

В. М. КОВАЛЬОВ, канд. техн. наук, доц. ХНАМГ, Харків

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ДИФЕРЕНЦІЙНИХ ЗАХИСТІВ ТРАНСФОРМАТОРІВ НА РЕЛЕ РНТ

Пропонується удосконалити методику розрахунку диференційних захистів трансформаторів на основі реле серії РНТ у відповідності з його принципом роботи. Останній полягає у компенсації впливу струму небалансу на величину уставки спрацювання при зовнішніх коротких замиканнях трансформатора. При цьому зменшується уставка спрацювання реле та відключення трансформатора відбувається на початку процесу короткого замикання при менших значеннях струмів.

Ключові слова: коротке замикання, диференційний захист, струм небалансу, уставка спрацювання.

Вступ. Надійна робота електричних мереж у значній мірі залежить від надійної роботи релейного захисту. Головна функція диференційного захисту сформулювати сигнал на відключення пошкодженого трансформатора на початку процесу короткого замикання, тобто, при малій уставці спрацювання. Для цього застосовують реле РНТ, яке забезпечує зменшення струму небалансу, уставки спрацювання і відключення трансформатора при менших значеннях струмів короткого замикання. Хоча в теперішній час і йде широке впровадження електронних захистів, але на існуючих підстанціях найближчі 10-15 років будуть залишатися диференційні захисти на реле типу РНТ.

Електрична схема захисту на реле РНТ показана на рис. 1.

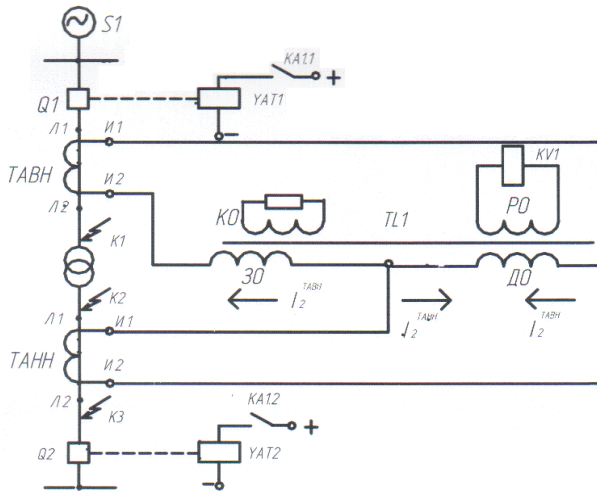


Рис. 1 – Схема захисту на реле РНТ

Реле містить проміжний трансформатор струму із трьома первинними обмотками: диференційна і дві зрівняльних та двома вторинними обмотками: короткозамкнена для компенсації впливу кидків струму при включенні трансформатора під напругу і робочу обмотку, до якої підключене виконавче реле струму типу РТ-40/0,02. Виконавче реле спрацьовує від ЕРС, індукованої результируючим магнітним потоком спрацьовування, створеним диференційною обмоткою й однієї або двома зрівняльними. Магнітний потік спрацьовування створюється магніторушійною силою (МРС) спрацьовування, яка для реле РНТ-565 дорівнює $F_{cp} = 100$ ампервитків і визначається за формулою

$$F_{cp} = \sum(IW) = I_d W_d + I_{y1} W_{y1} + I_{y2} W_{y2} = 100 \text{ А},$$

де I_d, I_{y1}, I_{y2} — струми через диференційну і зрівняльні обмотки;

W_d, W_{y1}, W_{y2} — кількість витків обмоток, що регулюється ступінчасто.

Методика розрахунку диференційного захисту полягає у визначенні уставки спрацьовування реле, схеми вмикання зрівняльної обмотки та розрахунку кількості витків проміжного трансформатора.

Аналіз літератури. Згідно відомої методики розрахунку реле [1] струм спрацювання вибирається з двох умов. За першою умовою струм спрацювання захисту дорівнює

$$I_{c.з} = \kappa_n \cdot I_{нб.р}, \quad (1)$$

де $\kappa_n = 1,3$ — коефіцієнт надійності;

$I_{нб.р}$ — розрахунковий струм небалансу, який дорівнює

$$I_{нб.р} = 0,1 \cdot I_{кз.м} + \Delta N_T \cdot I_{кз.м} + \frac{\omega_p - \omega_y}{\omega_p} I_{кз.м},$$

(2)

де $I_{кз.м}$ — максимальний струм к.з. в первинній обмотці трансформатора при зовнішньому к.з.;

$\Delta N_T = 0,1$ — половина діапазона регулювання коефіцієнта трансформації;

ω_p, ω_y — розрахункові та прийняті значення кількості витків для робочої (диференційної) обмотки реле

За другою умовою струм спрацювання захисту дорівнює

$$I_{c.з} = \kappa_n \cdot I_{н.м}, \quad (3)$$

де $\kappa_n = 1,3-1,5$ — коефіцієнт надійності;

$I_{н.м}$ — номінальний струм первинної обмотки трансформатора.

Недоліки цієї методики:

1) розрахунок струму небалансу проводиться без попереднього вибору трансформаторів струму, різниця вторинних струмів яких і створює струм небалансу;

2) методика не вказує конкретно в коло трансформатора струму первинної чи вторинної обмоток силового трансформатора вмикати зрівняльну обмотку проміжного трансформатора реле РНТ;

3) згідно цієї методики струм небалансу розраховується за два рази: в першому разі на враховується третя складова в рівнянні (2) струму небалансу, а потім за другим разом після розрахунку кількості витків диференційної обмотки струм небалансу уточнюється;

4) одночасно виникає питання, якщо реле РНТ забезпечує струм небалансу близький до нуля, то навіщо його враховувати при розрахунку уставки спрацювання реле?

Мета статті і постановка задачі. Удосконалити існуючу методику розрахунку у відповідності до принципу роботи реле РНТ, а саме: обґрунтувати схему вмикання зрівняльної обмотки, отримати формули для розрахунку кількості витків обмоток, виходячи з величини струму небалансу для конкретно вибраних трансформаторів струму.

Матеріали та результати досліджень. Методику удосконалюємо виходячи з того що реле не повинно спрацювати при трифазному зовнішньому к.з., тобто, струм небаланса близький до нуля (нульовий струм небаланса встановити неможливо з причини неможливості встановлення дробної кількості витків). Це здійснюється за рахунок послідовного включення з диференційною обмоткою зрівняльної обмотки, яка вмикається у вторинне коло трансформатора струму з меншим значенням струму.

Розглянемо це детальніше. При включенні реле РНТ на різницю вторинних струмів трансформаторів струму ТАВН і ТАНН (див. рис.1) при трифазному зовнішньому к. з. через диференційну обмотку протікає струм небалансу

$I_{НБ}^{(3К)}$

$$I_{НБ}^{(3К)} = I_{2ТАВН}^{(3К)} - I_{2ТАНН}^{(3К)}, \quad (4)$$

де $I_{2ТАВН}^{(3К)}$, $I_{2ТАНН}^{(3К)}$ — вторинні струми трансформаторів струму ТАВН і ТАНН при трифазному зовнішньому короткому замиканні.

Струм небалансу (4) створює МРС небалансу $F_{НБ} = W_{д} \cdot I_{НБ}$ і магнітний потік небалансу $\Phi_{НБ}$, який можна компенсувати, тобто, наблизити до нуля ($\Phi_{НБ} = 0$) додатковим магнітним потоком від зрівняльної обмотки. Для цього зрівняльну обмотку необхідно включати у вторинне коло трансформатора струму з меншим значенням струму.

Розрахунок диференціального захисту на реле РНТ полягає у визначенні уставки (струму) спрацьовування реле, схеми включення зрівняльної обмотки й у розрахунок кількості витків обмоток. Уставку спрацьовування реле РНТ розраховуємо згідно формули (3) існуючої методики, виходячи з відстройки від кидка струму при включенні трансформатора під напругу за формулою

$$I_{cp} = \frac{1,5I_{н.м}K_{cx}}{K_{ТАВН}}, \quad (5)$$

де $K_{cx} = 1,73$ — коефіцієнт схеми з'єднання вторинних обмоток ТАВН для схеми «трикутника»;

$K_{ТАВН}$ — коефіцієнт трансформації струму ТАВН.

Відповідно до принципу дії реле РНТ-565 зрівняльна обмотка включається у вторинне коло трансформатора струму з меншим значенням вторинного струму. Якщо при трифазному зовнішньому к. з. має місце нерівність вторинних струмів ТАВН і ТААН $I_{2ТААН}^{(3K)} > I_{2ТАВН}^{(3K)}$, то зрівняльну обмотку включаємо у вторинне коло трансформатора струму ТАВН (див. рис. 1). Тоді при внутрішньому к. з. струм від трансформатора струму ТААН $I_{2ТААН}^{(3K)} = 0$ і реле спрацьовує від вторинного струму трансформатора струму ТАВН відповідно до рівняння магніторухійних сил

$$I_{cp}(W_{Д} + W_{У1}) = F_{cp} = 100 A. \quad (6)$$

При зовнішньому к. з. реле РНТ не повинно спрацьовувати від МРС небалансу створеної диференційної обмоткою. Для її компенсації створюємо МРС від зрівняльної обмотки, тобто

$$I_{НБ}^{(3K)}W_{Д} = I_{2ТАВН}^{(3K)}W_{У1}. \quad (7)$$

Рівняння (6) і (7) являють собою систему рівнянь з двома невідомими $W_{Д}$ і $W_{У1}$, рішення якої має вигляд

$$W_{Д} = \frac{100I_{2ТАВН}^{(3K)}}{I_{cp}I_{2ТААН}^{(3K)}}; W_{У1} = \frac{100I_{НБ}^{(3K)}}{I_{cp}I_{2ТААН}^{(3K)}}. \quad (8)$$

У випадку коли при трифазному зовнішньому к. з. має місце нерівність $I_{2ТАВН}^{(3K)} > I_{2ТААН}^{(3K)}$, то зрівняльну обмотку включають у вторинне коло ТААН. Тоді при внутрішньому к. з. $I_{2ТААН}^{(3K)} = 0$ і реле спрацьовує від вторинного струму ТАВН

$$I_{cp} W_{\Delta} = F_{cp} = 100 A. \quad (9)$$

При зовнішньому к. з. МРС небалансу компенсується МРС від зрівняльної обмотки в колі ТААН, тобто

$$I_{НБ}^{(3K)} W_{\Delta} = I_{2ТААН}^{(3K)} W_{y1}. \quad (10)$$

Із системи рівнянь (9) і (10) для такого випадку одержуємо формули для розрахунку необхідної кількості витків обмоток

$$W_{\Delta} = \frac{100}{I_{cp}}; W_{y1} = \frac{100 I_{НБ}^{(3K)}}{I_{cp} I_{2ТААН}^{(3K)}}. \quad (11)$$

Розрахункові значення кількості витків обмоток у виді дробу округляють до цілого числа за законами округлення.

Порівняємо запропоновану методику розрахунку диференційного захисту з існуючою для наведеного в [1] прикладу. Початкові дані: трансформатор потужністю S = 90 МВА; напруги обмоток $U_{ВН} / U_{НН} = 115^{+10\%} / 10,5$ кВ, група з'єднань обмоток ВН-НН — «зірка-трикутник-11»; струм в первинній обмотці при трифазному зовнішньому к.з. дорівнює 2780 А; трансформатори струму ТАВН — 600/5, ТААН — 6000/5. Результати розрахунку зводимо у порівняльну таблицю.

Таблиця – Результати порівняння методик розрахунку захисту на реле РНТ

Найменування параметру	Існуюча методика	Удосконалена методика
Вторинний струм ТАВН при 3-фазному зовнішньому к.з	-	40,08
Вторинний струм ТААН при 3-фазному зовнішньому к.з	-	25,48
Струм небаланса, А	575	14,6
Уставка спрацювання реле, А	6	2,83
Розрахункова/прийнята кількість витків диференційної обмотки	9,63/9	35,3/35
Розрахункова/прийнята кількість витків зрівняльної обмотки	4,9/5	20,24/20
Коефіцієнт чутливості захисту	2,27	$K_{\chi} = 40,08 * 35 / (3 * 100) = 4,67$

Висновки.

1. З системи рівнянь магніторушійних сил обмоток проміжного трансформатора реле РНТ отримані формули для розрахунку кількості витків диференційної та зрівняльної обмоток.

2. Зрівняльну обмотку проміжного трансформатора реле необхідно вмикати у коло трансформатора струму з меншим значенням вторинного струму.

3. Струм небаланса слід визначати як різницю вторинних струмів трансформаторів струму при трифазному зовнішньому к.з. силового трансформатора.

4. Коефіцієнт чутливості захисту удосконаленої методики має більше значення в порівнянні з існуючою, тобто, силовий трансформатор буде відключатись при менших значеннях струмів к.з., що підвищує його надійність та термін служби.

Список літератури. 1. Овчинников В.В. Реле РНТ в схемах дифференціальних захит/В.В. Овчинников. – М.Енергія, 1973.- 96с.

Надійшла до редколегії 14.04.2013

УДК 621.316.925

Удосконалення методики розрахунку диференційних захистів трансформаторів на реле РНТ / В.М. Ковальов // Вісник НТУ «ХПІ». Серія : Електроенергетика та перетворювальна техніка. – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. - № 34 (1007). – С. 52 – 57. Бібліогр.: 1 назв.

Предлагается усовершенствовать методику расчета дифференциальных защит трансформаторов на основе реле серии "РНТ" в соответствии с его принципом работы. Последний заключается в компенсации влияния тока небаланса на величину уставки срабатывания при внешних коротких замыканиях трансформатора. При этом уменьшается уставка срабатывания реле и отключение трансформатора происходит в начале процесса короткого замыкания при меньших значениях токов.

Ключевые слова: короткое замыкание дифференциальная защита, ток небаланса, уставка срабатывания.

It is suggested to perfect the method of calculation of differential defence transformers on the basis of relay of series of "RNT" in accordance with his principle of work. The last consists in indemnification of influencing of current of differential on the size of level of working at the external short circuits of transformer. Thus level of working of relay and disconnecting of transformer diminishes takes a place at the beginning of process of short circuit at the less values of currents.

Keywords: a short circuit, differential defence, current of differential, working level