

## ЗАСТОСУВАННЯ ПРИСТРОЮ ЗАХИСНОГО ВІДКЛЮЧЕННЯ В МЕРЕЖАХ ДО 1 КВ

Сторов О. Б., Глєбова М. Л.

*Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова*

*Запропоновано пристрій захисного відключення, що містить диференційний трансформатор струму та розроблено алгоритм розрахунку мінімальної стандартної ємності конденсаторів цього пристрою при заданих параметрах мережі.*

**Постановка проблеми.** Не зважаючи на всі існуючі засоби захисту, що застосовуються для виявлення, вирішення та уникнення випадків з потрапляння людини під дію електричного струму, показники смертності від ураження електричним струмом втричі вищі, ніж в країнах Європейського Союзу і в інших розвинених країнах світу. Смертність від ураження електричним струмом становить 9-10% всіх випадків, що в 10-15 разів перевищує смертність від інших травм. Таким чином, розробка нових та більш ефективних схем апаратів захисту не може залишатися без детального розгляду та вивчення, доки не вдасться вирішити проблему ураження електричним струмом.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Застосування трифазно-однофазних мереж 10/0,23 кВ вимагає розгляду безпечного пристрою, в першу чергу, однофазних мереж [1]. Це пов'язано з тим, що однофазні мережі є найбільш небезпечними з точки зору ураження електричним струмом, оскільки вони максимально наближені до жителів населених пунктів, що в переважній більшості не володіють знаннями з електробезпеки. Основними критеріями оцінки небезпеки ураження людини електрикою є:

- струм, що протікає через людину;
- напруга дотику;
- час дії струму або напруги.

У стандарті системи безпеки праці [2] перераховані критерії нормуються. При аналізі мережі приймається за безпечне значення мА, так як воно відповідає струмі відпускання [3, 4].

В ізовольованих мережах і в мережах з заземленою нейтраллю опір заземлюючого пристрою (ЗП) приймається 4 Ом з урахуванням ліній, що відходять. Сучасні пристрої захисного відключення [5] містять диференційний трансформатор, до вторинної обмотки якого підключений чутливий орган (реле), що впливає на захисний апарат. Через вікно виконаного у вигляді тора осердя трансформатора проходять нульовий робочий і трифазних проводи, які є первинною обмоткою диференційного трансформатора струму. Недоліком таких пристроїв є неможливість спрацьовування при обриві проводів і КЗ між проводами повітряної ЛЕП.

**Метою статті** є аналіз пристрою захисного відключення, що містить диференційний трансформатор струму та створення алгоритму розрахунку мінімальної стандартної ємності конденсаторів цього пристрою при заданих параметрах мережі.

**Основні матеріали дослідження.** В даний час розроблені пристрої, що поєднують в собі функції автоматичного повітряного вимикача з тепловим і

електромагнітним розчеплювачем з пристроєм захисної дії, що реагують на диференційний струм. Перевагами ПЗВ перед АВ є висока швидкодія і чутливість до виникаючих аварійних режимів. Але принципово ПЗВ не може визначити і відключити міжфазні КЗ, оскільки струми КЗ протікають тільки через вікно осердя диференційного трансформатора струму. Тим часом, проблема відключення електрично віддалених КЗ в мережах низької напруги до сих пір не вирішена. Це пов'язано з наявністю таких факторів, як: сильний вплив теплового спаду струму КЗ, значний погонний опір ЛЕП, великий розкид характеристик спрацьовування захисних пристроїв, обмеження значення струму КЗ опором дуги або перехідним опором. Останній фактор носить імовірнісний характер, і заздалегідь важко передбачити, як він вплине на струм КЗ. У сукупності перераховані фактори змушують забезпечувати мінімальний коефіцієнт чутливості захисту  $K_{\text{ч}}=(3\div 6)$  в залежності від типу застосовуваного захисного апарату, умов прокладки провідників і виду їх ізоляції.

Час захисного автоматичного відключення не повинен перевищувати значень, наведених у таблицях 1 і 2.

Таблиця 1 – Максимально допустимий час відключення для системи заземлення TN

Час відключення, с	Номінальна фазна напруга мережі, В
0,8	127
0,4	220
0,2	380
0,1	понад 380

Таблиця 2 – Максимально допустимий час відключення для системи заземлення IT

Час відключення, с	Номінальна фазна напруга мережі, В
0,8	220
0,4	380
0,2	660
0,1	понад 660

У випадках, коли умови швидкодії і чутливості не можуть бути одночасно дотримані, необхідно збільшувати перетин провідників живильної ЛЕП на одну-дві сходинки або застосовувати спеціальні заходи для відключення КЗ.

Пристрій захисного відключення, що використовується в мережах до 1 кВ [5], містить диференційний трансформатор, до вторинної обмотки якого підключений чутливий орган (реле), що впливає на захисний апарат. Через вікно виконаного у вигляді тора осердя трансформатора проходять нульовий робочий і трифазних проводи, які є первинною обмоткою диференційного трансформатора струму. Недоліком цього пристрою є неможливість спрацьовування при обриві проводів і КЗ між проводами повітряної ЛЕП.

Для розгляду запропоновано пристрій захисного відключення (ПЗЛ), що містить диференційний трансформатор струму, до вторинної обмотки якого підключено реле, що впливає на АВ, причому через вікно осердя диференційного трансформатора проходять належні до первинної обмотки фазні проводи ЛЕП, перші два послідовно з'єднаних конденсатора підключені одними своїми контактними виводами до фазних проводів лінії до диференційного трансформатора і другі два послідовно з'єднаних конденсатора приєднані одними контактними виводами до фазних проводів в кінці лінії. Недоліком ПЗВ є тривалий час відключення віддалених КЗ між проводами на ЛЕП, які відключаються тепловим розчеплювачем АВ і складність виконання пристрою з великою кількістю конденсаторів в експлуатації.

Зазначених недоліків позбавлений ПЗЛ, що виконаний відповідно до рис. 1.

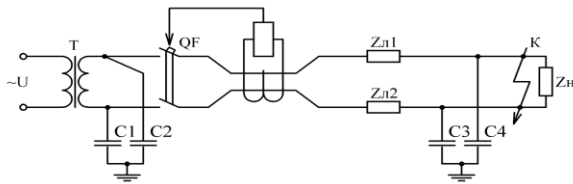


Рисунок 1 – Схема заміщення ПЗЛ і електромережі з навантаженням

На рис. 1 представлена схема заміщення ПЗЛ, конденсаторів C1 ... C4 і поздовжніх опорів ЛЕП  $Z_{л1} \neq Z_{л2}$ .

Працює запропонований ПЗЛ наступним чином. При включенні трансформатора Т і автоматичного вимикача QF по проводах ЛЕП протікають рівні за величиною струми навантаження. На початку лінії під дією напруги вторинної обмотки трансформатора протікає струм через рівні за величиною конденсатори C1, C2. На кожному з них падає половина підведеної напруги. Струм навантаження в проводах з різним опором викликає різні падіння напруги, тому між точками заземлення напруги, підведеної до конденсаторів C3, C4 буде дещо менше, ніж напруга, підведена до конденсаторів C1, C2. На кожному конденсаторі C3, C4 буде половина підведеної напруги. Опори проводів різні за величиною, на кожному з них будуть різні падіння напруги. Під дією різниці падінь напруги в проводах між загальними точками конденсаторів C1, C2 і C3, C4 буде протікати незначний струм, на який реле, підключене до диференційного трансформатора, не реагує.

При обриві одного з проводів через один з конденсаторів C3, C4 і ЗП протікає струм, який замикається крім вікна диференційного трансформатора, на його виході спрацьовує реле, і відключає АВ.

При пошкодженні ізоляції будь-якого з проводів відбувається з'єднання проводу із землею, через місце пошкодження ізоляції і через конденсатори протікає струм, який замикається крім вікна диференційного трансформатора, на його виході спрацьовує реле, і відключає АВ.

При короткому замиканні К між проводами, на кожному з них падіння напруги збільшиться, зросте і різниця падінь напруг через конденсатори C3, C4, ЗП і конденсатори C1, C2 буде протікати струм, який замикається крім вікна диференційного трансформатора, на його виході спрацьовує реле, і відключає АВ.

Для реалізації ПЗЛ з найбільш економічними показниками слід розрахувати мінімальну стандартну ємність конденсаторів при заданих параметрах мережі.

Диференційний струм можливо записати наступним виразом

$$I_d = \frac{\Delta U}{X_c}, \quad (1)$$

де  $\Delta U$  – напруга, створена струмом КЗ внаслідок різниці між опорами  $Z_{л1}$  та  $Z_{л2}$ , В.

В свою чергу

$$I_{КЗ} = \frac{U}{(Z_{л1} + Z_{л2}) \cdot L + R_d + Z_T}, \quad (2)$$

де  $R_d$  – опір дуги і всіх перехідних опорів (опір контактів рубильників, опір розчеплювачів автоматичних повітряних вимикачів, вставних контактів, болтових з'єднань), Ом;  $R_d=15$  Ом;

$Z_T$  – опір трансформатора, Ом.

Підставляючи (2) в (1) і задавшись диференційним струмом спрацьовування ПЗВ, рівним 30 мА, отримуємо формулу для розрахунку мінімальної ємності конденсатора, що забезпечує надійний захист мережі від міжфазних КЗ, мкФ

$$C = K_H \cdot \left| \frac{3 \cdot ((Z_{л1} + Z_{л2}) \cdot L + R_d + Z_T)}{\omega \cdot U \cdot (Z_{л2} - Z_{л1}) \cdot L} \right| \cdot 10^4, \quad (3)$$

де  $K_H=1,3$  – додатково введений коефіцієнт надійності, що компенсує неточність розрахунку струму КЗ і розкид параметрів ПЗЛ.

Як видно, ємність конденсатора залежить від всіх параметрів мережі, що захищається:

- співвідношення погонних опорів провідників ЛЕП;
- довжина ЛЕП;
- перехідний опір в місці КЗ;
- опір однофазного трансформатора,

- частота і напруга мережі.

Розрахуємо по (1) і зведемо результати в таблицю 5 значення мінімальних стандартних ємностей одного конденсатора, що забезпечує надійне спрацювання ПЗЛ, при різних умовах ( $R_d=15$  мОм).

Таблиця 3 – Сполучення проводів ЛЕП і мінімальні ємності одного конденсатора

Довжина ЛЕП, км	Напруга мережі, В	Марки проводів ЛЕП		Ємність конденсатора, мкФ
		L1	L2	
0,15	230	A-25	A-35	6,2
		A-35	A-50	6,2
		A-25	A-50	3,3
		СИП-2 1×16+1×25		3,6
		СИП-2 1×35+1×25		5,1
		СИП-2 1×50+1×25		3,0

Обчислимо по даними таблиці 3 робочі та аварійні параметри при наступних умовах: до двопровідної ізолюваною лінії, виконаної проводом А-35 і А-50 довжиною 150 м, підключено навантаження 8 кВА, що має коефіцієнт потужності 0,9. У розрахунках прийемо напругу на початку лінії 230 В,  $R_d=15$  мОм.

Результати представлені в таблиці 6. Опір еквівалентної живильної системи прийемо рівним 0. Однофазний трансформатор ОМП -10 10/0,23 кВ має такі паспортні дані:

- напруга короткого замикання 3,8%;
- втрати потужності короткого замикання 327 Вт.

Таблиця 4 – Параметри ПЗЛ, а також робочого та аварійного режимів ліні

Параметр	Одиниця вим.	Знач.
ПЗЛ		
Ємність, С1...С4	мкФ	6,2
Струм спрацювання, $I_{CP}$	мА	30
Робочий режим лінії		
Струм навантаження, $I_H$	А	36,4
Втрата напруги в проводі А-35, $\Delta U_{35}$	В	4,9
Втрата напруги в проводі А-50 $\Delta U_{50}$	В	3,6
Струм через ємність С3, $I_{C3}$	мА	214,5
Струм через ємність С4, $I_{C4}$	мА	217
Диференційний струм, $I_D$	мА	2,5
Аварійний режим лінії		
Струм міжфазного КЗ в кінці лінії, $I_{K3}$	А	517
Втрата напруги в проводі А-35, $\Delta U_{35}$	В	69,2
Втрата напруги в проводі А-50, $\Delta U_{50}$	В	50,6
Струм через ємність С3, $I_{C3}$	мА	89
Струм через ємність С4, $I_{C4}$	мА	125
Диференційний струм, $I_D$	мА	36

**Висновки.** Проаналізовано можливість використання пристрою захисту ліній однофазних мереж 220В. На підставі отриманих даних, пристрій захисту ліній ПЗЛ в порівнянні зі звичайним пристроєм захисного відключення ПЗВ має ряд суттєвих переваг, що можуть підвищити ступінь безпеки однофазних мереж за рахунок пришвидшення спрацювання відключення лінії при виникненні КЗ або обривах.

Аналіз роботи пристрою показує, що за формулою (1) можливо точно визначити мінімальну ємність конденсатора, яка необхідна для надійного спрацювання ПЗЛ.

#### Список використаних джерел

1. Шагмарданов Д. Э. Анализ типов заземления однофазных сетей 220 В / Н. М. Попов, Д. Э. Шагмарданов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве. Труды 8-й международной научно-технической конференции. – М.: ГНУ ВИЭСХ. – 2012. – С.125 – 131.

2. ГОСТ 12.1.038-82. Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – Введ. 1983–07–01.

3. Егорова О. Ю. К вопросу определения текущего остаточного ресурса изоляции электрических машин / О. Ю. Егорова, А. Б. Егоров // Технические науки-от теории к практике. – 2013. – №. 28. – С. 126-132.

4. Егоров О. Б. Проблемы и шляхи їх рішення при створенні й експлуатації диспетчерської системи регіонального електропостачання / О. Б. Егоров // Системи обробки інформації. – 2010. – №. 9. – С. 36-39.

5. Коструба С. И. Электробезопасность на фермах / С. И. Коструба– М.: Агропромиздат, 1990. . – 238 с.

#### Аннотация

### ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВА ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ В СЕТЯХ ДО 1 КВ

Егоров А. Б., Глебова М. Л.

*Предложено устройство защитного отключения, которое содержит дифференциальный трансформатор тока и разработан алгоритм расчета минимальной стандартной емкости конденсаторов устройства при заданных параметрах сети.*

#### Abstract

### APPLICATION OF PROTECTIVE SHUTDOWN DEVICE IN NETWORKS UP TO 1 kV

O. Iegorov, M. Glebova

*A protective shutdown device is proposed, which contains a differential current transformer, and an algorithm is developed for calculating the minimum standard capacitance of a device for given network parameters.*