

ФОРМИРОВАНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ В ТОКОВЫХ ЦЕПЯХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ЗАЩИТ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

Романюк Ф. А. – чл.-кор. НАН Беларуси, д. т. н., профессор,
Румянцев В. Ю. – к. т. н., доцент,
Румянцев Ю.В. – к. т. н.,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Производство, передача, распределение и потребление электроэнергии являются непрерывным динамичным процессом, который невозможен без автоматического управления. В свою очередь в электроэнергетической системе могут возникать повреждения, приводящие к коротким замыканиям, которые являются причиной повреждения ее элементов, системных аварий и, как итог, нарушения электроснабжения. Для ликвидации данных аварийных режимов применяется автоматика противоаварийного управления, реализованная микропроцессорными защитами электроустановок [1].

Микропроцессорные защиты электроустановок функционируют на основе обработки входной информации измерительными органами (ИО). В качестве такой информации используются вторичные токи измерительных трансформаторов тока (ТТ), которые представлены амплитудой и фазой или эквивалентными им ортогональными составляющими (ОС).

Использование ОС является основным направлением определения информационных параметров сигналов в микропроцессорной защите и автоматике электроэнергетических систем. ОС формируются в цифровом виде с помощью соответствующих формирователей ортогональных составляющих (ФОС), которые должны обладать соответствующими частотными и динамическими свойствами, обеспечивая при этом четкое выделение сигнала основной частоты и высокое быстродействие [1].

Быстродействие ФОС микропроцессорных защит электроустановок определяется главным образом двумя факторами. Первый из них связан с появлением при повреждениях в контролируемых сигналах апериодических и гармонических составляющих, обусловленных переходными процессами и нелинейностью элементов электроустановок, что может приводить к насыщению стали магнитопроводов измерительных трансформаторов и существенному искажению их вторичных сигналов. Второй фактор обусловлен использованием цифровых фильтров (ЦФ) для выделения из указанных сигналов основной гармоники, что вносит дополнительную инерционность в процедуру формирования полезных сигналов. В результате воздействия указанных двух факторов может недопустимо затягиваться время определения достоверных значений параметров контролируемых величин, а иногда может происходить и ложное срабатывание или отказ в функционировании ИО. Для

решения этой проблемы предлагается формировать выходной сигнал ИО в виде специально сформированных эквивалентных сигналов, которые являются функцией рассчитанного корректирующего коэффициента и ОС контролируемого сигнала. Корректирующий коэффициент k_k определяется как произведение корректирующего коэффициента k_s , учитывающего искажения вторичных токов вследствие насыщения магнитопровода измерительного трансформатора, и коэффициента k_f , отражающего инерционность ЦФ, с помощью которых формируются ОС основных гармоник вторичных сигналов:

$$k_k = k_s k_f. \quad (1)$$

Руководствуясь результатами исследований, приведенными в [2], коэффициент k_s представляет отношение амплитуд тока входных вторичных сигналов и их основных гармоник

$$k_s = \frac{I_{in}}{I_1}, \quad (2)$$

где I_{in} , I_1 – амплитудные значения соответственного входного вторичного тока и его основной гармоники.

Для определения коэффициента k_f воспользуемся приведенным ниже выражением, полученным в результате выполненных методом вычислительного эксперимента исследований [3]:

$$k_f = m \frac{I_{in} - I_1}{I_1} + 1, \quad (3)$$

где m – постоянный безразмерный коэффициент, который выбирается в зависимости от времени установления выходного сигнала ЦФ.

Если указанное выше время установления не превышает одного периода промышленной частоты, что характерно для большинства используемых в микропроцессорных защитах ЦФ, то принимаем $m = 1$. С учетом этого, подставив в (1) значения k_s и k_f соответственно из (2), (3), получим

$$k_k = \frac{I_{in}^2}{I_1^2}. \quad (4)$$

В основу определения квадратов амплитудных значений входного вторичного тока для произвольной выборки n положено выражение

$$I_{in_n}^2 = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N i_{in}^2(n), \quad (5)$$

где $n = 1, \dots, n$ – номер выборки вторичного тока в окне наблюдения; $i_{in}(n)$ – выборки вторичного тока; N – число выборок тока в окне наблюдения.

Выделение косинусной i_{cn} и синусной i_{sn} ОС основной гармоники указанными фильтрами осуществляется по выражениям [4]:

$$\begin{aligned}
 i_{cn} &= \sum_{n=1}^N a_{cn} \cdot i_{in}(n); \\
 i_{sn} &= \sum_{n=1}^N a_{sn} \cdot i_{in}(n),
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

где a_{cn} , a_{sn} – коэффициенты соответственно косинусного и синусного ЦФ.

Квадраты действующих значений основной гармоники для выборки n вычисляются в соответствии с выражением

$$I_{ln}^2 = \frac{i_{cn}^2 + i_{sn}^2}{2}.
 \tag{7}$$

При этом корректирующие коэффициенты k_{kn} для произвольной выборки n определяются согласно (4) по значениям $I_{in,n}^2$, I_{ln}^2 .

Вычисление ОС эквивалентных сигналов производится по значениям i_{cn} , i_{sn} и корректирующих коэффициентов k_{kn} [5]:

$$\begin{aligned}
 i_{eqcn} &= k_{kn} i_{cn}; \\
 i_{eqsn} &= k_{kn} i_{sn}.
 \end{aligned}
 \tag{8}$$

Основное условие реализуемости данной методики в том, чтобы переходные характеристики амплитудных значений входного сигнала тока и значений основной гармоники указанного сигнала не пересекались.

По значениям i_{eqcn} , i_{eqsn} вычисляется амплитудное значение основной гармоники эквивалентного сигнала

$$I_{eqn} = \sqrt{i_{eqsn}^2 + i_{eqcn}^2}.
 \tag{9}$$

Список литературы

1. Bhide, S. R. Digital power system protection. / S. R. Bhide. – PHI Learning Pvt. Ltd., 2014.
2. Румянцев, Ю. В. Цифровой измерительный орган для функционирования в условиях глубокого насыщения трансформатора тока / Ю. В. Румянцев [и др.] // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – Энергетика : международный научно-технический и производственный журнал. – 2018. – Т. 61, № 6. – С. 483–493.
3. Romaniuk, F. Increase of operation speed of digital measuring elements of microprocessor protection of electrical installations / F. Romaniuk [et al.] // New Electrical and Electronic Technologies and their Industrial Implementations : 11th International Conference, Zakopane, Poland, June 25–28 / Lublin University of Technology. – Zakopane, 2019. – P. 56.
4. Румянцев, Ю. В. Реализация цифровых фильтров в микропроцессорных устройствах релейной защиты / Ю. В. Румянцев [и др.] // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – Энергетика : международный научно-технический журнал. – 2016. – Т. 59, № 5. – С. 397–417.
5. Романюк, Ф. А. Формирование ортогональных составляющих входных сигналов в микропроцессорных защитах / Ф. А. Романюк [и др.] // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ – Энергетика : международный научно-технический журнал. – 2020. – Т. 63, № 4. – С. 328–339.