

УДК: 621.316.925

АЛГОРИТМ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПОВРЕЖДЕННОГО ПРИСОЕДИНЕНИЯ МИКРОПРОЦЕССОРНОЙ ЗАЩИТЫ ОТ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ

СОЛОДОВ С.В., студ.; рук. ГУСЕНКОВ А. В., к.т.н., доцент (ИГЭУ)

Приведены результаты разработки алгоритма идентификации поврежденного присоединения микропроцессорной защиты от однофазных замыканий на землю для электрических кабельных сетей 6-10 кВ.

Однофазные замыкания на землю (ОЗЗ) являются преобладающим видом повреждений в электрических кабельных сетях 6-10 кВ и часто сопровождаются значительным экономическим ущербом.

Целью работы является разработка высокоэффективного алгоритма идентификации поврежденного присоединения для микропроцессорной защиты от ОЗЗ сетей 6-10 кВ [1]. Для достижения поставленной цели решены следующие основные задачи:

1) разработка алгоритмов цифровой фильтрации входных величин – тока и напряжения нулевой последовательности;

2) разработка математических моделей алгоритмов идентификации поврежденного присоединения и пускового органа защиты;

3) исследование эффективности функционирования предложенных алгоритмов в переходных и установившихся режимах ОЗЗ;

Передаточные характеристики цифровых фильтров получены методом билинейного Z-преобразования и представляются в следующем виде:

$$H(z) = \frac{K(z)}{D(z)} = \frac{a_M \cdot (1+z^{-1})^{N-M} \cdot \prod_{i=0}^M (\alpha_i + \beta_i z^{-1})}{b_N \cdot \prod_{i=0}^N (\gamma_i + \delta_i z^{-1})} \quad (1)$$

Выражение (1) используется для реализации алгоритмов функционирования соответствующих цифровых фильтров во временной области. Применение цифровых фильтров позволяет, по сравнению с аналоговыми прототипами, улучшить подавление составляющих промышленной частоты примерно в 100 раз.

Алгоритм работы цифрового измерительного органа (ИО) защиты от ОЗЗ построен на сравнении знаков входных информационных величин. Сигналы с выходов цифровых фильтров каналов тока и напряжения нулевой последовательности преобразуются в соответствии со следующими выражениями:

$$i_0^{(+)}(t) = \begin{cases} 1, & i_0(t) > i_{\text{ср. ИО}} \\ 0, & i_0(t) \leq i_{\text{ср. ИО}} \end{cases}, \quad (2)$$

$$i_0^{(-)}(t) = \begin{cases} 1, & i_0(t) < -i_{\text{ср. ИО}} \\ 0, & i_0(t) \geq -i_{\text{ср. ИО}} \end{cases} \quad (3)$$

$$u_0^{(+)}(t) = \begin{cases} 1, & u_0(t) > u_{\text{ср. ИО}} \\ 0, & u_0(t) \leq u_{\text{ср. ИО}} \end{cases} \quad (4)$$

$$u_0^{(-)}(t) = \begin{cases} 1, & u_0(t) < -u_{\text{ср. ИО}} \\ 0, & u_0(t) \geq -u_{\text{ср. ИО}} \end{cases} \quad (5)$$

Определение направления мощности нулевой последовательности осуществляется в соответствии с выражениями (6)–(11):

$$S_{0C}^{(+)}(t) = i_0^{(+)}(t) \wedge u_0^{(+)}(t), \quad (6)$$

$$S_{0C}^{(-)}(t) = i_0^{(-)}(t) \wedge u_0^{(-)}(t), \quad (7)$$

$$S_{0C}(t) = S_{0C}^{(+)}(t) \vee S_{0C}^{(-)}(t), \quad (8)$$

$$S_{0N}^{(+)}(t) = i_0^{(+)}(t) \oplus u_0^{(+)}(t), \quad (9)$$

$$S_{0N}^{(-)}(t) = i_0^{(-)}(t) \oplus u_0^{(-)}(t), \quad (10)$$

$$S_{0N}(t) = S_{0N}^{(+)}(t) \vee S_{0N}^{(-)}(t). \quad (11)$$

Площади совпадения и несовпадения знаков мощности нулевой последовательности определяются по выражениям:

$$SC = \int_0^t S_{0C}(t) dt, \quad (12)$$

$$SN = \int_0^t S_{0N}(t) dt. \quad (13)$$

Срабатывание ИО защиты происходит, если площадь совпадения знаков мощности нулевой последовательности больше площади их несовпадения в интервале времени наблюдения, превышающем время срабатывания ИО, в соответствии с выражением

$$I_0 = \begin{cases} 1, & SC > SN, \quad t > t_{\text{ср. ИО}} \\ 0, & SC \leq SN, \quad t \geq t_{\text{в. ИО}} \end{cases}. \quad (14)$$

Возврат ИО в исходное состояние осуществляется при превышении площади совпадения знаков над площадью несовпадения и определяется временем возврата измерительного органа.

Предложенный алгоритм работы ИО защиты позволяет селективно определять поврежденное направление при всех разновидностях замыканий на землю и обеспечивает непрерывность действия в установившихся режимах замыкания на землю.

Эффективность работы алгоритма микропроцессорной защиты от ОЗЗ определялась с использованием сигналов, полученных на физической модели кабельной сети и методами математического моделирования в системе MATLAB. Анализ результатов работы предложенного алгоритма в различных режимах работы не выявил ни одного неправильного действия защиты и позволил сделать следующие выводы:

1. Использование цифровых фильтров, по сравнению с аналоговым прототипом, позволяет улучшить технические характеристики измерительного органа микропроцессорной защиты от ОЗЗ.

2. Предложенный алгоритм идентификации поврежденного присоединения микропроцессорной защиты от ОЗЗ обеспечивает высокую устойчивость функционирования защиты при всех разновидностях ОЗЗ в электрических кабельных сетях 6–10 кВ.

Список литературы

1. Принципы выполнения микропроцессорной защиты от однофазных замыканий на землю в компенсированных сетях 6–10 кВ / В.А. Шуин, А.В. Гусенков, А.Ю. Мурзин и др.: Сб. докл. науч.-практич. конф., посвященной 70-летию ОРЗАУМ института «Энергосетьпроект». – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2001. – С. 100–105.