

# РОЗРАХУНОК УСТАВОК ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ АВТОТРАНСФОРМАТОРА ПІДСТАНЦІЇ 330/110/10 КВ НА БАЗІ ПРИСТРОЮ АВВ RET 670

Козуб А.Ю., магістрант, Дмитренко О.О., к.т.н., доцент  
КПІ ім. Ігоря Сікорського, кафедра автоматизації енергосистем

**Вступ.** Силові трансформатори є дуже дорогими і надзвичайно важливими компонентами електроенергетичних систем (ЕЕС). Самі по собі трансформатори і автотрансформатори конструктивно вельми надійні завдяки відсутності у них рухомих або обертових частин. Але, незважаючи на це, в процесі експлуатації можливі й практично мають місце їх пошкодження і порушення нормальних режимів роботи. Тому до захистів трансформаторів і автотрансформаторів висуваються підвищені вимоги за чутливістю.

**Мета роботи.** Розглянути основні підходи до розрахунку уставок спрацювання основного захисту автотрансформатору, виконаного на базі сучасного мікропроцесорного пристрою релейного захисту та автоматики.

**Матеріали і результати дослідження.** Для правильного та безперебійного функціонування автотрансформаторів підстанцій 330/110/10 кВ необхідно правильно підібрати та розрахувати релейний захист. Згідно ПУЕ [1] для автотрансформаторів потужністю більшою за 4 МВА в якості основного захисту необхідно використовувати диференційний захист трансформатора. Пристрій компанії АВВ RET670 має вбудовану функцію диференційного захисту трансформатора із гальмуванням.

Традиційний підхід до розрахунку уставок диференційного захисту трансформатору базується на конструктивних особливостях пристрою ДЗТ-21 – кількість обмоток, число витків на них, і т.д. В мікропроцесорних пристроях фізичних обмоток та витків немає, всі функції реалізуються за відповідними алгоритмами програмним шляхом. Тому перенесення електромеханічного принципу розрахунку уставок захисту на мікропроцесорний рівень малоефективне. Нижче наводиться весь процес розрахунку саме з урахуванням особливостей та збільшених можливостей, які надає цифровий захист.

Перш за все в термінал пристрою необхідно внести характеристики розгляданого автотрансформатору (номінальну потужність, номінальні напруги, первинні струми трансформаторів струму) [2]. Автотрансформатор, що розглядається має характеристики, які вказані у табл. 1.

Таблиця 1 – Характеристики автотрансформатору

Тип	$S_{ном}$ , МВА	$U_{ВН}$ , кВ	$U_{СН}$ , кВ	$U_{НН}$ , кВ	$P_x$ , кВт	$P_k$ , кВт	$U_{к.ВН-СН}$ , %	$U_{к.ВН-НН}$ , %	$U_{к.СН-НН}$ , %	$I_x$ , %
АТДЦТН- 125000/330/ 115/11	125	330	115	11	80	345	10	35	24	0,45

Також відомий струм короткого замикання на стороні НН трансформатора:

$$I_K = 3,927 \text{ кА}$$

Первинні струми трансформаторів струму розраховуються наступним чином:

$$I_{н1.ВН} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}}; I_{н1.СН} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{СН}}; I_{н1.ВН} = \frac{0,5 \cdot S_{ном}}{\sqrt{3} \cdot U_{ВН}}; I_{н2} = \frac{I_{н1}}{K_{ТС}},$$

де  $I_{н1}$  – номінальний первинний струм сторін автотрансформатора,  $I_{н2}$  – номінальний вторинний струм сторін автотрансформатора,  $K_{ТС}$  – коефіцієнт трансформації трансформатору струму.

Результати розрахунків наведені у табл. 2.

Таблиця 2 – Первинні та вторинні струми сторін автотрансформатора

Величина	330 кВ	110 кВ	10 кВ
$I_{н1}, \text{ А}$	$\frac{125}{\sqrt{3} \cdot 330} = 218,693$	$\frac{125}{\sqrt{3} \cdot 115} = 627,554$	$\frac{0,5 \cdot 125}{\sqrt{3} \cdot 11} = 3280,399$
$K_{ТС}$	400/1	1000/1	5000/5
$I_{н2}, \text{ А}$	$\frac{218,693}{400 / 1} = 0,547$	$\frac{627,554}{1000 / 1} = 0,628$	$\frac{3280,399}{5000 / 5} = 3,28$

Для даного виду захисту необхідно провести вирівнювання струмів. Для цього необхідно визначити відносні похибки вирівнювання для кожної зі сторін трансформатора. Оскільки розраховані струми сторін ВН та СН більші за 0,125 А, а струм НН більший за 1 А, то  $\Delta f_{вир} = 0,02$  [2].

Значення мінімального струму спрацювання може варіюватися в діапазоні 0,1-0,6 [3]. Даний струм має відповідати наступному співвідношенню:

$I_{дсп} \geq K_{від} \cdot K_{нб.розр}$ , де  $K_{від} = 1,1$  – коефіцієнт відбудови,  $K_{нб.розр}$  – розрахункове значення струму небалансу.  $K_{нб.розр}$  розраховується наступним чином:

$$K_{нб.розр} = \sqrt{\left(K'_{пер} \cdot \varepsilon^*\right)^2 \cdot \left[1 + 2 \cdot \left(\Delta U_{рег} + \Delta f_{вир}\right)\right] + \left(\Delta U_{рег} + \Delta f_{вир}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(1,5 \cdot 0,1\right)^2 \cdot \left[1 + 2 \cdot (0,12 + 0,02)\right] + (0,12 + 0,02)^2} = 0,22,$$

де  $K'_{пер}$  – коефіцієнт, що враховує перехідний процес і  $K'_{пер} = 1,5$  в.о. для трансформаторів потужністю понад 63 МВА [3],  $\varepsilon^* = 0,1$  – відносна похибка трансформаторів струму,  $\Delta U_{рег}$  – максимально можливе відхилення від номінального положення РПН у в.о.

За допомогою методу наближень можна знайти мінімальний струм спрацювання. Згідно рекомендацій виробника початковий гальмівний струм (змінна EndSection1) дорівнює 1,15. Формула розрахунку наступна:

$$I_{d \min} = K_{від} \cdot K_{нб.розр} \cdot \text{EndSection1} = 1,1 \cdot 0,22 \cdot 1,15 = 0,278$$

Оскільки даний струм задовольняє початкові умови, то перерахунок наближення не потребується.

Для другої ділянки гальмівної характеристики також необхідно провести розрахунок струму небалансу. Розрахунок даного струму відбувається таким же

чином як і для першої ділянки, окрім того, що підставляється змінна  $K_{пер}^*$ , яка для трансформаторів потужністю вищою за 63 МВА дорівнює 2,5. Маємо:

$$K_{нб.розр} = \sqrt{\left(K_{пер}^* \cdot \varepsilon^*\right)^2 \cdot \left[1 + 2 \cdot \left(\Delta U_{рег} + \Delta f_{вир}\right)\right] + \left(\Delta U_{рег} + \Delta f_{вир}\right)^2} =$$

$$= \sqrt{\left(2,5 \cdot 0,1\right)^2 \cdot \left[1 + 2 \cdot (0,12 + 0,02)\right] + (0,12 + 0,02)^2} = 0,316$$

Для другої ділянки гальмівної характеристики необхідно провести розрахунок коефіцієнту нахилу за наступною формулою:

$$\text{SlopeSection2} \geq \frac{K_{від} \cdot K_{нб.розр} \cdot \text{EndSection2} - I_{d \min}}{\text{EndSection2} - \text{EndSection1}} = \frac{1,1 \cdot 0,316 \cdot 3 - 0,278}{3 - 1,15} = 0,41,$$

де EndSection2 – початковий гальмівний струм другої ділянки гальмівної характеристики, що за замовчуванням дорівнює 3. Умова  $\text{SlopeSection2} \leq 0,5$  виконується. SlopeSection3 за замовчуванням дорівнює 0,65[3].

Для визначення уставки диференційної відсічки, яка спрацьовує при великих значеннях струму спочатку треба розрахувати струм максимальний наскрізний струм на шині НН трансформатора за наступною формулою:

$$I_{наскрізн.макс} = I_K \cdot I_{номВН} = 3,927 \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot 330}{125} = 17,957 \text{ в.о.},$$

де  $I_{номВН}$  – номінальний струм сторони ВН автотрансформатора.

Струм диференційної відсічки розраховується наступним чином:

$$I_{дв} \geq K_{від} \cdot K_{нб} \cdot I_{наскрізн.макс} = 1,1 \cdot 1 \cdot 17,957 = 19,753 \text{ в.о.},$$

де  $K_{нб} = 1$  – коефіцієнт небалансу, який для автотрансформаторів із трансформаторами струму з різними значеннями вторинного струму дорівнює 1.

Оскільки розраховане значення не менше за 6,5 в.о. та більше від значення максимального струму КЗ, то дане значення задовольняє всі умови.

Перевірка на чутливість відбувається наступним чином [3]:

$$K_{ч} = \frac{I_{диф.розр}}{I_{d \min}} = \frac{8,588}{0,278} = 30,892 \geq 2,$$

де  $I_{диф.розр}$  – мінімальний розрахунковий диференційний струм при КЗ на стороні НН автотрансформатору, який розраховується наступним чином:

$$I_{диф.розр} = \frac{I_K}{I_{номВН}} = \frac{3927}{457,261} = 8,588 \text{ в.о.}$$

Згідно ПУЕ [1] умова чутливості виконується, якщо коефіцієнт чутливості не менший за 2. В даному випадку коефіцієнт відповідає умовам.

Чутливість гальмівної характеристики виконується, оскільки виконана наступна умова [3]:

$$\frac{I_{d \min}}{\text{EndSection1}} = \frac{0,278}{1,15} = 0,241 \leq 0,5$$

Згідно ПУЕ [1] умова чутливості виконується, якщо коефіцієнт чутливості не менший за 2. В даному випадку коефіцієнт відповідає умовам.

Розрахувавши усі необхідні уставки можемо побудувати графік гальмівної характеристики (див. рис. 1).

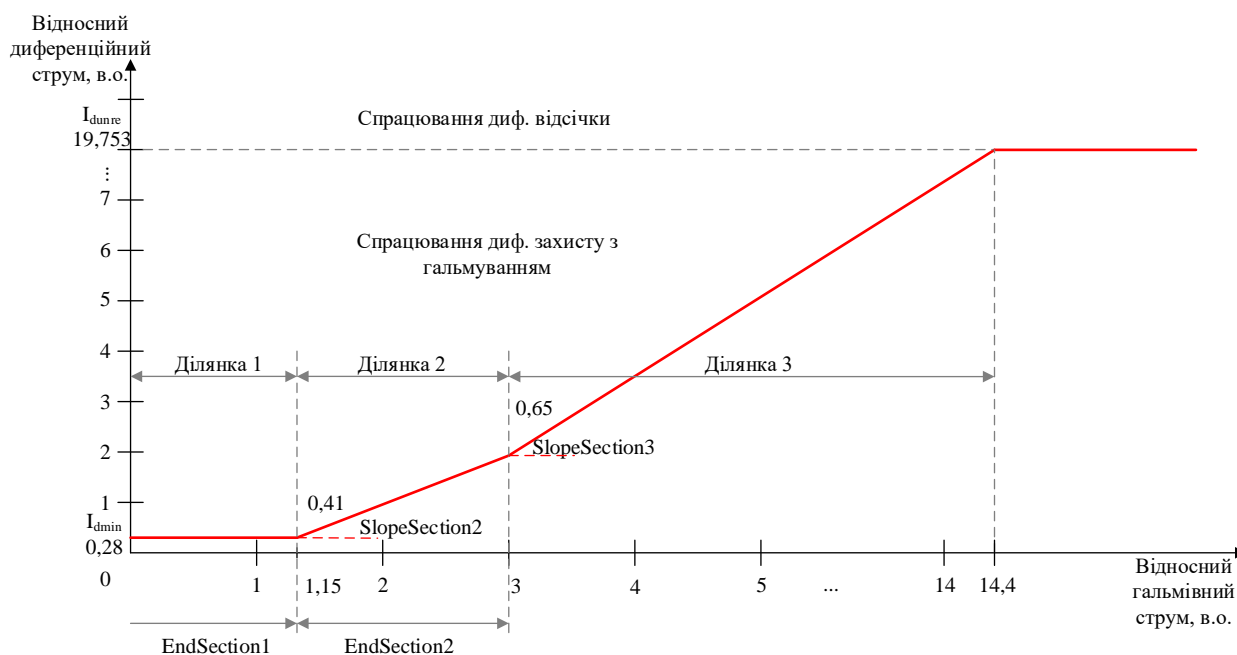


Рисунок 1 – Графік гальмівної характеристики

Вкажемо список усіх розрахованих уставок у в.о.:

- $I_{dmin} = 0,28$ ;
- $EndSection1 = 1,15$ ;
- $EndSection2 = 3$ ;
- $SlopeSection2 = 0,41$ ;
- $SlopeSection3 = 0,65$ ;
- $I_{dunre} = 19,753$ .

### Висновки:

1. В якості основного захисту трансформаторів зазвичай використовують диференційний захист, до розрахунку уставок якого, висуваються підвищені вимоги.

2. Застосування методики розрахунку уставок диференційного захисту на основі RET670, розробленою АВВ (Швеція) дозволяє побудувати високоефективну гальмівну характеристику захисту автотрансформатору з досягненням вимог по чутливості та селективності.

### Перелік посилань

1. Правила улаштування електроустановок : 2017. – Офіц. вид. – К. :Форт: Мінпалівернерго України. 2017.
2. Розрахунок уставок диференційного захисту трансформатору на терміналі RET670. Raschet.info : веб-сайт. URL : <https://raschet.info/raschet-ustavok-differencialnoj-zashhity-transformatorana-terminale-ret-670>.
3. Група АВВ. Інтелектуальний електронний пристрій захисту трансформатору RET670 – Швеція, 205. – 1-3 с.