

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЗАХИСТУ ЗА ОДНОФАЗНИХ ЗАМИКАНЬ НА ЗЕМЛЮ В МЕРЕЖІ З ПУЧКОМ КАБЕЛІВ

© Базилевич М.В., Мардаль І.М., Онишкевич У.З., Сабадаш І.О., 2008

Запропоновано спосіб покращання роботи захисту від замикань на землю в мережі із пучком кабелів та принципи побудови комплексної системи захисту та діагностики.

In this article the method of improvement of work of protecting is offered from shorting on earth in a network with the bunch of cables and principles of construction of the complex system of defence and diagnostics are offered.

Постановка проблеми. Здебільшого живлення споживачів електричної енергії здійснюється кабельними лініями. Часто на практиці спостерігається ситуація, коли лінії, через які постачається електроенергія, мають недостатню пропускну здатність і тоді доводиться прокладати додаткові кабельні лінії. Але поширеним є випадок, коли комірок з комутаційною та вимірювальною апаратурою на підстанції не вистачає. У такому разі доводиться вмикати декілька (дві чи три) кабельні лінії через один вимикач. Кабельні лінії ввімкнені так називають пучком кабелів.

Мережі 6–10 кВ виконують в Україні з ізольованою або компенсованою нейтраллю. Найпоширенішим пошкодженням в таких мережах є однофазне замикання на землю (ОЗЗ). Однак досліджень поведінки захисту за ОЗЗ є недостатньо.

На поведінку захисту за ОЗЗ впливає стан контактів кабелів та схема ввімкнення, а також неідентичність характеристик трансформаторів струму нульової послідовності.

Аналіз останніх досліджень. Особливістю пучка кабелів є те, що декілька кабелів під'єднані до одного вимикача. Це означає, що сигнал на вимкнення пошкодження повинен формуватися одним реле. Сучасна номенклатура трансформаторів струму нульової послідовності (ТАН) не дозволяє встановити один трансформатор на декілька паралельних кабелів. Тому ТАН встановлюють на кожному кабелі. З'єднують трансформатори струму нульової послідовності так, щоб результуючий струм нульової послідовності протікав через котушку одного реле. Існує два основних способи з'єднання трансформаторів струму нульової послідовності: послідовне і паралельне. Останні дослідження [1] показали, що за паралельного з'єднання трансформаторів струму нульової послідовності на струм, що обтікає реле, менше впливають параметри реле і неідентичність характеристик трансформаторів струму нульової послідовності.

У цих самих матеріалах наводяться величини струмів, що обтікають реле за паралельного і послідовного ввімкнення ТАН, та неідентичності їх характеристик, а також за погіршення опору в контактному з'єднанні між кабелем та вимикачем. Експеримент виконували за допомогою спеціальної установки, яка створювала імітацію протікання струму нульової послідовності по первинній стороні ТАН. Ці дані отримані для усталеного режиму. Наведені результати свідчать про збільшення струму, що протікає через реле за використання ТАН з неоднаковими характеристиками або за порушення контакту у пучку кабелів. Встановлено, що це може спричинити помилкову роботу захисту за ОЗЗ. На жаль, не виконано дослідження розподілу струмів під час перехідного процесу, під час виникнення і погасання ОЗЗ, не досліджено як погіршення контакту впливає на струми нульової послідовності.

Задачі дослідження. Задачею досліджень є встановлення факторів, на які впливає порушення опору контакту в місці з'єднання пучка кабелів, також встановлення особливостей протікання струмів у мережі з ізолюваною нейтраллю за ОЗЗ в різних місцях пучка кабелів і вироблення рекомендацій щодо принципу дії систем захисту за ОЗЗ.

Виклад основного матеріалу. Вивчати процеси за ОЗЗ необхідно, використовуючи відповідну модель електричної мережі та її елементів, які б враховували всі фактори, що найбільше впливають на характер протікання ОЗЗ, а також забезпечували б адекватне відтворення процесів, що досліджувались.

Дослідження виконували з використанням програмного комплексу "RE" [2].

Було створено цифрову модель типової мережі 35/6 кВ з одним трансформатором (Т1) (рис. 1), що живиться від системи безмежної потужності (С); до секції збірних шин 6 кВ (СШ) під'єднана електромережа – вимірний трансформатор напруги TV; через викатний вимикач Q1 під'єднана кабельна лінія (КЛ) W₁; через викатний вимикач Q2 – пучок кабелів W₂-W₃; навантаження S₁ і S₂. Решту схеми еквівалентували і задали еквівалентною ненавантаженою кабельною лінією W_{екв.} та еквівалентом навантаження S_{екв.}

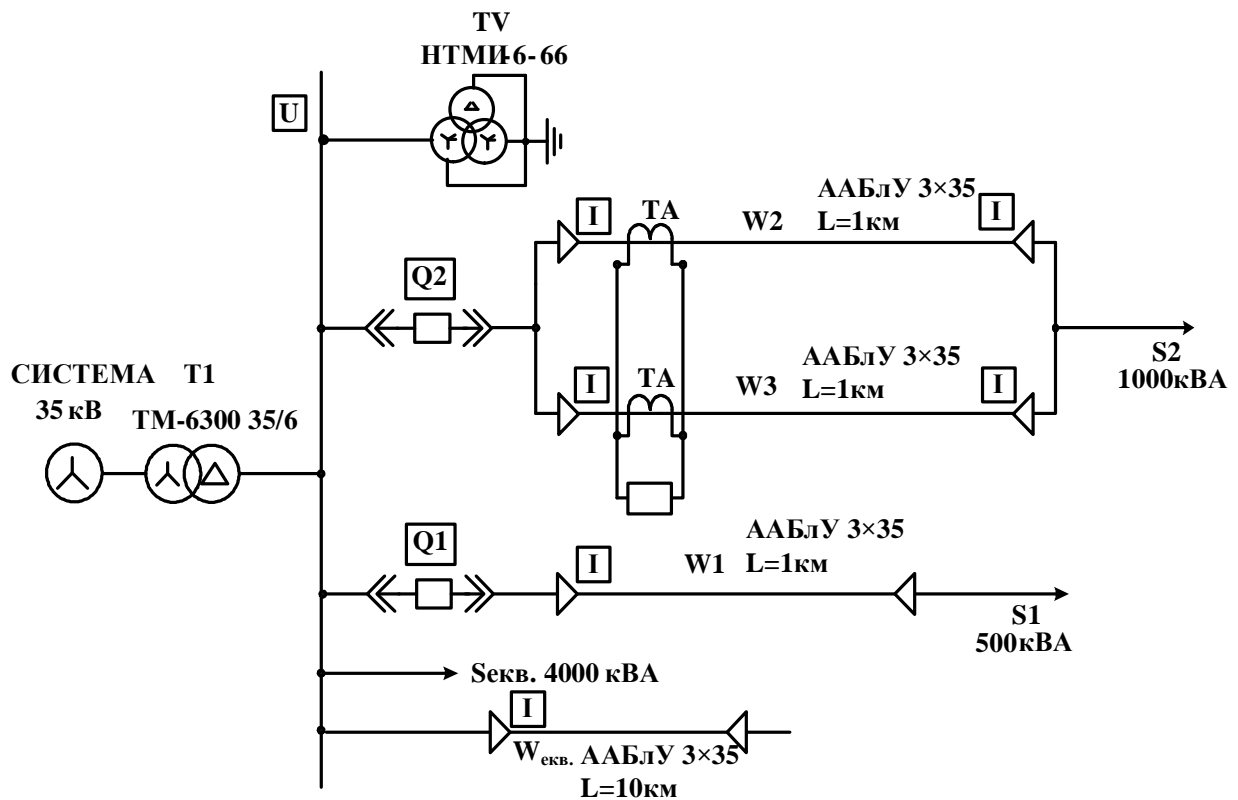


Рис. 1. Схема змодельованої електричної мережі

Сформувавши модель електричної мережі, використовуючи моделі окремих елементів. Розрахункова схема електричної мережі включає структурні моделі ключових елементів мережі, які мають безпосереднє значення у перебігу перехідних процесів, а саме: цифрову модель системи живлення, цифрову модель трансформатора 35/6 кВ, цифрову модель кабельної лінії, цифрову модель трансформатора напруги, цифрову модель навантаження. Самі ж розрахункові схеми елементів типові і подані в літературі [2].

Трансформатор Т1 у розрахункову схему було введено такими параметрами:

- активними опорами та індуктивностями розсіяння кожної з обмоток;
- динамічною нелінійною індуктивністю по шляху основного магнітного потоку, якій відповідає вебер-амперна характеристика;

- величиною, що характеризує замикання додаткового магнітного потоку через повітря та бак трансформатора;
- коефіцієнтами трансформації.

При тому знехтували втратами в магнітопроводі на петлю гістерезису і на вихрові струми. Прийняли, що опір ізоляції виводів трансформатора $R_{i3} = 9 \text{ МОм}$.

Заступна схема трансформатора напруги подібна до заступної схеми силового трансформатора з трьома обмотками. Відмінності полягають у п'ятистрижневому магнітопроводі і схемі з'єднання обмоток. Додаткові стрижні магнітопроводу враховані додатковими вітками еквівалентної схеми. Група фазних обмоток з'єднана в зірку, а три додаткові обмотки з'єднані послідовно і утворюють "розімкнений трикутник".

Кожну КЛ ми подали десят'ю ланцюгово сполученими Т-подібними елементарними комірками. У кожній елементарній комірці враховуються такі параметри: активний опір жили $R_{л}$; індуктивність жили кабелю $L_{л}$; міжфазні ємності C_{AB}, C_{BC}, C_{AC} та ємності фаз відносно землі C_A, C_B, C_C . Розрахункова схема складена з врахуванням таких допущень: ізоляція мережі вважається практично ідеальною (погонний опір фазної і міжфазної ізоляції R_{i3} становить $1 \times 10^8 \text{ Ом/км}$); міжфазними взаємодуктивностями нехтуємо; алюмінієву захисну оболонку вважаємо заземленою в кожній точці і її опір дорівнює нулю; поверхневим ефектом в жилах кабелю і захисній оболонці нехтуємо; параметри жил кабелю вважаємо пофазносиметричними.

СШ 6 кВ вважаємо ідеальною, тобто її активний та реактивний опори дорівнюють нулю. Така СШ у розрахунках подана вузлами, до яких під'єднані лінії, еквівалентне навантаження і трансформатори.

Навантаження вибираємо активно-реактивним. Схема з'єднання фаз навантаження – зірка.

Електрична система напругою $U=35 \text{ кВ}$, що працює в режимі з ізольованою нейтраллю, в розрахунковій схемі задана системою ЕРС, з'єднаних в зірку та нульовим внутрішнім опором.

З літератури [1] відомо, що збільшений ("поганий") опір контактів викликає появу струмів нульової послідовності. Тому окремо треба дослідити, як опір у місці приєднання кабелю впливає на напругу і струми нульової послідовності.

Під час досліджень поступово збільшували опір контакту фази А в кінці КЛ 3. Опір контакту моделювався звичайним резистором. Під час дослідження фіксувались значення та початкові фази струмів на початку і в кінці КЛ, струми нульової послідовності $3I_0$ на початку КЛ та фазні напруги на шинах ПС.

Виконаємо такі досліді:

- збільшення опору контактів фази А в кінці W3;
- збільшення опору контактів фази А на початку W3;
- одночасне збільшення опору контактів фаз А і В в кінці W3;
- одночасне збільшення опору контактів фази А в кінці W2 і фази В в кінці W3;
- збільшення опору контактів фази А в кінці W1.

За зміни величини опору контактів на окремій W1 не виникає ні напруга нульової послідовності, ні струм нульової послідовності: хоч і величина фазних струмів та кут між ними змінювались, але їхня сума (струм нульової послідовності) дорівнює нулю.

За погіршення контакту на КЛ, що входить до пучка кабелів, виникають струми нульової послідовності, але не виникає напруга нульової послідовності. Струми нульової послідовності виникають тільки на КЛ пучка кабелів, причому незалежно від того, на якому із кабелів погіршився контакт. Струм нульової послідовності кабелю W2 за величиною дорівнює струму нульової послідовності КЛ W3. Тому на рис. 2 показані дані тільки для одного кабелю.

На цьому рисунку показано залежність між опором контактів і струмом нульової послідовності в лінії W2 для випадків збільшення опору контактів тільки на фазі А W2 (графік I_{01}), одночасно на фазах А і В W2 (графік I_{02}) і одночасно на фазах А W2 і В W3 (графік I_{03}). Кут між струми нульової послідовності W2 і W3 становить 180° ел.

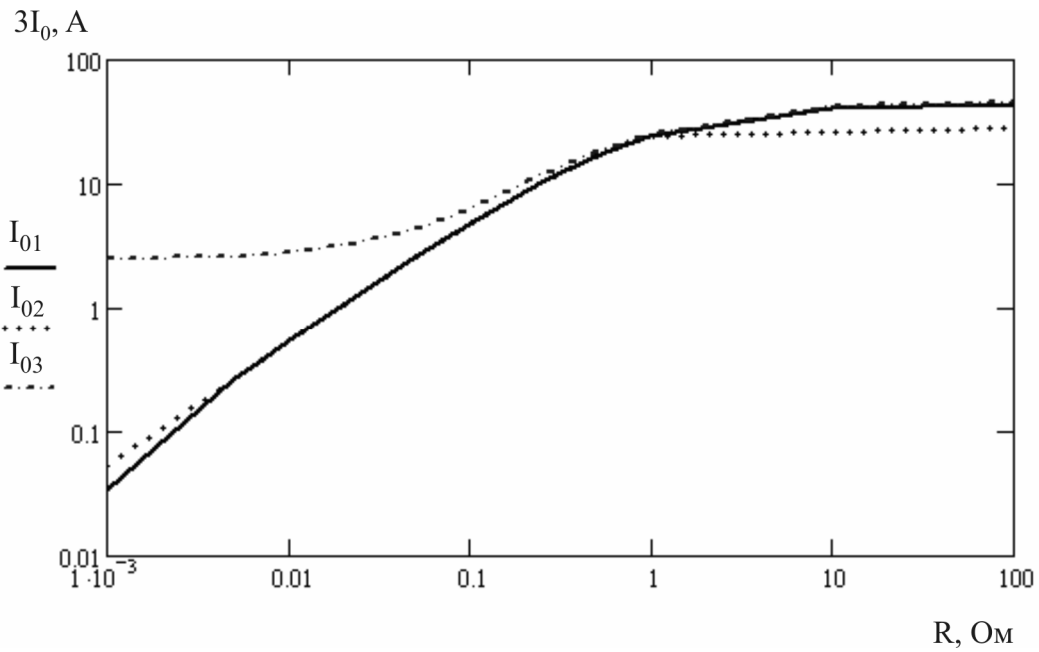


Рис. 2. Залежність струмів нульової послідовності пучка кабелю від опору контакту

Всі досліди дають однаковий якісний результат: незалежно від комбінації “поганих” контактів струм нульової послідовності є тільки у КЛ пучка. Напряга нульової послідовності при тому дорівнює нулю.

Поясненням цього є те, що струм нульової послідовності дорівнює сумі фазних струмів. За несиметричного навантаження або неоднаковості опорів жил КЛ – фазні струми стають неоднаковими. Але для того, щоб по КЛ протікав струм нульової послідовності, необхідна наявність замкнутого контуру, що і є в пучку кабелів.

На рис. 3 показано, як змінювались струми окремих фаз за погіршення контакту. Очевидно, що у фазі із “поганим” контактом струм знижувався, а у цій самій фазі іншої КЛ пучка кабелів струм пропорційно збільшувався так, що сума струмів двох КЛ пучка залишається незмінною.

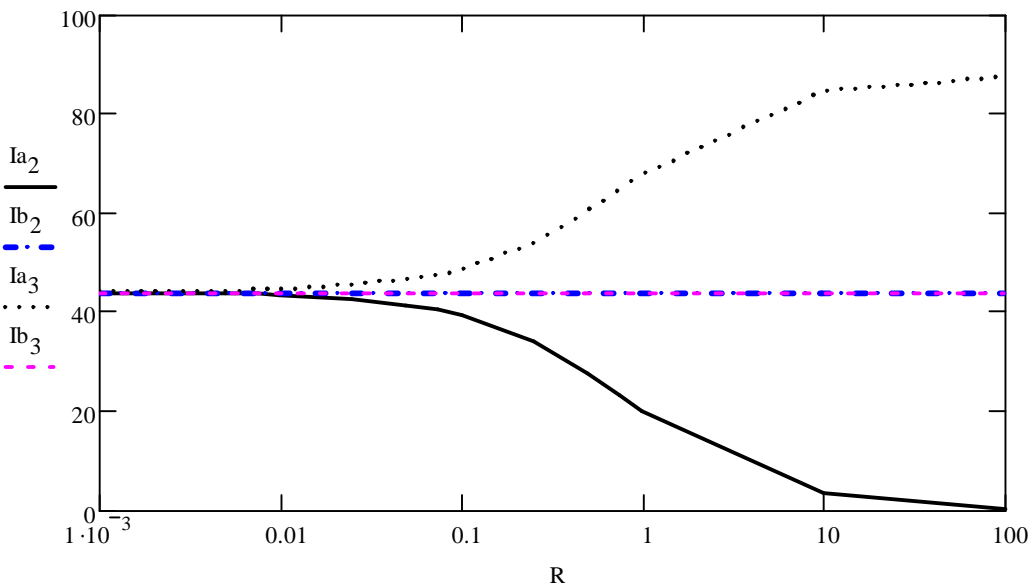


Рис. 3. Залежність фазних струмів від опору контакту

Вимірюючи фазні струми через вимикач на початку пучка кабелів, неможливо встановити факт погіршення опору контакту – сумарний фазний струм на початку лишається незмінним. Якщо ж виміряти струми нульової послідовності окремих КЛ, то можна встановити ступінь погіршення контакту. Струм через реле дорівнює нулю за умови ввімкнення реле на різницю фазних струмів. У реальних умовах струм через реле не дорівнює нулю – через нього протікає струм небалансу, зумовлений неоднаковістю параметрів TAN. За певних умов можливе помилкове спрацювання захисту від ОЗЗ.

Моделювалось виникнення ОЗЗ на початку або в кінці КЛ W3. За виникнення ОЗЗ, в мережі обов'язково з'являється напруга нульової послідовності і струми нульової послідовності. Струми нульової послідовності протікають по всіх КЛ (як тих, що входять до пучка кабелів, так і тих, що не входять). За виникнення ОЗЗ на W1 маємо випадок, що нічим не відрізняється від описаного в літературі [3], для випадку ОЗЗ в мережі з декількома лініями. За виникнення ОЗЗ на лініях W2 або W3 виникає декілька шляхів поширення струму нульової послідовності до місця пошкодження: шлях 1 – від ємностей непошкоджених ліній через початок лінії W3 до місця пошкодження, далі через “землю” до фазних ємностей непошкоджених ліній; шлях 2 – від фазних ємностей непошкоджених ліній через лінію W2, через кінець лінії W3 до місця пошкодження, далі через “землю” до фазних ємностей непошкоджених ліній. Співвідношення між струмами нульової послідовності, що протікають через початок ліній W2 і W3, залежить від місця ОЗЗ (за умов однаковості параметрів кабелів). Є два граничних випадки: ОЗЗ на початку лінії W3 і ОЗЗ в кінці лінії W3. За ОЗЗ в кінці W3 струми нульової послідовності порівно розподіляються між ними; за ОЗЗ на початку КЛ струми нульової послідовності всіх ліній протікають тільки по W3, струм $3I_0$ W2 напрямлений до початку лінії, а від початку лінії W2 спрямований по лінії W3 до місця аварії. Всі інші варіанти займають проміжне місце між цими двома випадками.

Тобто, за будь-якого місця замикання на лінії W3, сума струмів нульової послідовності TAN кабелів є більшою, ніж струм уставки. Але якщо фазна ємність пучка кабелів співмірна із ємністю КЛ мережі, то струм $3I_0$ може бути однаковий за ОЗЗ як на пучку кабелів, так і на W1. Відповідно, навіть за ідеальних умов можлива хибна робота захисту. Додатково на роботу захистів будуть впливати неоднаковість поздовжніх параметрів кабелів і неоднаковість характеристик TAN.

Аналізуючи все вищенаведене, можна запропонувати такі засоби зменшення впливу неоднаковості параметрів TAN і підвищення надійності роботи захисту від замикань на землю:

1) обов'язково вводити додатковий канал за напругою нульової послідовності. Якщо напруга нульової послідовності менша за величину уставки, то відоме пошкодження контактного з'єднання в пучку кабелів. Якщо величина напруги нульової послідовності більша за уставку, то існує ОЗЗ в мережі. Введення уставки за напругою дозволяє здійснювати захист за ОЗЗ навіть у разі підєднання до СШ тільки пучка кабелів;

2) застосовувати групову систему захисту (типу “Альтри” [4]), що дозволяє здійснити аналіз струмів $3I_0$ всіх приєднань цієї секції шин і відповідно підвищити селективність визначення пошкодженого приєднання;

3) аналізуючи величину струмів $3I_0$ кабелів, що входять в пучок кабелів, можна діагностувати стан контактних з'єднань у ньому. Аналізуючи динаміку зміни цих струмів, можна прогнозувати ймовірність виникнення ОЗЗ чи погіршення стану контактних з'єднань.

Висновки. За збільшення опору контактів у кабелях пучка, через трансформатори струму нульової послідовності, встановлених на пучку кабелів, протікають струми нульової послідовності. Ці струми виникають внаслідок неоднаковості фазних струмів і протікають тільки через кабелі пучка.

1. За збільшення опору контактів не виникає напруга нульової послідовності. Вона виникає тільки за виникнення ОЗЗ.

2. Використання інформації про величину напруги нульової послідовності дозволяє уникнути хибної роботи захисту за ОЗЗ.

3. Використання інформації про струми нульової послідовності дає змогу оцінити нерівномірність розподілу струмів по жилах кабелів і на основі цієї інформації прогнозувати нагрівання жил, а відповідно і ймовірність виходу з ладу внаслідок перегрівання.

1. *Ограничение перенапряжений. Режимы заземления нейтрали. Электрооборудование сетей 6–35 кВ // Тр. Четвертой всероссийской науч.-техн. конф. – Новосибирск, 2006. – 216 с.*
2. *Ravlyk A., Gretchyn T. Digital complex for modelling of transient processes in electric circuit // III Symp. Proc. “Metody matematyczne w elektroenergetyce”. – Zakopane, 1993. – P. 17–20.* 3. Кідиба В.П., Шелепенев Т.М. *Захист ліній електропередавання: Навч. посібник – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2004. – 184 с.* 4. *Мікропроцесорна інформаційно-діагностувальна система “Альтра” для селективного визначення присідання з уземленою фазою / М.В. Базилевич, Р.С. Божик, В.П. Кідиба та ін. // Енергетика та електрифікація. – 2003. – № 12. – С. 42–49.*

УДК 621.311

П.М. Баран, В.П. Кідиба, О.М. Равлик
Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра ЕСМ

ВИЗНАЧЕННЯ ВИДУ ТА МІСЦЯ ПОШКОДЖЕННЯ НА ЛІНІЯХ З ВІДГАЛУЖЕННЯМИ

О Баран П.М., Кідиба В.П., Равлик О.М., 2008

Розроблено алгоритм визначення виду та віддалі до місця пошкодження в лініях електропередавання з одним відгалуженням за умови недостатньої вхідної інформації .

The algorithm was developed for definition of the character of fault and distance to the fault place in energy transmission lines with single branch under condition of lack of input information.

Постановка проблеми. Згідно з статистичними даними більшість аварій, які виникають в електроенергетичних системах, припадає на лінії електропередавання (ЛЕП). Тому питанням визначення виду пошкодження та віддалі до місця його виникнення приділяється багато уваги.

Ця задача є актуальною, оскільки точне визначення віддалі до місця пошкодження істотно зменшує час ліквідації причин його виникнення на ЛЕП. Особливо це стосується довгих ЛЕП (кілька сотень кілометрів), які проходять через гористу місцевість.

Аналіз останніх досліджень. Цій проблемі присвячено значну кількість публікацій в фахових журналах [1, 2], проведення науково-технічних конференцій. Пропонуються сучасні алгоритми визначення місця пошкодження [3]. Останнім часом кількість впроваджень таких складних алгоритмів зросла за рахунок впровадження в експлуатацію реєструючих пристроїв, виконаних на цифровому принципі.

На ЛЕП в мережах з ефективно заземленими нейтраліями виникають трифазні, двофазні та однофазні короткі замикання (к.з.). Найбільша кількість пошкоджень на ЛЕП припадає на однофазні к.з. – до 85 %. Визначення відстані до місця пошкодження під час виникнення двофазних та особливо трифазних к.з. ніяких труднощів не становить. Істотні труднощі виникають з визначення місця пошкодження під час однофазних к.з.

Для ЛЕП без відгалужень проблема визначення місця пошкодження під час будь-яких к.з., зокрема однофазних, є практично вирішеною. Наявність відгалужень на ЛЕП, а таких ЛЕП