

ПРОГРАМНИЙ РОЗРАХУНОК ДИФЕРЕНЦІЙНОГО ЗАХИСТУ ТРАНСФОРМАТОРА НА ОСНОВІ ПРИСТРОЮ SERAM З ПОБУДОВОЮ ГАЛЬМІВНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Хлистов В.М., ст.викл., Щуренко М.М., студент
НТУУ «КПІ», кафедра автоматизації енергосистем

Вступ. Транспорт електроенергії від генерації до споживання потребує багаторазової трансформації. Надійність роботи великої кількості силових трансформаторів визначає надійність роботи електричної системи в цілому.

Основним захистом трансформатора є диференційний захист, принцип дії якого полягає в порівнянні амплітуд струмів по кінцях захищеної ділянки (сторона ВН – сторона НН). Використання мікропроцесорних пристроїв в захистах підвищує його надійність та розширює функціональність. Для надійної роботи захисту важливим є його правильне налаштування. Правильному вибору оптимальних параметрів гальмівної характеристики диференційного захисту трансформатора сприяє коректний розрахунок декількох варіантів гальмівної характеристики і її дослідження в нормальному та аварійному режимах роботи трансформатора.

Мета роботи. Розробити алгоритм програмного розрахунку параметрів диференційного захисту трансформатора з автоматичною побудовою гальмівної характеристики.

Матеріали дослідження. В даній роботі наведено програмний розрахунок параметрів пристрою диференційного захисту Seram 87T виробництва фірми Schneider Electric для встановлення його на підстанційному силовому двообмотковому трансформаторі потужністю 32 МВА з номінальними напругами 110/10 кВ, а також автоматично побудована його гальмівна характеристика (ГХ).

1. Послідовність розрахунку диференційного захисту силового трансформатора

1.1 Введення вихідних даних:

- Мінімальний струм спрацювання захисту I_{ds} [в.о.] $(0.3I_{n1} - I_{n1})$;
- Крутизна першої похилої ділянки ГХ I_{dl1} [в.о.] $(0.15 - 0.50)$;
- Крутизна другої похилої ділянки ГХ I_{dl2} [в.о.] $(0.50 - 1)$;
- Номінальна напруга сторони ВН $U_{вн}$ [кВ];
- Номінальна напруга сторони НН $U_{нн}$ [кВ];
- Номінальна потужність трансформатора S_n [МВА];
- Максимальне значення періодичної складової струму зовнішнього короткого замикання $I_{кз\ макс}$ [кА].

1.2 Розрахунок:

1.2.1 Струм спрацювання диференційного захисту терміналу за умовою відсторонення від струму небалансу [1]:

$$I_{c3} = 1.1(k_{\text{пер}}\varepsilon + \Delta U_{\text{рег}}/(1 - \Delta U_{\text{рег}}) + 0.02) \cdot I_{\text{кз}}$$

Якщо отримане значення $I_{c3} < 0.3$, то приймається до установки мінімальна уставка межі регулювання $I_{ds}=30\%$.

1.2.2 Крутизна ГХ першої ділянки визначається як відношення диференційного струму спрацювання до гальмівного струму. Струм спрацювання – це добуток відносного струму небалансу на гальмівний струм.

$$I_d/I_t = (k_{\text{відс}} I_{\text{нб_розр}})/I_{\text{гальм}} = 1.1 \cdot (k_{\text{пер}}\varepsilon + \Delta U_{\text{рег}}/(1 - \Delta U_{\text{рег}}) + 0.02) \cdot I_{\text{гальм}}/I_{\text{гальм}}$$

1.2.3 Крутизна ГХ другої похилої ділянки $I_d/I_{t2}=65\%$ - за рекомендацією компанії

1.2.4 Точка зміни крутизни ГХ

Розрахунок значень кидків струмів намагнічування трансформатора :

$$I_{n1} = S_{\text{ном}}/(\sqrt{3}U_{\text{ном1}}) \quad I_{n2} = S_{\text{ном}}/(\sqrt{3}U_{\text{ном2}})$$

$$I_{\text{к.нам1}} = 3I_{n1} \quad , \quad I_{\text{к.нам2}} = 3I_{n2}$$

Точка зміни крутизни характеристики:

$$SLP = 2 + \sqrt[3]{4} \cdot (I_{\text{к.нам}}/\sqrt{2}I_{\text{ном}})^{4/3} \cdot I_d/I_t$$

1.2.5 Струм спрацювання диференційної відсічки за умовою відсторонення від струму небалансу:

$$I_{d \text{ макс}} = k_{\text{відс}} k_{\text{нб}} I_{\text{кз макс}} \quad ,$$

$k_{\text{відс}} = 1,2$ - коефіцієнт відсторонення;

$k_{\text{нб}} = 0.7$ – коефіцієнт рівний відношенню амплітуди першої гармоніки струму небалансу до амплітуди періодичної складової струму зовнішнього КЗ;

$I_{\text{кз макс}}$ - максимальне значення періодичної складової струму зовнішнього к.з.

1.2.6 Уставки блокування по другій і п'ятій гармонікам.

Відповідно та рекомендацій виготовляча приймаємо:

$I_{2f}/I_{1f} = 15\%$ - уставка блокування по другій гармоніці

$I_{5f}/I_{1f} = 35\%$ - уставка блокування по п'ятій гармоніці

1.3 Математична модель ГХ.

Математична модель зони спрацювання відсоткової ГХ диференційного захисту трансформатора може бути представлена наступним чином:

$$I_{d*} \geq I_{ds} \quad , \quad I_{t*} \leq I_{t1} \quad ;$$

$$I_{d*} \geq (I_d/I_{t1}) I_{t*} \quad , \quad I_{t1} < I_{t*} \leq I_{t2} \quad (SLP) \quad ;$$

$$I_{d*} \geq (I_d/I_{t2}) I_{t*}, \quad I_{t2} (SLP) < I_{t*} \leq I_{d*} / (I_d/I_{t2});$$

$$I_{d*} \geq I_{d_{\max}*}, \quad I_{t*} > 0,$$

де I_{d*}, I_{t*} - відносні значення диференційного та гальмівного струмів захисту.

2. Формування вихідних даних для побудови ГХ.

Для побудови безпосередньо ГХ диференційного захисту трансформатора використовується середовище Mathcad. Для побудови графіка попередньо формуються масиви координат 6 характерних точок ГХ. Координати точок задаються у вигляді двох векторів-стовпців, один з яких відображає координати точок по вісі абсцис, а інший – по вісі ординат.

Дані вектори мають наступний вигляд:

$$I_t := \left(0 \quad \beta \quad SLP \quad SLP \quad \frac{I_{d_макс}}{I_{dft2}} \quad I_{d_макс} + 15 \right), \quad I_d := (I_{ds} \quad I_{ds} \quad SLP \cdot I_{dft1} \quad SLP \cdot I_{dft1} \quad I_{d_макс} \quad I_{d_макс})$$

I_t – значення гальмівного струму (струм к.з.);

I_d – значення диференційного струму (струм в диференційному реле);

Значення I_t відкладаються по горизонталі, а I_d – по вертикалі.

$$\beta := \left(\frac{I_{ds}}{I_{dft1}} \right) = 0.855$$

4. У відповідності до вищенаведеного алгоритму розрахована та побудована гальмівна відсоткова характеристика диференційного захисту трансформатора 32 МВА, 110/10 кВ.

3.1 Задання мінімального струму спрацювання захисту [в.о.]: $I_{ds} = 0.3$

3.2 Задання крутизни першої похилої ділянки ГХ [в.о.]:

$$I_d/I_t = (k_{відс} I_{нб_розр})/I_{гальм} = 1.1 \cdot (k_{пер} \varepsilon + \Delta U_{рег}/(1 - \Delta U_{рег}) + 0.02) \cdot I_{гальм}/I_{гальм} = 1.1 \cdot (2 \cdot 0.1 + 0.09/(1-0.09) + 0.02) = 0.351$$

Приймаємо до установки $I_d/I_t = 35\%$.

3.3 Крутизна ГХ другої похилої ділянки $I_d/I_{t2} = 65\%$

3.4 Точка зміни крутизни ГХ (SLP):

Приймемо значення кидка струму намагнічування рівним:

$$I_{n1} = 32/(\sqrt{3} \cdot 115) = 167.956 \text{ A}$$

$$I_{n2} = 32/(\sqrt{3} \cdot 10.5) = 1760 \text{ A}$$

$$I_{к.нам1} = 3I_{n1} = 3 \times 167.956 = 503.868 \text{ A.}$$

$$I_{к.нам2} = 3I_{n2} = 3 \times 1760 = 5280 \text{ A.}$$

$$3I_n = 3 \times 167.956 = 503.868 \text{ A}$$

$$5I_n = 5 \times 167.956 = 839.78 \text{ A}$$

$$\text{Тоді } SLP = 2 + 3/4 \times (I_{к.нам.}/\sqrt{2} I_n)^{4/3} \times I_d/I_t = 2 + 3/4 \times 2.121^{4/3} \times 0.351 = 2.717$$

Приймаємо до установки $SLP = 2.7$

3.5 Струм спрацювання диференційної відсічки:

$I_{кз_макс} = 1.208 \text{ кА} = 7.192 I_{n1}$ - максимальне значення періодичної складової струму зовнішнього короткого замикання.

$$I_{d_макс} = 1,2 \times 0,7 \times 7.192 I_{n1} = 6.041 I_{n1}$$

Приймаємо до установки $I_{d, макс} = 6I_{n1}$

3.6 Уставки блокування по другій і п'ятій гармонікам приймаються:
 $I_{2f}/I_{1f} = 15\%$, $I_{5f}/I_{1f} = 35\%$.

Автоматично побудована гальмівна характеристика має вигляд (рисунок 1):

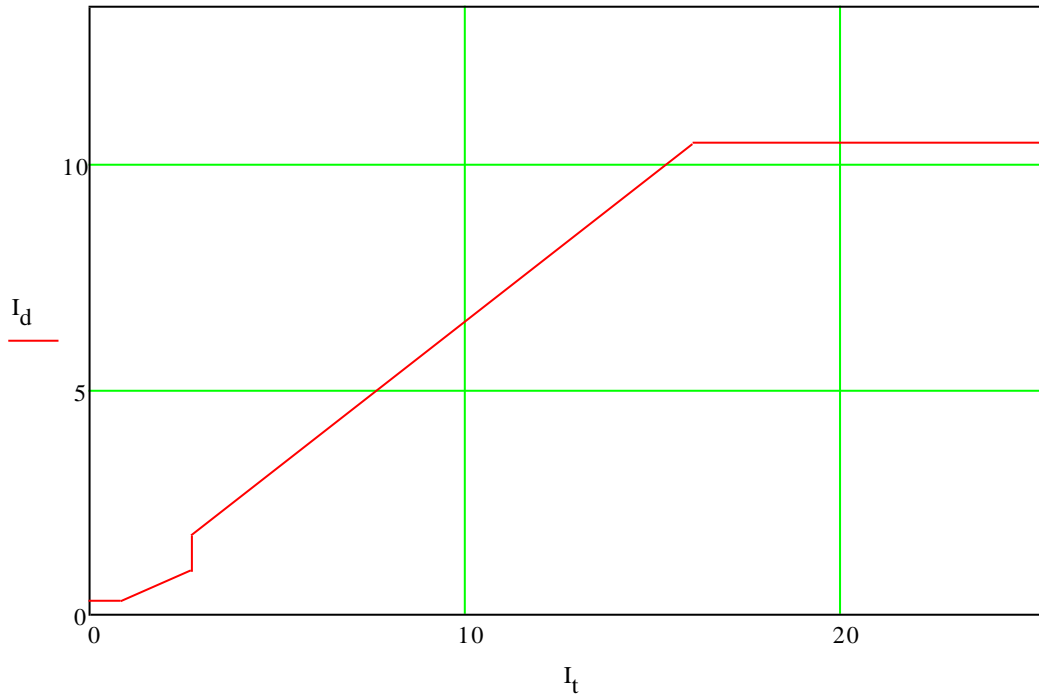


Рисунок 1 – Гальмівна характеристика диференційного захисту трансформатора ТДН-32000/110

Висновки: Гальмівна характеристика дає можливість наглядно визначати зони спрацьовування та неспрацьовування диференційного захисту трансформатора.

Алгоритм побудови гальмівної характеристики можна застосовувати для силових трансформаторів із захистом на основі пристрою Seram 87Т. Для використання алгоритму необхідно попередньо отримати значення струмів зовнішнього трифазного КЗ для мережі, в якій встановлений трансформатор. Перевагами даного алгоритму є простота, швидкодія, точність. Алгоритм реалізований в програмному середовищі Mathcad.

Перелік посилань

1. Методика расчета уставок дифференциальной защиты трансформаторов. Seram Т87. Выпуск №9. – Shneider Electric, 2007. – 16 с.