

**ВОЗМОЖНОСТЬ ПОЛУЧЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ
ИНФОРМАЦИИ О ХАРАКТЕРЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ
ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЗАЩИТЫ ОТ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ
НА ТОКЕ С ЧАСТОТОЙ 25 Гц**

Б. Г. ТРЕТЬЯКОВ

(Представлена научно-техническим семинаром кафедры электрических станций)

В практике часто встречаются случаи, когда отходящие фидеры подстанций состоят из нескольких параллельных кабелей. В связи с этим возникает необходимость селективной сигнализации замыканий на землю не только самого фидера, но и каждого его кабеля, а также определение места замыкания. Некоторые возможности при решении этой задачи дает метод, основанный на наложении контрольного тока с частотой 25 Гц на сеть промышленной частоты, разработанный на кафедре электрических станций Томского политехнического института.

В качестве источника контрольного тока применяется электромагнитный параметрический делитель частоты специальной конструкции, включаемый последовательно в цепь дугогасящей катушки [1]. Выбор частоты ниже промышленной обусловлен тем, что распределение тока низкой частоты при замыкании лучше, чем тока повышенной частоты, так как он меньше шунтируется емкостями неповрежденных элементов [2]. Кроме того, применяемый в данном случае метод позволяет селективно контролировать наличие замыкания в сети даже тогда, когда с нее снято рабочее питание.

Рассмотрим схему замещения фидера, состоящего из n параллельных кабелей, один из которых получил замыкание на землю в точке k , удаленной от шин на расстояние l (рис. 1). На рисунке обозначено:

L — полная длина кабеля;

U — напряжение источника контрольного тока;

I — ток замыкания на землю с частотой 25 Гц;

x — сопротивление дугогасящей катушки;

$C_1 \div C_n$ — емкости соответствующих кабелей относительно земли;

$z_1 = z_2 = z_n$ — сопротивления кабелей;

ТНП — трансформаторы тока нулевой последовательности.

Расчет производим по схеме замещения, показанной на рис. 2, на которой

$$z = \frac{R_0 L}{n-1} + R_0(L-l), \quad z_1 = R_0 l,$$

где R_0 — сопротивление кабеля на единицу длины.

$$I = \frac{U}{x + \frac{z \cdot z_1}{z + z_1}} \quad (1)$$

Ток через ТНП поврежденного кабеля

$$I_1 = I \cdot \frac{z}{z + z_1} \quad (2)$$

Суммарный ток здоровых кабелей

$$I_2 = I \cdot \frac{z_1}{z + z_1} \quad (3)$$

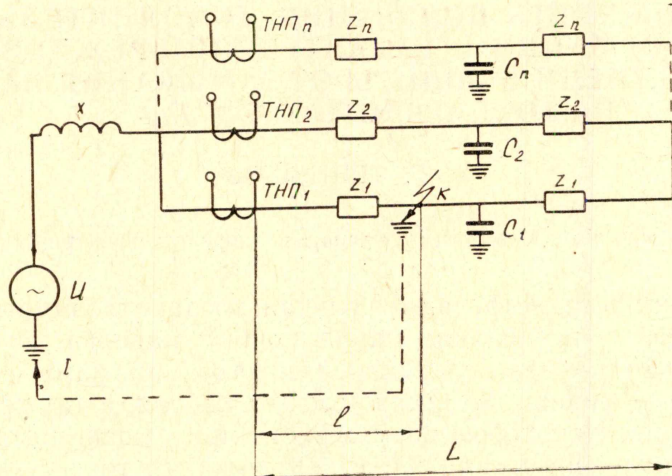


Рис. 1. Схема замещения нулевой последовательности фидера компенсированной сети, состоящего из n параллельных кабелей

Подставляя в (1), (2) и (3) значения сопротивлений, после ряда преобразований получим

$$I = \frac{U}{x + lR_0 \left[1 - \frac{l}{L} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right]}; \quad (4)$$

$$I_1 = \frac{U [Ln - l(n-1)]}{xLn + lR_0Ln \left[1 - \frac{l}{L} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right]}; \quad (5)$$

$$I_2 = \frac{Ul(n-1)}{xLn + lR_0Ln \left[1 - \frac{l}{L} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right]}. \quad (6)$$

Величиной

$$lR_0 \left[1 - \frac{l}{L} \left(1 - \frac{1}{n} \right) \right]$$

можно пренебречь ввиду ее малости по сравнению с сопротивлением дугогасящей катушки. Формулы (4), (5) и (6) принимают вид:

$$I = \frac{U}{x}; \quad (7)$$

$$I_1 = \frac{U[Ln - l(n-1)]}{xLn}; \quad (8)$$

$$I_2 = \frac{Ul(n-1)}{xLn}. \quad (9)$$

Ток с частотой 25 Гц, протекающий по одному из здоровых кабелей,

$$I_2' = \frac{I_2}{n-1}. \quad (10)$$

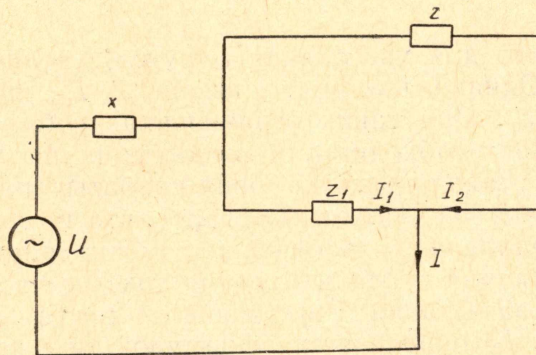


Рис. 2. Расчетная схема замещения нулевой последовательности фидера компенсированной сети, состоящего из n параллельных кабелей

На рис. 3 показан характер распределения токов по здоровым и поврежденному кабелям при замыкании. Наклон характеристик I_1 , I_2 , I_2' в функции от l зависит от количества параллельных кабелей и от их длины.

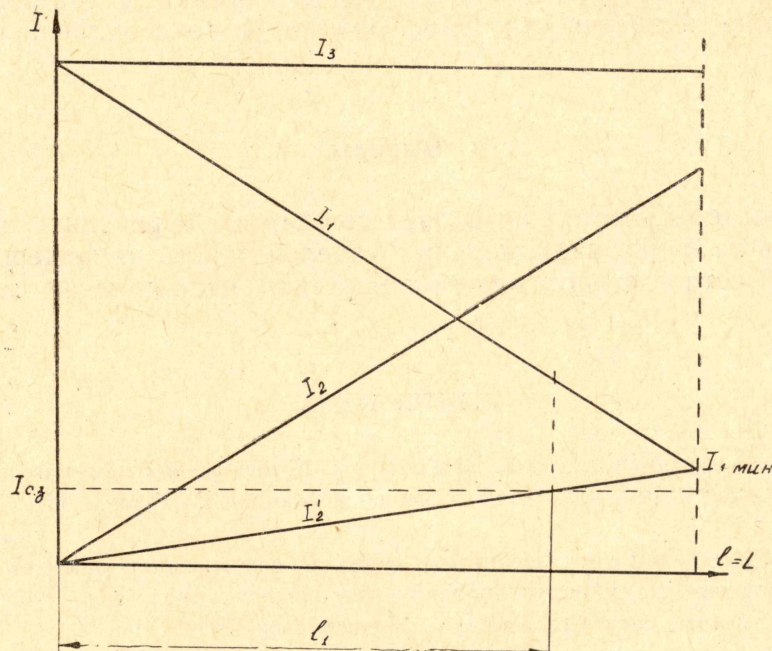


Рис. 3. Характер распределения токов при замыкании одного из кабелей в зависимости от расстояния места замыкания до шин

Из рис. 3 видно, что при замыкании на землю на расстоянии от шин, удовлетворяющем условию $l < l_1$, защита будет срабатывать только на поврежденном кабеле. Величина l_1 может быть определена из уравнения

$$I'_2 = I_{\text{ср}}, \quad (11)$$

где $I_{\text{ср}}$ — ток срабатывания защиты.
Подставляя (9) и (10) в уравнение (11), получим

$$l_1 = \frac{I_{\text{ср}} \times Ln}{U}. \quad (12)$$

Из (12) следует, что для увеличения l_1 нужно увеличивать ток срабатывания защиты. Однако, как видно из рис. 3, $I_{\text{ср}}$ должен оставаться всегда меньше $I_{1\text{мин}}$. При таких ограничениях соблюдение указанного требования означает необходимость выполнения реагирующего органа защиты с высокой стабильностью уровня срабатывания.

Проведенный анализ также показывает, что на фидерах, состоящих из нескольких параллельных кабелей, возможно определение расстояния до места замыкания путем измерения токов с частотой 25 Гц в режиме устойчивого замыкания. Расстояние до места замыкания при известных токах I_1 и I_2 определяется формулой, полученной путем деления выражения (8) на (10):

$$l = \frac{Ln}{\frac{I_1}{I_2} + n - 1}. \quad (13)$$

Реализация такого способа определения расстояния до места замыкания накладывает определенные требования к стабильности и линейности амплитудной характеристики реагирующего органа, а при наладке требует проверки идентичности трансформаторов тока нулевой последовательности.

Выводы

Предлагаемый метод позволяет селективно определять поврежденный кабель из пучка параллельных кабелей одного из фидеров компенсированной сети и с достаточной точностью расстояние до места замыкания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Вайнштейн, А. В. Шмойлов. Источники контрольного тока для защиты от замыканий на землю сетей с компенсированной нейтралью. Изв. ТПИ, т. 172, 1967.
2. Р. А. Вайнштейн. Некоторые вопросы сигнализации замыканий на землю в компенсированных сетях, осуществляемой наложением на сеть тока с частотой, отличающейся от частоты сети. Сб. докладов. Новосибирск, 1964.