УДК 621.316

ЖУК І.А., заст. нач. електроцеху Дністровської ГАЕС

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ В ПРИСТРОЇ КОНТРОЛЮ ІЗОЛЯЦІЇ ОПЕРАТИВНОГО ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

Описується важливість мереж оперативного постійного струму, що ставить на перший план їх надійність. В статті розглядається побудова математичної моделі зміни напруги на опорі котушки реле релейного захисту взагалі, на прикладі УКИ-1 зокрема.

Вступ. Мережі оперативного постійного струму (МОПС) електричних станцій і підстанцій призначені для живлення пристроїв релейного захисту і автоматики, відповідальних механізмів власних потреб, аварійного освітлення, котушок увімкнення та вимкнення високовольтних вимикачів і т. ін. Це висуває високі вимоги до надійності МОПС.

Одним із найважливіших чинників для контролю при роботі даних мереж є величина опору ізоляції.

Багато років для контролю ізоляції мереж ОПС електричних станцій і підстанцій застосовується пристрій, розроблений трестом ОРГРЕС (УКИ-1). Вимірювальний прилад цього пристрою включений по схемі містка.

В даній статті розглядається принцип дії типового захисту від зниження ізоляції МОПС на прикладі УКИ-1.

Математична модель зміни напруги на опорі котушки реле релейного захисту від часу при підключенні кабельної лінії (КЛ) підчас пошуку пошкодження.

Розглянемо випадок замикання на землю через перехідний опір R_3 додатного полюса однієї з КЛ. Схема заміщення приведена на Рис. 1.

На Рис. 1 показані: E — електрорушійна сила (ЕРС) джерела — акумуляторної батареї (230 В); R_1 — внутрішній опір джерела — 0,00001 Ом; R_2, R_3 — еквівалентні опори додатного та від'ємного полюсів всієї МОПС відносно "землі" (31 кОм); C_1, C_2 — ємності ізоляції полюсів МОПС відносно землі (40 мкФ) [1]; R_4 — перехідний опір в місці замикання додатного полюса на землю (20 Ом); R_5 — опір справної ізоляції від'ємного полюса пошкодженої КЛ (1 МОм); C_3 — ємність проводу від котушки реле до інших елементів схеми релейного захисту, R_7 — опір котушки реле або дискретного входу мікропроцесорного релейного захисту; R_6 — опір розімкнених контактів інших елементів схеми релейного захисту (1 МОм).

Величини R_2, R_3 отримані після перетворень у відповідності до Рис. 2. На Рис. 2 показані $R_{дод}$ — додаткові опори пристрою контролю ізоляції "УКИ-1" (по 2 кОм) [2]; $R_{реле}$ — опір котушки реле напруги "УКИ-1" (15 кОм) [3]; $R_{із+}$, $R_{із-}$ — опори ізоляції полюсів відносно "землі" (по 1 МОм), $R_{нав}$ — опір навантаження (10 Ом).

У відповідності до Рис. 2:

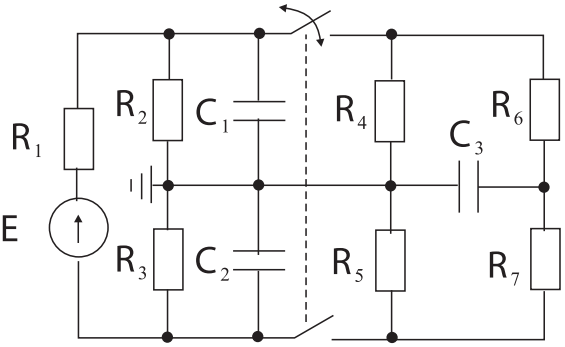

Рис. 1. **Схема заміщення МОПС для замикання додатного полюса.**

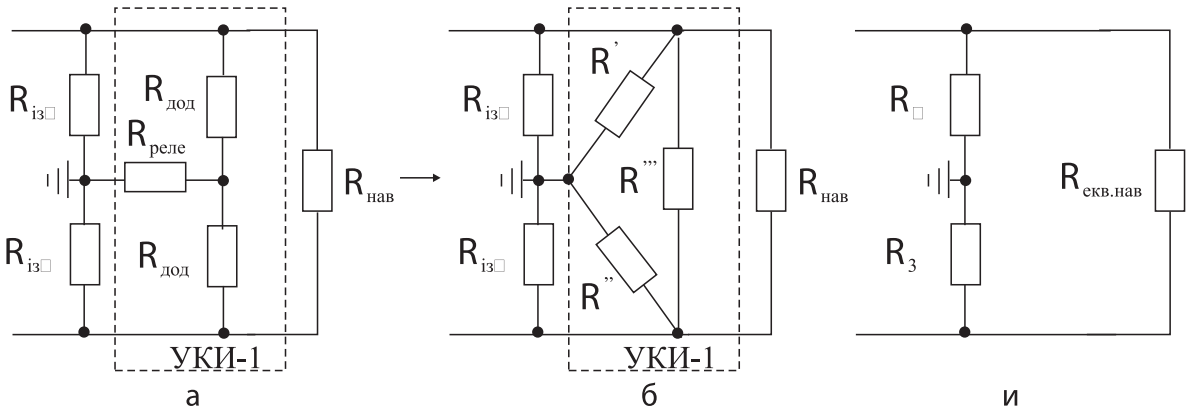

Рис. 2. **Перетворення розрахункової схеми**

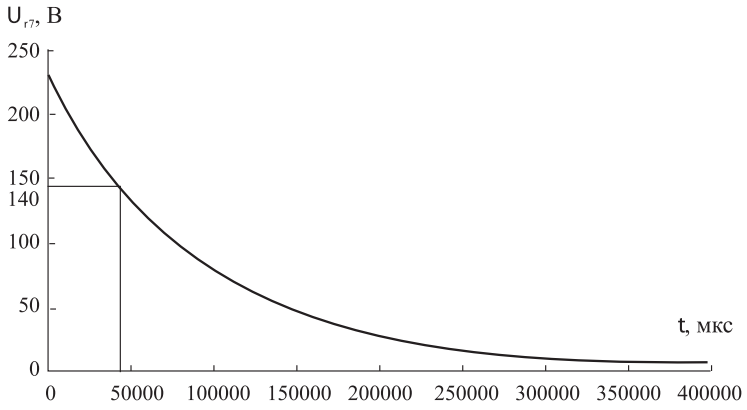

Рис. 3. **Зміна напруги на котушці реле при C_3 = 1 мкФ та R_7 = 100 кОм**

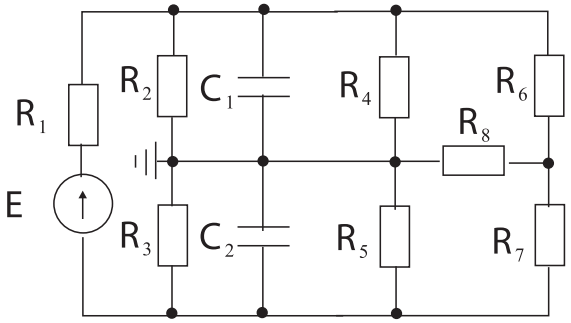

Рис. 4. **Фрагмент схеми МОПС при подвійному замиканні**

- після перетворення "зірки" опорів "УКИ-1" в "трикутник" опорів отримуємо(1, 2):

$$R' = R'' = R_{\text{реле}} + R_{\text{дод}} + (R_{\text{реле}} \times R_{\text{дод}})/ R_{\text{дод}}, \quad (1)$$

$$R' = R'' = 15000 + 2000 + (15000 \times 2000)/2000 = 32000 \text{ Ом},$$

$$R' = R'' = 31000 \text{ Ом при } R_{\text{дод}} = 1000 \text{ Ом};$$

$$R' = R'' = R_{\text{дод}} + R_{\text{дод}} + (R_{\text{дод}} \times R_{\text{дод}})/ R_{\text{реле}}, \quad (2)$$

$$R''' = 2000 + 2000 + 2000 \times 2000/15000 = 4267 \text{ Ом},$$

$$R''' = 2067 \text{ Ом при } R_{\text{дод}} = 1000 \text{ Ом};$$

- еквівалентні опори додатного та від'ємного полюсів всієї МОПС відносно “землі” (3):

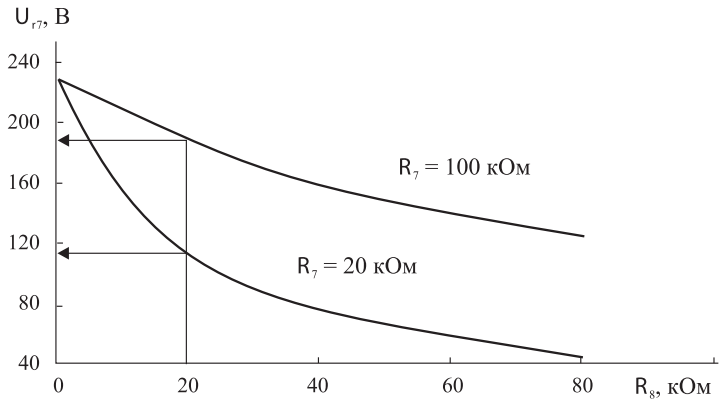

Рис. 5. **Залежність напруги на вході релейного захисту від перехідного опору в місці замкнення**

$$R_2 = R_3 = R' \times R_{\text{із+}}/(R' + R_{\text{із+}}) = R' \times R_{\text{із–}}/(R' + R_{\text{із–}}), \quad (3)$$

$$R_2 = R_3 = 32000 \times 1000000/(1000000 + 32000) = 31008 \text{ Ом},$$

$$R_2 = R_3 = 30070 \text{ Ом при } R_{\text{дод}} = 1000 \text{ Ом};$$

- еквівалентний опір навантаження (4):

$$R_{\text{екв.нав.}} = R''' \times R_{\text{нав.}}/(R''' + R_{\text{нав.}}), \quad (4)$$

$$R_{\text{екв.нав.}} = 10 \times 4267/(10+4267) = 9{,}98 \approx 10, \text{ Ом}.$$

Тому R''' майже не впливає на $R_{\text{екв.нав.}}$, а тому може не враховуватись в розрахунках.

В результаті моделювання отримуємо залежність зміни напруги на опорі котушки реле релейного захисту від часу (Рис. 3) при підключенні КЛ підчас пошуку пошкодження.

З Рис. 3 видно, що напруга більше 140 В буде на котушці реле не менше 50 мкс. При R_7 = 5 кОм напруга більше 140 В на R_7 протримається не менше 30 мкс. За цей час реле може помилково спрацювати [3—6]. Зменшення ємності C_3 до 0,1 мкФ призводить до зменшення часу на спрацювання реле до 0,5 мкс.

Замінимо ємність C_3 (Рис. 1) на опір R_8 (Рис. 4). Це відповідає замиканню на землю в схемі релейного захисту через перехідний опір R_8.

Якщо R_8 = 30 кОм, то "УКИ-1" не подасть сигнал про виникнення такого замикання. Тому не будуть вжиті заходи щодо пошуку та ліквідації місця пошкодження. З часом може виникнути замикання додатного полюса МОПС на іншому фідері через опір R_3. Якщо до цього часу попереднє замкнення не буде усунено, то напруга на опорі $R_7 \geq 100$ кОм (вхідний опір дискретного входу мікропроцесорного захисту) зросте до $U_{R7} \geq 173$ В. Це також може призвести до помилкової роботи релейного захисту. В результаті моделювання отримана залежність напруги на опорі R_7 від величини перехідного опору в місці замикання R_8, яка показана на Рис. 5.

Як видно з Рис. 5 при замкненні в колах релейного захисту через перехідний опір (R_8) 20 кОм та одночасному замкненні додатного полюса через перехідний опір 20 Ом напруга на дискретному вході мікропроцесорного захисту становитиме 188 В при вхідному опорі (R_7) 20 кОм, а при зростанні R_8 до 60 кОм буде зменшуватись до 138 В, залишаючись достатньою для помилкового

спрацьовування релейного захисту. Зменшення вхідного опору шляхом шунтування R_7 призведе до зменшення напруги U_{R6} до безпечних з точки зору помилкових спрацьовувань величин (Рис. 5) при опорах в місці замкнення (R_8) більших за 20 кОм. Але це не вирішує проблеми швидкого знаходження та усунення місця однополюсного замикання на землю.

Висновки. Потрібно вдосконалювати методи та засоби загальномережевого контролю ізоляції так, щоб забезпечити вчасне попередження персоналу про зниження опору ізоляції полюсів від 100 кОм та менше. А також необхідно вдосконалювати методи автоматичного визначення пошкодженої КЛ, з метою скорочення часу існування однополюсного замикання на "землю", та з метою зменшення імовірності двополюсного замикання.

Для цього потрібно дослідити процеси зміни напруг та струмів в МОПС при однополюсних замиканнях на вдосконалених, або на нових математичних моделях.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Борухман В.А., Кулдыкин А.Н.* Устройство ИПИ-1 для отыскания мест повреждения изоляции в сетях оперативного постоянного тока //Энергетик. — 1985. — № 2. — С. 28—29.

2. *Цапенко Е.Ф.* Контроль изоляции в сетях до 1000 В. — М. : Энергия, 1972. — 152 с.

3. *Алексеев В.С. и др.* Реле защиты. — М.: Энергия, 1976. — 404 с.

4. *Микропроцессорное* устройство защиты, автоматики, контроля и управления присоединений 10/6 кВ МРЗС-05М. Руководство по эксплуатации. РСГИ. 466452.012 РЭ. — К.: ПО "Киевприбор", 2005. — 76 с.

5. *Блок УЗА-10А.2.* НКУ релейной защиты и автоматики по току. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. ЭВМ.040.08.08.100.ТО. Версия от 28.03.05. EMV "Энергомашвин", 2005. — 15 с.

6. *Микропроцессорное* устройство защиты, автоматики, контроля и управления присоединений 6—35 кВ МРЗС-05-01. Руководство по эксплуатации. РСГИ. 466452.007-01 РЭ. — К.: ПО "Киевприбор", 2000. —226 с.

© Жук І.А., 2013