, резервування, селективність

Актуальність. Релейний захист розподільних секціонованих ліній із мережевим резервуванням повинен задовольняти загальні вимоги, які висуваються до засобів захисту:

а) забезпечувати необхідну чутливість на всіх режимах роботи ліній при різних видах коротких замикань (к.з.);

б) забезпечувати погоджуваність роботи комплектів пристроїв, які встановлено на головних дільницях, секційних пунктах і пунктах АВР між собою в різних режимах роботи ліній, сумісність роботи із захистом живильної системи та із захистом споживчих трансформаторних підстанцій;

в) мати необхідну надійність і разом із цим бути зручним і простим в експлуатації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Наведені вимоги необхідно задовольняти із врахуванням економічності роботи захисту. Вибір схем мережі тепер проводиться при умові забезпечення необхідного ступеня надійності електропостачання. Ця умова є визначальною й при виборі принципів їх захисту, тим більше, що вартість розподільних ліній (навіть 1 км їх довжини) значно переважає вартість релейного захисту. Вибір певного варіанту захисту, який забезпечує необхідні технічні вимоги, виконується із врахуванням економічних показників: надійності, вартості, простоти обслуговування.

Проаналізуємо роботу різних типів захисту секціонованих ліній із мережевим резервуванням з точки зору забезпечення поставлених вимог.

Максимальний струмовий захист на сучасному етапі є основним видом захисту радіальних розподільних ліній 6-20 кВ сільських районів. При використовуванні такого захисту на секціонованих лініях із мережевим резервуванням струм спрацьовування визначається із врахуванням максимального робочого струму лінії в місці встановлення захисту при під'єднанні пунктом АВР додаткового навантаження. При відхиленні настроювання струмового пускового органу тільки від струму навантаження нормального режиму роботи лінії I (рис.1) у випадку вмикання пункту АВР захист може вимикати секційний або головний вимикач лінії, тому що навантажувальний струм в місці встановлення його (захисту) при цьому іноді перевищує налаштування струмового пускового органу захисту [1].

Мета дослідження – обґрунтувати найбільш доцільні способи виконання захисту і автоматики розподільних секціонованих ліній з мережевим резервуванням.

Матеріали і методи дослідження. Дійсно, в загальному випадку для ліній із рівномірно розподіленим навантаженням очевидні (притаманні) наведені нижче співвідношення.

1) для секційного вимикача 2:

$$I_{с.з.к.} = (K_н/K_в)I_{н2} = 0,7I_н\,, \quad (1)$$

$$I_{с.з.п.} = (K_н/K_в)I_н = 1,1I_н, \quad (2)$$

де $I_{с.з.к.}$ – струм спрацьовування захисту побічної дії; $I_{с.з.п.}$ – струм спрацьовування захисту прямої дії; $K_н$– коефіцієнт надійності, $K_н$=1,2 – 1,4; $K_в$ – коефіцієнт повернення, $K_в$ = 0,85 – 0,65; $I_{н2}$ – розрахунковий струм навантаження в місці встановлення захисту вимикача, $I_{н2}$= 0,5 $I_н$; $I_н$ – розрахунковий струм навантаження на початку лінії.

При вмиканні пункту АВР струм навантаження в місці встановлення захисту вимикача 2 ($I_{н2}'$) буде (стане) рівним:

$$I_{н2}'=1,5\cdot I_н,$$

При цьому $I_{н2}' > I_{с.з.к.}$, $I_{н2}' > I_{с.з.п.}$

2) Для головного масляного (олійного) вимикача 1:

$$I_{с.з.к.}=1,4\cdot I_н,$$

$$I_{с.з.п.}=2,2\cdot I_{н.}$$

Після вмикання пункту АВР струм навантаження в місці встановлення (установки) вимикача становитиме

$$I_н' = 2\cdot I_{н.}$$

При цьому $I_н' > I_{с.з.к.}$

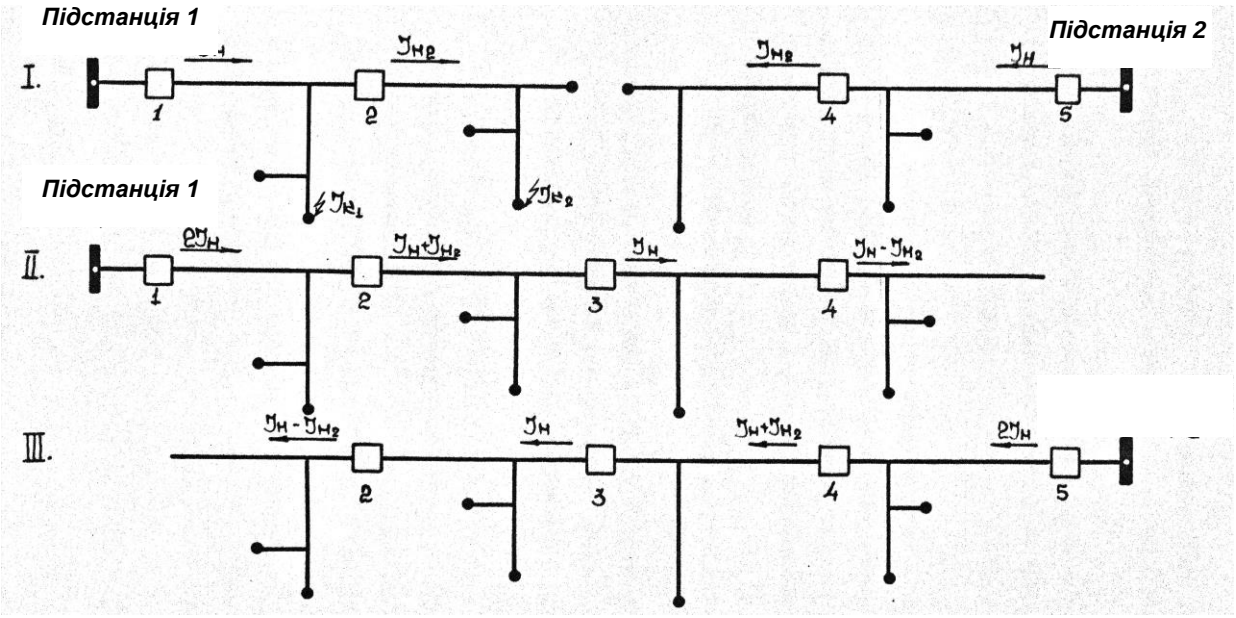

Рис. 1. Режими роботи секціонованої лінії з мережевим резервуванням:

1, 5 – вимикачі головних ділянок; 2, 4 – секціонуючи вимикачі;

3 – пункт АВР

Отже, при виборі вставки захисту на із мережевим резервуванням необхідно враховувати додаткове навантаження, яке приєднується до лінії (мережі) пунктом АВР. Відхилення налаштувань від додаткового струму навантаження призводить до зниження чутливості захисту навіть в основному режимі роботи із відімкненим пунктом АВР, й необхідне значення коефіцієнта чутливості в більшості випадків не забезпечується. Так, на лінії із рівномірно розподіленим навантаженням для забезпечення коефіцієнта чутливості $к_ч=1,5$ для захисту, встановленого на секційному вимикачі 2, необхідно, щоб струм короткого замикання в кінці другої ділянки (за секційним вимикачем) становив:

$$I_{к2} \geq к_ч I_{с.з} = к_ч (K_н / K_в) I_н, \qquad (3)$$

де $I_{с.з}$ – струм спрацьовування захисту.

При використанні реле опосередкованої дії це відповідно становитиме

$$I_{к2} \geq 3,18 \cdot I_н$$

Із наведеної на рис.2 інтегральної кривої розподіл співвідношення мінімального значення струму короткого замикання $I_{к2}$ до струму навантаження $I_н$ видно, що

співвідношення $I_{к2}/I_н \geq 3,18$, необхідне для надійної роботи захисту, при нормальному режимі роботи лінії (мережі) не забезпечується в 35 % випадків.

За аналогією для забезпечення коефіцієнта чутливості $к_ч=1,5$ для захисту, встановленого на головному масляному вимикачеві, струм короткого замикання в кінці першої ділянки лінії (до секційного пункту) повинен становити

$$I_{к1} \geq 4,2 \cdot I_н ,$$

(при використовуванні захисту опосередкованої, побічної дії), а для резервування захисту другої ділянки із $к_ч=1,2$ необхідно, щоб струм короткого замикання в кінці другої ділянки становив $I_{к2} \geq 3,36 I_н$. Ця умова також в 42% випадків не виконується.

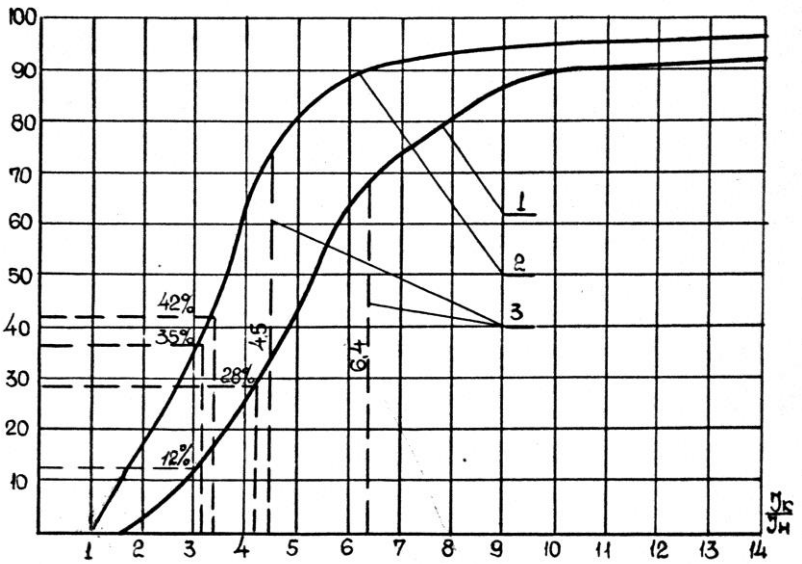

Рис.2. Розподіл відношення мінімального значення струму к.з. до розрахункового струму навантаження секціонованої лінії 10 кВ:

1 – для першої ділянки; 2 – для другої ділянки; 3 – середнє значення.

Під час живлення розглядуваної лінії (мережі) від резервної підстанції III і при увімкненому пункті АВР чутливість максимального струмового захисту, встановленого на секційному пункті, виявляється значно нижчою через зниження струму короткого замикання порівняно із режимом роботи лінії (мережі) при відімкненому пункті АВР [1].

Наведені співвідношення справедливі для випадків, коли пункти АВР зв'язують лінії (мережі) із однаковим розрахунковим струмом навантаження і при умові відхилення від налаштування захисту тільки від струму навантаження лінії. У тих випадках, коли взаємне резервування виконується для ліній із різним розрахунковим навантажувальним струмом I_1 та $к \cdot I_1$, *де* $1 > к > 0$, умови роботи струмових захистів, встановлених на лініях (мережах) із меншим значенням розрахованого струму нормального режиму погіршуються. Також для лінії із розрахованим струмом $к \cdot I_1$ розрахунковий навантажувальний струм в місці установки секційного апарату становить $0{,}5 \cdot к \cdot I_1$, а розрахунковий струм із врахуванням резервування додаткової лінії з розрахунковим струмом I_1 становить $I_1 \cdot (1+0{,}5 \cdot к)$, при цьому струм спрацьовування захисту повинен становити:

$$I_{с.з.а.} = (K_н / K_в) I_1 (1 \ldots 0{,}5 \cdot к). \quad (4)$$

Збільшення струму спрацьовування захисту в порівнянні із нормальним режимом роботи лінії становить:

$$\gamma = I_{с.з.а.} / I_{с.з.} = (1+0{,}5к) / 0{,}5к = 1+2/к. \quad (5)$$

Відношення розрахункових струмів ліній (мереж), зв'язаних пунктами АВР, знаходяться в проміжку $к=0{,}3 \ldots 1{,}0$. Цьому відповідає зменшення коефіцієнта чутливості захисту, встановленого на головній ділянці лінії (мережі), у 2 - 4 рази, а на секційному пункті – в 3 - 7 разів.

Результати досліджень та їх обговорення. Таким чином, на лініях із секційним резервуванням при $к < 1$, межі можливого використання максимальних струмових захистів додатково обмежуються.

Уставка спрацювань максимальних струмових захистів, встановлюваних на живильних підстанціях, секційних пунктах і пунктах АВР, повинні бути також узгодженими між собою із врахуванням розкиду характеристик реле таким чином, щоб струм спрацьовування реле, яке встановлене ближче до джерела живлення, був більшим за струм спрацьовування реле, яке встановлене ближче до місця пошкодження.

Оскільки на лініях із мережним резервуванням в різних режимах роботи віддаленість від джерела живлення місця встановлення захисту змінюється, то забезпечити вказану умову одним комплектом максимальних струмових захистів неможливо.

Максимальні струмові захисти ліній (мереж) потрібно також узгоджувати із діями запобіжників споживчих трансформаторів. При наявності на лінії декількох підключених до цих відгалужень підстанцій потужністю 100 кВА і вище відхилення від налаштування захисту від дії запобіжників цих підстанцій встановлює струм спрацьовування, здебільшого перевищує струм, який вибрано за умов відхилення від налаштування від струму навантаження.

Як відомо, узгодження максимальних струмових захистів, виконаних на реле із залежними характеристиками типу РТ-80, із плавкими вставками запобіжників ПК-10 (ПК-6) необхідно виконати при струмові спрацювання захисту. Час спрацювання реле найпоширеніших в розподільних мережах сільських районів, при струмі спрацьовування приймається орієнтовно, рівним 5 секунд. Струм спрацьовування $I_{с.з}$ при якому забезпечується селективна робота захисту і запобіжника підключених до цих відгалужень підстанцій, повинен перевищувати струм, при якому запобіжник перегоряє за 5 сек – $I_n^{(5)}$

$$I_{с.з} \geq к_н \cdot I_n^{(5)}, \qquad (6)$$

де $к_н$– коефіцієнт надійності.

Тому при наявності підключеної до цих відгалужень підстанції потужністю 100 кВА із запобіжником ПК-10 на 15 А максимальне значення струму спрацьовування захисту незалежно від величини розрахованого струму навантаження лінії повинно становити:

$$I_{с.з} = 1{,}4 \cdot 72\ A = 100\ A.$$

Таким чином, з точки зору забезпечення необхідної чутливості врахування вказаних умов ще більше обмежує область можливого використовування максимальних струмових захистів на секціонованих лініях з мережевим резервуванням.

Висновки і перспективи. Витримка часу захистів суміжних дільниць секціонованих ліній з мережевим резервуванням для забезпечення селективної роботи повинні збільшуватися в напрямку до джерела живлення, яким при ввімкненому пункті АВР може бути одна чи інша підстанція. Залежно від цього і напрямок збільшення витримки часу захисту зміниться.

Виходячи із цього, максимальні струмові захисти, які широко використовуються в радіальних розподільчих мережах, можуть бути використаними в секціонованих лініях з мережевим резервуванням, оскільки вони:

- не забезпечують необхідну чутливість захисту, встановленого на головній ділянці лінії, в 28 % випадків і на секціонуючому пункті в 35 % випадків в основному режимі роботи лінії з відключеним пунктом АВР;
- не забезпечують необхідну чутливість захисту, встановленого на секціонуючому пункті в режимі живлення лінії від резервної підстанції;
- не забезпечують селективної роботи суміжних захистів в різних режимах роботи лінії.

Одним з найбільш простих захистів, що застосовуються в радіальних розподільчих мережах 6…10 кВ, є максимальні струмові відсічки.

На секціонованих лініях з мережним резервуванням вони можуть використовуватись в якості другого ступеня захисту. Це пов’язане з тим, що при використанні відсічок значна частина магістралі і відгалужень лінії залишається незахищеною, особливо при живленні від резервної підстанції.

З наведених на рис. 3 залежностей розподілу струмів к.з. по магістралі секціонованої лінії в режимі роботи з відключеним пунктом АВР (лінія 1) і в режимі живлення від резервної підстанції (лінія 2) при середніх параметрах довжин і опорів ділянок видно, 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 секціоную чому пункті, відлагоджена від максимального струму к.з. на суміжній ділянці, забезпечує захист тільки 20 % магістралі лінії при живленні від підстанції 1.

При живленні від резервної підстанції 2 струми к.з. на захищуваній ділянці складають 130 - 170 А, що значно менше уставки струмової відсічки, встановленої на секціоную чому пункті (I_{C1}=336 А). Таким чином, в останньому режимі струмова відсічка, встановлена на секціоную чому вимикачі, виявляється неефективною. Тому максимальні струмові відсічки на секціонованих лініях з мережним резервуванням як захист другої ступені доцільно використовувати на головних ділянках лінії.

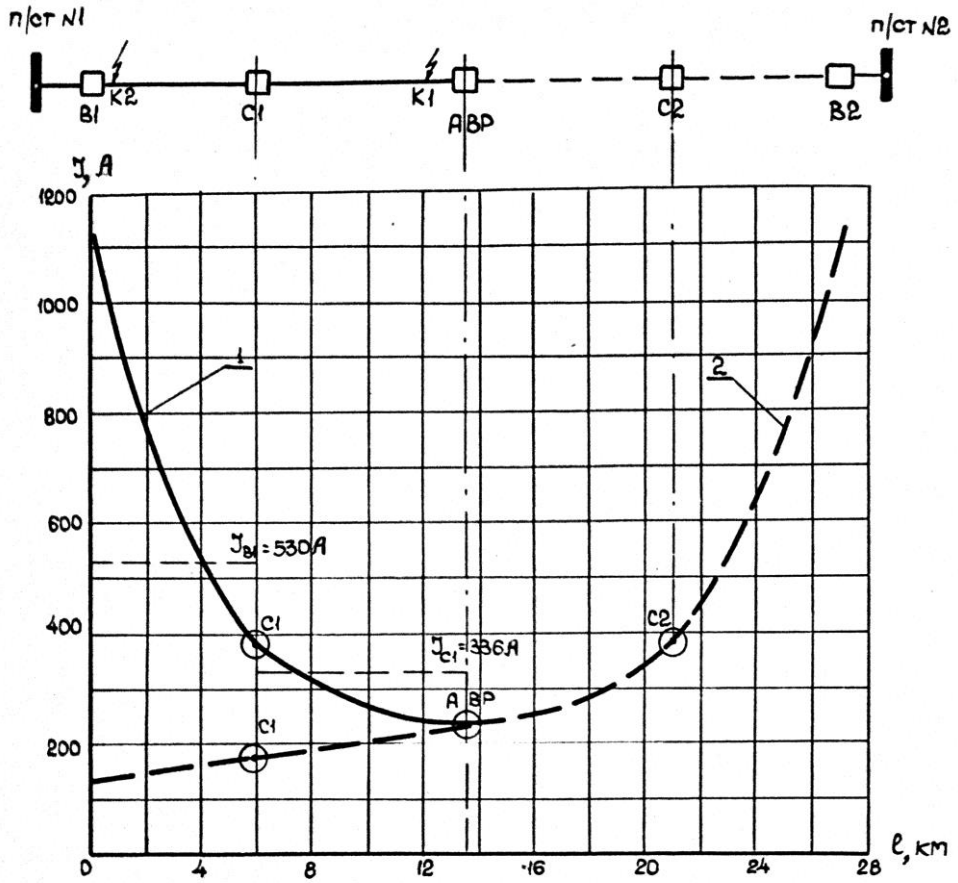

Рис.3. Розподіл струмів к.з. по магістралі секціонованої лінії з резервуванням:

1 – при к.з. в т.К1 і живленні від підстанції 1; 2 – при к.з. в т.К2 і живлення від підстанції 2.

Список літератури

1. Голота А. Д. Автоматика в електроенергетичних системах / А. Д. Голота. – К.: Вища шк.., 2006. – 367 с.

2.Андриевский Е. Н. Секционирование и резервирование сельских электрических сетей / Е. Н. Андриевский. – М.:Энергоатомиздат, 1983. - 286 с.

References

1. Holota, A. D. (2006). Avtomatyka v elektroenerhetychnykh systemakh [Automation in power systems]. Kyiv: Vyshcha shkola, 367.

2. Andriyevskiy, E. N. (1983). Sektsionirovaniye i rezervirovaniye sel'skikh elektricheskikh setey [Sectioning and reservation of rural electric networks]. Moskow:Energoatomizdat, 286.

ОТНОСИТЕЛЬНО ЗАЩИТЫ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕКЦИОНИРОВАННЫХ ЛИНИЙ С СЕТЕВЫМ РЕЗЕРВИРОВАНИЕМ

А. А. Омельчук, С. М. Волошин, О. И. Тарасюк

Аннотация. *Рассмотрены проблемы использования релейной защиты для распределительных сетей с сетевым резервированием. Уделено внимание особенностям работы защиты при разных режимах работы таких сетей, а именно нормальному и послеаварийному. Защита линий с сетевым резервированием должна удовлетворять общим требованиям обеспечения необходимой чувствительности, селективности действия при разных видах повреждений. Трудности в обеспечении необходимой чувствительности при использовании максимальных токовых защит и токовых отсечек в таких сетях вызваны малым уровнем токов короткого замыкания от резервных источников. Приведены особенности выполнения релейной защиты в секционированных сетях при питании их от резервных источников.*

Зависимости распределения токов к.з. по магистрали секционированной линии в режиме работы с отключенным пунктом АВР и в режиме питания от резервной подстанции при средних параметрах длин и сопротивлений участков показывают, что токовая отсечка, установленная на главном участке, отлажена от максимального тока к.з. за секционирующим пунктом, обеспечивает защиту приблизительно 67 % магистрали первого участка линии. Отсечка, установленная на секционирующем пункте, отлажена от максимального тока к.з. на смежном участке, обеспечивает защиту только 20 % магистрали линии при питании от основного источника.

При питании от резервного источника токи к.з. на защищаемом участке значительно меньшие уставки токовой отсечки, установленной на секционирующем пункте, поэтому в этом случае токовая отсечка, установленная на секционирую почему выключатели, оказывается неэффективной. Максимальные токовые отсечки на секционированных линиях с сетевым резервированием как защита второй степени целесообразно использовать на главных участках линии.

Ключевые слова: ***распределительные сети, секционирования, релейная защита, короткое замыкание, резервирование, селективность***

IN RELATION TO DEFENCE OF DISTRIBUTIVE SECTIONALIZED LINES WITH NETWORK BACKUPING

A. Omel'chuk, S. Voloshyn, O. Tarasjuk

Abstract. *In the article the considered problems of the use of relay defence are for distributive networks with the network backuping. Spared attention to the features of work of defence at the different modes of work of such networks, namely: normal and after to the emergency. Defence of lines with the network backuping must satisfy the general requirements of providing of necessary sensitiveness, selectivity of action at the different kinds of damages. Difficulties in providing of necessary sensitiveness at the use of maximal current defence and current pinch-offs in such networks are caused by the small level of currents of short circuit from reserve sources. The features of implementation of relay defence are resulted in the sectionalized networks at the feed of them from reserve sources.*

Dependences of distributing of currents of short circuit for the highways of the sectionalized line in office hours with the power-off point of AIR and in a diet from reserve substation at the middle parameters of lengths and resistances of areas show that a current pinch-off, set on a main area, is debugged from the maximal current of short circuit after a sectionalizing point, provides defence of an approximately 67 % highway of the first area of line. A pinch-off, set on sectionalize why point, is debugged from the maximal current of short circuit on a contiguous area, provides defence only 20 % highways of line are at a feed from a basic source.

At a feed from a reserve source there are currents of short circuit on a protected area oh considerably less setpoints of current pinch-off, set on a sectionalizing point, that is why in this case a current pinch-off set on sectionalize why switches appears uneffective. Maximal current pinch-offs on the sectionalized lines with the network backuping as defence of the second degrees it is expedient to use on main areas to the line.

Key words: ***distributive networks, sectionalizings, relay defence, short circuit, backuping, selectivity***