

Технічні науки

УДК 621.3.014.7

**Кирик Валерій Валентинович**

*доктор технічних наук, професор,  
професор кафедри електричних мереж і систем*

*Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Кирик Валерий Валентинович**

*доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры электрических сетей*

*Национальный технический университет Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Kyryk Valerii**

*Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Professor of Electrical Networks and Systems Department*

*National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**Шаталов Євген Олександрович**

*магістрант*

*Національного технічного університету України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*

**Шаталов Евгений Александрович**

*магистрант*

*Национального технического университета Украины  
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»*

**Shatalov Yevhen**

*Graduate Student of the  
National Technical University of Ukraine  
"Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"*

**РОЗРАХУНОК ОДНОФАЗНОГО СТРУМУ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ  
В МЕРЕЖІ НАПРУГОЮ 20 КВ ІЗ ЗАЗЕМЛЕНОЮ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР  
НЕЙТРАЛІЮ**

**РАСЧЕТ ОДНОФАЗНОГО ТОКА КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ В СЕТИ  
НАПРЯЖЕНИЕМ 20 КВ С ЗАЗЕМЛЕННОЙ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР  
НЕЙТРАЛЬЮ**

**CALCULATION OF THE SINGLE PHASE CURRENT OF SHORT  
CIRCUIT IN A 20 KW GRID WITH RESISTIVE GROUNDED NEUTRAL**

*Анотація.* Запропоновано формулу для розрахунку струму однофазного короткого замикання в мережі з заземленою через резистор нейтраллю. Побудовано модель фрагменту електричної мережі в програмному комплексі Matlab та виконано зіставлення отриманих результатів.

*Ключові слова:* резистор, коротке замикання, ємність, розподільна мережа, заземлення, нейтраль.

*Аннотация.* Предложено формулу для расчета токов однофазного короткого замыкания в сети с заземленной через резистор нейтралью. Построено модель фрагмента электрической сети в программном комплексе Matlab и выполнено сопоставление полученных результатов.

*Ключевые слова:* резистор, короткое замыкание, емкость, распределительная сеть, заземление, нейтраль.

*Summary.* Proposed formula for calculating the current of a single-phase short circuit in a network with a resistive neutral grounded. A model of a fragment of the electrical network in the Matlab software package was built and were compared with the obtained results.

**Key words:** resistor, short circuit, capacitance, distribution network, grounding, neutral.

**Вступ.** Робота розподільних мереж напругою 20 кВ пов'язана зі значними ємнісними струмами, що зумовлює необхідність заземлення нейтралі мережі через дугогасний реактор (резонансне заземлення) або резистор.

Резистивне заземлення нейтралі забезпечує обмеження однофазного струму короткого замикання до необхідної величини. За рахунок цього забезпечується селективна дія захисту на вимкнення пошкодженої ділянки, а також значно зменшується кратність перенапруги під час короткого замикання. Оскільки резистор не потребує налаштування, а для пристроїв релейного захисту та автоматики достатньо мати пусковий орган за струмом, то кінцева вартість резистивного заземлення нейтралі значно менша в порівнянні із використанням дугогасного реактора.

**Мета роботи.** Визначити залежність струму однофазного короткого замикання від величини опору резистора при його встановленні у вторинну обмотку розподільного трансформатора 110/20 кВ.

Резистивне заземлення нейтралі займає проміжне місце між ізольованою та глухозаземленою нейтраллю. При малому опорі резистора струм КЗ більшою мірою визначається потужністю мережі живлення, а зі збільшенням опору – зростає складова струму, залежна від ємностей мережі. Розрахунок струму ОЗЗ здійснюється за формулою 1 [1, с. 17-19].

Для врахування ємнісної складової струму ОЗЗ необхідно додатково розрахувати складову струму, що протікатиме по ємностях мережі. Для цього розрахуємо ємнісний струм мережі за формулою 2 [2, с. 86].

$$I_{\kappa}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{\left(2 \cdot r_{\text{ЗОВ}} + r_{\text{ЗОВ}0} + r_{\text{КЗ}}\right)^2 + \left(2 \cdot x_{\text{ЗОВ}} + x_{\text{ЗОВ}0}\right)^2}}, \quad (1)$$

де  $U_{\text{НОМ}}$  – номінальна напруга в мережі, В;  $r_{\text{ЗОВ}}$  – активний опір від точки живлення до місці КЗ;  $r_{\text{ЗОВ}0}$  – активний опір нульової послідовності від точки живлення до місці КЗ;  $r_{\text{КЗ}}$  – активний опір дуги в місці КЗ;  $x_{\text{ЗОВ}}$  – реактивний опір від точки живлення до місці КЗ;  $x_{\text{ЗОВ}0}$  – реактивний опір нульової послідовності від точки живлення до місці КЗ.

$$I_{\text{с}\Sigma} = 3 \cdot \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}} \cdot (2 \cdot f \cdot \pi) \cdot C_{\Sigma}, \quad (2)$$

де  $C_{\Sigma}$  – сумарна ємність мережі, Ф.

Складова ємнісного струму, що протікатиме в місці КЗ визначається за методом чужого плеча, при цьому опорами обмотки розподільного трансформатора можна знехтувати, адже вони значно менші від опору резистора. Маємо наступне рівняння:

$$I_{\text{сКЗ}} = \frac{R_{\text{рез}} + R_{\text{зем}}}{\left(R_{\text{рез}} + R_{\text{зем}}\right) \cdot 1 / \left(2 \cdot f \cdot \pi \cdot C_{\Sigma}\right)} \cdot I_{\text{с}\Sigma}, \quad (3)$$

де  $R_{\text{рез}}$  – опір резистора, Ом;  $R_{\text{зем}}$  – опір землі, Ом.

Струм ОЗЗ в мережі з ізолюваною нейтраллю у загальному випадку визначається за виразом 4.

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{\left(2 \cdot r_{\text{ЗОВ}} + r_{\text{ЗОВ}0} + r_{\text{КЗ}}\right)^2 + \left(2 \cdot x_{\text{ЗОВ}} + x_{\text{ЗОВ}0}\right)^2}} + \frac{\left(R_{\text{рез}} + R_{\text{зем}}\right) \cdot \left(2 \cdot f \cdot \pi \cdot C_{\Sigma}\right)}{\left(R_{\text{рез}} + R_{\text{зем}}\right)} \cdot I_{\text{с}\Sigma}, \quad (4)$$

Для перевірки отриманої формули створено модель мережі в програмному комплексі Matlab, рис. 1. Параметри розподільного трансформатора наведено на рис. 2, а параметри ліній – в каталозі виробника [3]. Джерело живлення має нескінченну потужність (нульовий опір), а навантаження – відсутнє.

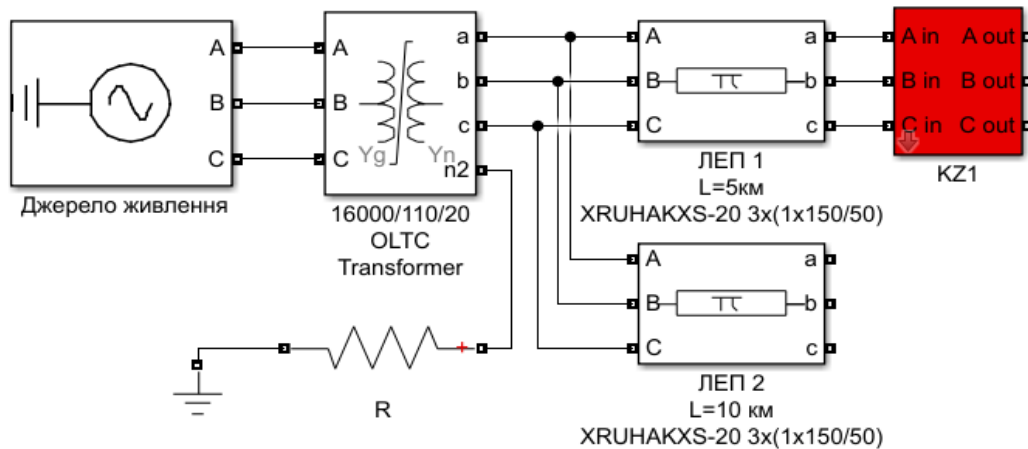


Рис. 1. Модель мережі 110/20 кВ

Units

Nominal power and frequency [ Pn(VA) , fn(Hz) ]

Winding 1 parameters [ V1 Ph-Ph(Vrms) , R1(Ohm) , L1(H) ]

Winding 2 parameters [ V2 Ph-Ph(Vrms) , R2(Ohm) , L2(H) ]

Magnetization resistance Rm (Ohm)

Magnetization inductance Lm (H)

Inductance L0 of zero-sequence flux path return (H)

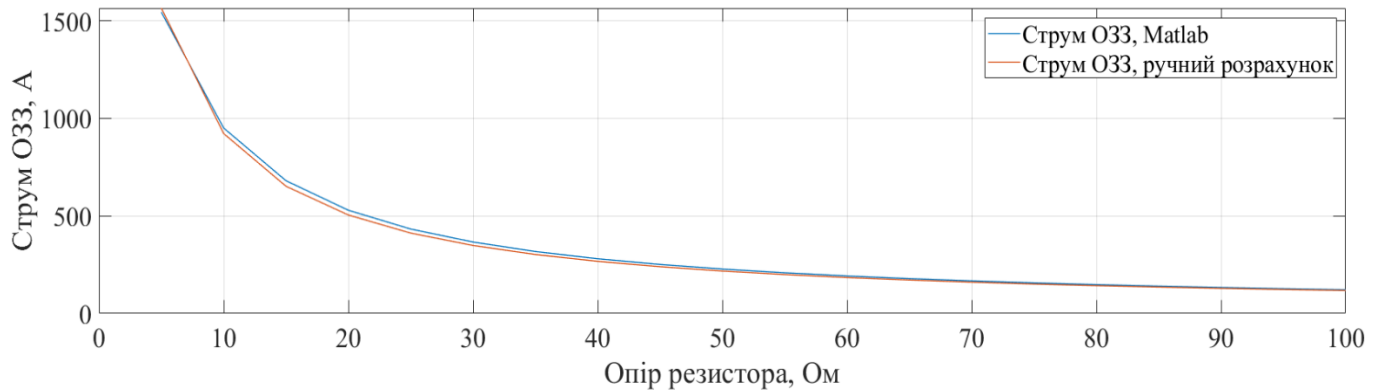
Saturation characteristic [ i1(A) , phi1(V.s) ; i2 , phi2 ; ... ]

Initial fluxes [ phi0A , phi0B , phi0C ] (V.s):

Рис. 2. Параметри трансформатора 16000/110/20 кВ

Приведено ручний розрахунок струму ОЗЗ при опорі резистора 60 Ом, та напругою 19 кВ (врахування падіння напруги внаслідок КЗ). Значення струмів ОЗЗ відображено на рис. 3.

$$I_{\text{КЗ}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} \cdot 19}{\sqrt{(2 \cdot (0,0575 + 0,815) + 0,0575 + 3,5 + 3 \cdot (60 + 0,01))^2 + (2 \cdot (1,313 + 0,815 + 0,581) + 1,313 + 0,305)^2}} + \frac{(60 + 0,01) \cdot 282,942}{(60 + 0,01)} \cdot 38,8 = 184,321 \text{ A.}$$



**Рис. 3. Результати розрахунку струму ОЗЗ в мережі напругою 20 кВ**

**Висновки.** Струм однофазного короткого замикання в мережі з ізольованою нейтраллю складається з двох компонент: струму, що надходить безпосередньо з джерела живлення та ємнісного струму самої мережі, частка якого залежить від опору резистора. Чим більше значення опору резистора – тим менше струм, що надходить від місця живлення та водночас більший вплив ємності мережі.

Розглянута формула дозволяє виконувати оціночні розрахунки однофазних струмів при коротких замиканнях в мережі з резистивно заземленою нейтраллю, що необхідно при виборі обладнання та уставок спрацювання релейних захистів.

### Література

1. Расчет токов коротких замыканий и замыканий на землю в распределительных сетях: методические указания. Санкт-Петербург: ООО «НТЦ» «Механотроника», 2017. 40 с.
2. Шуин В. А., Гусенков А.В. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-35 кВ: приложение к журналу «Энергетик». Москва: НТФ «Энергопрогресс», 2001. Выпуск 11 (35). 104 с.

3. Силовые кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена на напряжения: 6/10; 8,7/15; 12/20 И 20/35 кВ. Київ: ЗАО «ТФ Кабель», 2005. 44 с.