

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПОРУ ЗАЗЕМЛЮВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ  
ТП 6-10/0,4 КВ З ОГЛЯДУ НА ВИМОГИ ПУЕ:2006**

*Карпець І.Я., Сантоцький В.Г., інститут "Укрсільенергопроект"*

Для трансформаторних підстанцій 6-10/0,4 кВ влаштовують, як правило, один заземлювальний пристрій (ЗП), до якого приєднують корпуси і нейтралі вторинних обмоток трансформаторів, відкриті провідні частини обладнання напругою до і понад 1 кВ, сторонні провідні частини, металеві оболонки, екрани і броню кабелів (п. 1.7.100 ПУЕ:2006).

Якщо захист від замикання на землю в електроустановці напругою 6-10 кВ діє на сигнал, то опір ЗП у будь-яку пору року повинен бути не більшим ніж (п. 1.7.98 ПУЕ:2006):

$$R = \frac{67}{I_p}, \text{ Ом} \quad (1)$$

де  $I_p$  – розрахунковий струм замикання на землю, який проходить через ЗП у разі пошкодження ізоляції обладнання 10 кВ, А;

67 – допустима напруга на ЗП, В.

Згідно п. 1.7.99 ПУЕ:2006 допустима напруга на ЗП може прийматися більшою ніж 67 В, якщо захист від замикання на землю в мережі 6-10 кВ діє на відключення. Величина її приймається в залежності від тривалості замикання на землю (див. таблицю, яка відповідає табл. 1.7.3 п. 1.7.99 ПУЕ:2006).

**Таблиця**  
**Залежність допустимої напруги на заземлювальному пристрої,**  
**який одночасно використовується для електроустановок до**  
**і понад 1 кВ, від тривалості замикання на землю**  
**в електроустановках напругою понад 1 кВ**

Допустима напруга на заземлювальному пристрої $R \times I_p$ , В	Тривалість замикання на землю, с
1	2
67	-
70	3
75	2
90	1
100	0,8
110	0,6

Закінчення таблиці

1	2
140	0,5
200	0,4
330	0,3
460	0,2
500	0,15
560	0,1
670	0,05

Крім того, опір спільного заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам, які ставляться до заземлення електроустановок напругою до 1 кВ. Виконання такої вимоги забезпечує у разі випадкового замикання на землю однієї із фаз електроустановки 380 В, наступні напруги відносно зони нульового потенціалу:

- на непошкоджених фазах – не більшу ніж 250 В, що обумовлено безпекою експлуатації електроосвітлювальних і побутових установок;
- на PEN(PE)-провідниках – не більшу ніж 50 В, що обумовлено вимогами електробезпеки.

Умова (1) не перевіряється, якщо ТП 6-10/0,4 кВ знаходиться у кабельних мережах (п. 1.7.100 ПУЕ:2006). Для таких ТП умова (1) завжди виконується, якщо опір спільного ЗП буде відповідати вимогам, які ставляться до електроустановок напругою до 1 кВ. Для напруги 380 В опір ЗП повинен становити на більше ніж 4 Ом (п. 1.7.92 ПУЕ:2006). Це пов'язано з тим, що жили кабелю 6-10 кВ мають ємність не з землею, як проводи повітряних ліній (ПЛ), а з металеву оболонкою або з металевим екраном кабелю.

До речі тут слід сказати про те, що всі кабелі напругою 6-10 кВ мають металеву оболонку (алюмінієву або свинцеву) або мідний екран, які приєднуються до заземлювальної шини з обох боків кабелю. На сьогоднішній день широке розповсюдження отримали кабелі з ізоляцією із зшитого поліетилену. Ці кабелі напругою 6-10 кВ мають: струмовідні жили з алюмінію або міді, ізоляцію цих жил із зшитого поліетилену, мідний екран по ізолюваній жилі або загальний мідний екран поверх всіх жил. Мідні екрани

виготовляються перерізом 16, 25, 35, 50 і 70 мм<sup>2</sup>. Зовнішня оболонка цих кабелів виготовляється із поліетилену або з ПВХ-пластикату, що не дозволяє використовувати такі кабелі як природні заземлювачі [1,2].

У разі пошкодження ізоляції однієї із фаз кабельної мережі 6-10 кВ значно більша частина струму замикання слідує в оболонку чи мідний екран і далі через розподілені ємності непошкоджених фаз кабелю до трансформатора [3, 4]. В землю через ЗП протікає лише незначна частина від повного струму замикання із-за великого реактивного опору в петлі, яку створює земляний провід з жилою кабелю, що і обумовлює виконання умови (1).

Для пояснення сказаного, на рис. 1 і рис. 2 показано розподіл струму замикання у кабельних і кабельно-повітряних мережах, якщо воно виникло на відкриті провідні частини ТП.

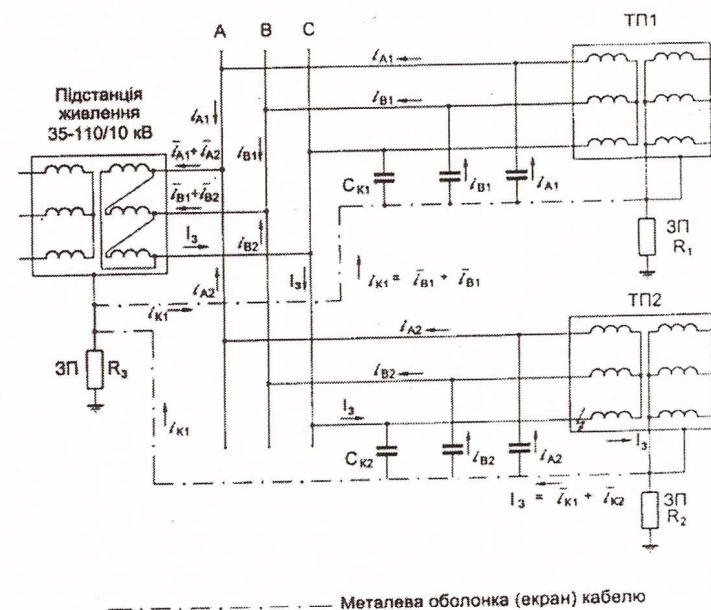


Рис. 1 Розподіл струму однофазного замикання в кабельній мережі у разі замикання фази С на ТП 2



На рисунках прийняті такі позначення:

$C_{K1}, C_{K2}, C_{ПЛ}$  – сумарна ємність фази, відповідно, для кабельних приєднань 1 і 2 та приєднань ПЛ 6-10 кВ;

$I_1$  – повний струм однофазного замикання (замикання у фазі С);

$i_{A1}, i_{B1}, i_{A2}, i_{B2}$  – струми, які протікають через розподілені ємності непошкоджених фаз А і В, відповідно для приєднань 1 і 2;

$i_{K1}, i_{K2}, i_{ПЛ}$  – частка струму замикання, відповідно для кабельних приєднань 1 і 2 та приєднань ПЛ 6-10 кВ ( $i_{K1} = i_{A1} + i_{B1} = 3U_{\phi}\omega C_{K1}$  та  $i_{ПЛ} = i_{A2} + i_{B2} = 3U_{\phi}\omega C_{ПЛ}$ , де  $U_{\phi}$  – фазна напруга,  $\omega = 2\pi f, f = 50$  Гц);

$R_1, R_2$  – опір ЗП, відповідно, для підстанції живлення, ТП 1 і ТП 2.

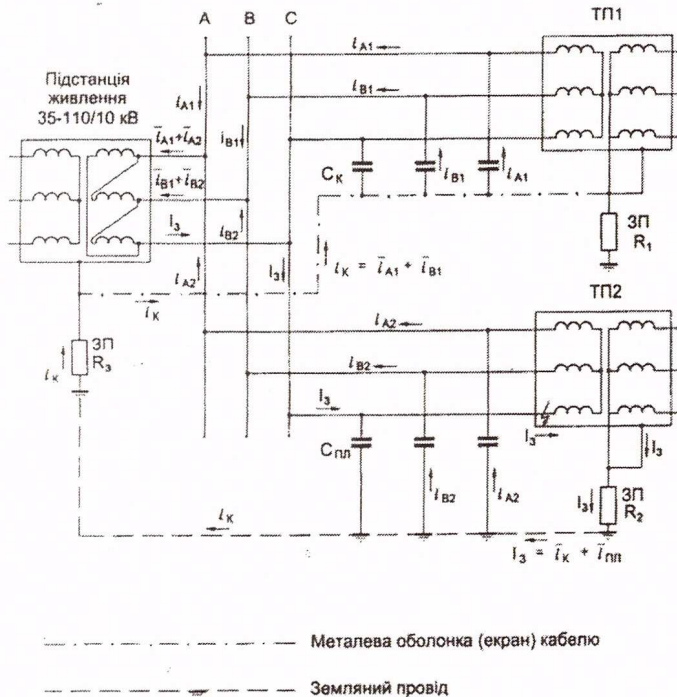


Рис. 2 Розподіл струму однофазного замикання в кабельно-повітряній мережі у разі замикання фази С на ТП 2, яка отримує живлення від повітряної лінії

З рис. 2 видно, що у разі живлення ТП 6-10 кВ від повітряної лінії, через ЗП завжди буде протікати повний струм замикання, незалежно від того заземлена нейтраль мережі через дугогасний реактор або (і) через резистор, чи ні. В кабельних мережах у всіх випадках через ЗП буде протікати лише незначний струм, який може не враховуватися.

Також умова (1) може не перевірятися, якщо опір заземлювального пристрою ТП 6-10 кВ, прийнятий за вимогами до електроустановок напругою до 1 кВ, становить не більше ніж 4 Ом, а ТП отримує живлення від ПЛ із залізобетонними і металевими опорами і електрично зв'язана з мережею, нейтраль якої ізолювана або заземлена через високоомний резистор. Для таких мереж допустимий струм замикання на землю не може бути більшим ніж 10 А (див. п. 1.2.16 глави 1.2 ПУЄ-86, яка ще є чинною в Україні).

Умова (1) повинна перевірятися, якщо ТП 6-10/0,4 кВ отримує живлення від ПЛ, яка електрично зв'язана з мережею:

- нейтраль якої заземлена через дугогасні реактори;
- нейтраль якої ізолювана, а смісний струм замикання у нормальному режимі перевищує 16,75 А (такий струм може бути у кабельно-повітряній мережі у разі відсутності на ПЛ залізобетонних і металевих опор);
- у всіх випадках, якщо опір заземлювального пристрою ТП 6-10/0,4 кВ приймається більшим у 0,01 рази ніж 4 Ом (для питомого опору землі  $\rho > 100$  Ом·м) – див. п. 1.7.96 ПУЄ:2006.

В означених випадках розрахунковий струм  $I_p$  приймається за підпунктами 1), 2) і 3) п. 1.7.99 ПУЄ:2006.

Визначення смісного струму замикання в мережах 6-10 кВ наведено в додатку.

### Висновки

1. Величина опору заземлювального пристрою ТП 6-10/0,4 кВ залежить від того, якою лінією отримує живлення ТП - кабельною чи повітряною.
2. В кабельних мережах і у разі живлення ТП кабельною лінією для кабельно-повітряних мереж достатнім є, якщо опір ЗП відповідає вимогам, які ставляться до електроустановок напругою до 1 кВ.
3. У разі живлення ТП повітряною лінією для кабельно-повітряних мереж, опір її заземлювального пристрою повинен відповідати вимогам, які ставляться для електроустановок напругою до і понад 1 кВ.

### Література

1. Силовые кабели среднего и высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена, Техническая информация, г. Харьков, ЗАО завод "Южкabelь", 2004, 10 стр.
2. Руководство по эксплуатации силовых кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжение 6-35 кВ по ТУ У 31.3-00214534-017-2003, ЗАО завод "Южкabelь", 2004, 15 стр.
3. Р. Вильгельм и М. Уотерс "Заземление нейтрали в высоковольтных системах", Госэнергоиздат, Москва, 1959 г., 415 стр.
4. Церебровский Ю. В. "О необходимости пересмотра требований к заземляющим устройствам электроустановок напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью", Сб. докладов второй российской конференции по заземляющим устройствам, Новосибирск, 22-25 марта 2005 г., стр. 15-23.

### ДОДАТОК

#### Визначення ємнісного струму замикання на землю в мережах 6-10 кВ

Ємнісний струм замикання на землю  $I_z$  в мережах 6-10 кВ, які мають електрично зв'язані повітряні і кабельні приєднання визначається за формулою:

$$I_z = i_{пл} \cdot L + \sum_{i_{кi}} i_{кi} \cdot l_{кi}$$

де:  $i_{пл}$  – питомий ємнісний струм повітряних приєднань, А/км; для ПЛ 6 кВ  $i_{пл}=0,017$  А/км, а для ПЛ 10 кВ  $i_{пл}=0,029$  А/км;

$L$  – сумарна довжина всіх електрично зв'язаних повітряних ліній у нормальному режимі роботи мережі:

$i_{кi}$  – питомий ємнісний струм для кабелю з жилами  $i$ -го перерізу, А/км;

$l_{кi}$  – довжина кабельних приєднань з жилами  $i$ -го перерізу, км;

$n$  – число кабельних приєднань в мережі з жилами  $i$ -го перерізу, шт.

Значення питомого ємнісного струму для кабельних ліній наведено в таблиці:

Напруга мережі, кВ	Значення $i_{кi}$ , А/км, для кабелю з перерізом жил					
	16	25	35	50	70	95
6	0,37	0,46	0,52	0,59	0,71	0,82
10	0,52	0,62	0,69	0,77	0,90	1,00

Підставляючи у формулу наведені вище значення  $i_{пл}$  та  $i_{кi}$  отримуємо, що у мережі з електрично зв'язаними повітряними лініями загальною довжиною 100 км (в багатьох випадках вона може бути значно меншою), струм замикання на землю не перевищує для мережі 6 кВ  $I_z=1,7$  А, а для мережі 10 кВ  $I_z=2,9$  А. За рахунок кабельних вставок на окремих ділянках ПЛ, струм замикання на землю може бути значно більшим. Якщо така мережа буде виконана тільки кабельними лініями, то струм замикання на землю може становити 50-60 А для мережі 6 кВ і 60-80 А для мережі 10 кВ.