

## ФОРМИРОВАНИЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВХОДНЫХ СИГНАЛОВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ

Романюк Ф.А., Румянцев В.Ю., Румянцев Ю.В., Дерюгина Е.А.  
Белорусский национальный технический университет

### *Аннотация:*

Предложен алгоритм компенсации колебаний ортогональных составляющих выходных сигналов цифровых фильтров, реализованных на основе дискретного преобразования Фурье, при отклонении частоты входного сигнала от номинальной.

### *Текст доклада:*

В микропроцессорных защитах используются цифровые фильтры (ЦФ) на основе дискретного преобразования Фурье (ДПФ) в силу простоты их реализации и устойчивости функционирования.

При возникновении короткого замыкания (КЗ) сигнал, контролируемый микропроцессорной защитой, характеризуется наличием одновременно одной или нескольких особенностей: содержит апериодическую составляющую, имеет частоту, отличную от номинальной, и искаженную форму вследствие насыщения измерительных трансформаторов, что приводит к погрешностям функционирования ЦФ. В частности, при отклонении частоты входного сигнала от номинальной на выходе ЦФ формируется сигнал в виде незатухающего колебательного процесса. Это объясняется тем, что частота дискретизации аналогового сигнала выбирается исходя из условия получения целого числа выборок на период основной частоты, а при ее отклонении данное условие нарушается. Для устранения этого недостатка используются специализированные алгоритмы, которые обеспечивают функционирование ЦФ в условиях отклонения частоты от номинальной. Реализация подобных алгоритмов усложняется тем, что необходимо дополнительно контролировать частоту сигнала для коррекции количества выборок. Уменьшить амплитуду колебательного процесса на выходе ЦФ также позволяет использование усредняющих ЦФ, что, однако, вносит дополнительную задержку в установление выходного сигнала.

Предлагаемый алгоритм компенсации колебаний на выходе ЦФ при отклонении частоты входного сигнала от номинальной в значительной степени свободен от указанных недостатков. Для его реализации, применительно к защитам, в которых контролируется один параметр (например, токовые защиты) необходимо выполнить следующую последовательность действий:

1. С использованием ДПФ выделяются синусная  $u_{sn0}$  и косинусная  $u_{cn0}$  ортогональные составляющие:

$$u_{cn0} = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u_n \cos \frac{2\pi n}{N}, \quad u_{sn0} = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} u_n \sin \frac{2\pi n}{N} \quad (1)$$

где  $u_n$  – входной сигнал;  $N$  – число выборок на период основной частоты.

Амплитуда сигнала основной гармоники для произвольной выборки  $n$  определяется как:

$$U_{mn0} = \sqrt{u_{sn0}^2 + u_{cn0}^2}.$$

2. Определяются амплитуды синусного  $U_{msn0}$  и косинусного  $U_{mcn0}$  сигналов по текущим  $u_{sn0}$ ,  $u_{cn0}$  и предыдущим  $u_{s(n-1)0}$ ,  $u_{c(n-1)0}$  выборкам, зафиксированным через период дискретизации  $T$

$$U_{msn0} = \frac{\sqrt{u_{sn0}^2 - 2u_{sn0}u_{s(n-1)0} \cos \frac{2\pi}{N} + u_{s(n-1)0}^2}}{\sin \frac{2\pi}{N}} \quad (2)$$

$$U_{mcn0} = \frac{\sqrt{u_{cn0}^2 - 2u_{cn0}u_{c(n-1)0} \cos \frac{2\pi}{N} + u_{c(n-1)0}^2}}{\sin \frac{2\pi}{N}}$$

где  $T = \frac{1}{f_0 N}$  – период дискретизации;  $f_0 = 50$  Гц.

Достоинство выражений (2) является минимальная задержка в один период дискретизации  $T$  при определении амплитуды сигнала, что особенно важно для построения быстродействующих измерительных органов микропроцессорных защит [1].

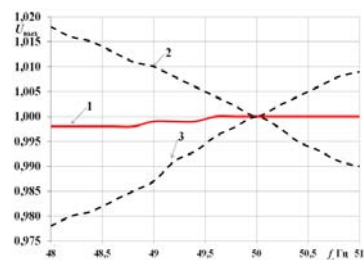
Далее вычисляется среднее значение амплитуд сигналов:

$$U_{mn0} = \frac{U_{msn0} + U_{mcn0}}{2} \quad (3)$$

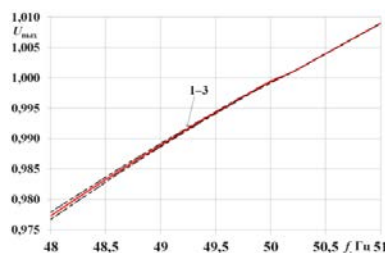
Оценка эффективности предлагаемого алгоритма компенсации колебаний амплитуды выходного сигнала при гармоническом входном воздействии проводилась с использованием модели ЦФ, реализованной в среде динамического моделирования MatLab-Simulink.

На рисунке 1 приведены зависимости размаха отклонений амплитуды выходного сигнала, ограниченные пунктирными линиями 2, 3, от среднего значения (кривая 1), при уходе частоты от номинальной для ЦФ ДПФ (рисунок 1, а) и ЦФ ДПФ с компенсацией (рисунок 1, б).

Как видно из представленных зависимостей, у ЦФ ДПФ наблюдаются колебания амплитуды выходного сигнала, размах которых пропорционален отклонению частоты от номинальной. Для ЦФ ДПФ с компенсацией характерно практически полное отсутствие колебаний амплитуды выходного сигнала при изменении частоты в диапазоне 48–51 Гц.



а



б

Рис. 1. Размах отклонений амплитуды выходного сигнала ЦФ ДПФ (а) и ЦФ ДПФ с компенсацией (б) при уходе частоты входного сигнала от номинальной

Предложен цифровой фильтр, основанный на дискретном преобразовании Фурье, формирующий ортогональные составляющие входных сигналов релейной защиты, дополненный алгоритмом компенсации колебаний их амплитуд при отклонении частоты сигнала от номинальной.

#### **Литература**

1. Romaniuk, F. Increase of operation speed of digital measuring elements of microprocessor protection of electrical installations / F. Romaniuk, V. Rumiantsev, A. Dziaruhina, V. Kachenya, K. Kierczynski // Przegląd Electrotechniczny (Electrical Review). – 2020. – Vol. 96, N 3. – С. 150–153.