

Хамидуллин Роман Дмитриевич, студент, Рязанский государственный радиотехнический университет, РФ, г. Рязань

Объедков Евгений Евгеньевич, студент, Рязанский государственный радиотехнический университет, РФ, г. Рязань

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЦИФРОВЫХ ФИЛЬТРОВ В МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ УСТРОЙСТВАХ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Аннотация: В работе рассматриваются цифровые фильтры в микропроцессорных устройствах релейной защиты. В настоящее время всё наибольшую популярность приобретают микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ), которые приходят на смену традиционным релейным защитным средствам на электромеханической базе.

Keywords: microprocessor-based relay protection devices, digital filter, useful signal.

Annotation: The paper considers digital filters in microprocessor relay protection devices. Currently, the most popular are microprocessor-based relay protection devices (RPS), which replace traditional relay protection devices based on an Electromechanical base.

Ключевые слова: микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ), цифровой фильтр, полезный сигнал.

В настоящее время всё наибольшую популярность приобретают микропроцессорные устройства релейной защиты (МУРЗ), которые приходят на смену традиционным релейным защитным средствам на электромеханической базе [1]. Внедрение микропроцессорных устройств релейной защиты позволяет добиться оптимизации использования устройства

при его эксплуатации, а также повысить удобство в процессе обслуживания устройств релейной защиты. Кроме того, современные релейные элементы защиты занимают меньше места, при меньших потребляемых мощностях; имеют встроенные регистраторы аварийных событий и процессов. Внедрение микропроцессорных устройств релейной защиты позволяет применять сложные способы обработки, основанные на использовании цифровых измеряемых сигналов, получаемых в течение коротких временных промежутков [2]. Развитие цифровых устройств релейной защиты приводит к увеличению сложности реализации алгоритмов обработки контролируемых сигналов. Поэтому актуальным является вопрос реализации цифровых фильтров, которые применяются для измерения тока в МУРЗ.

Целью данной статьи является анализ эффективности использования цифровых фильтров в микропроцессорных устройствах релейной защиты.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- проанализировать понятие цифровых фильтров;
- рассмотреть возможность их эксплуатации в микропроцессорных устройствах релейной защиты.

Основным элементом микропроцессорного устройства является цифровой фильтр. Цифровой фильтр является носителем определенной программы-алгоритма, которая предназначена для выявления сигналов при аварийных ситуациях. Поэтому алгоритмы должны быть запрограммированы таким образом, чтобы устройство могло быстро сработать и отсоединить поврежденный элемент, обеспечивая наиболее качественное быстроедействие процесса эксплуатации МУРЗ [3].

В работе [4] приводится описание главной функции цифрового фильтра, которая заключается в выделении полезного сигнала. Под последним подразумевается основная гармоника сигнала или кратная ей, относящаяся к порядку три. Выражение (1) представляет собой описание входного цифрового

сигнала, который кроме полезного сигнала $u(nT)$ включает в себя сигнал помехи $e(nT)$:

$$y(nT) = u(nT) + e(nT). \quad (1)$$

Полезный цифровой сигнал обычно имеет следующее математическое выражение (2):

$$\begin{aligned} u(nT) &= U_m \sin\left(\frac{2\pi n}{N} + \varphi\right) = U_m \sin\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \cos \varphi + U_m \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \sin \varphi = \\ &= U_m^c \sin\left(\frac{2\pi n}{N}\right) + U_m^s \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right) \end{aligned} \quad (2)$$

где $U_m^s = U_m \sin \varphi$, $U_m^c = U_m \cos \varphi$ – амплитуда синусной и косинусной ортогональных составляющих сигнала.

Для удобства построения цифрового фильтра в помехе выделяют главные составляющие: первые нечетные высшие гармоники, затухающая составляющая (описываемая экспонентой).

Выбранные компоненты позволяют строить цифровые фильтры следующих алгоритмов:

- цифровой фильтр на базе метода наименьших квадратов [5]. Идея данного способа заключается в том, чтобы минимизировать сумму квадратов ошибок;

- цифровой фильтр на базе дискретного преобразования Фурье (ДПФ) [6]. Данный алгоритм фильтра позволяет получать косинусные фильтры;

- формирователи ортогональных составляющих (ФОС) [7].

Развитие полупроводниковых устройств позволяет в моделях релейной защиты учитывать все большее количество высших гармоник. Однако рост нагрузки вычислений неблагоприятно сказывается на точности получения коэффициентов цифрового фильтра, что снижает и качество фильтрованного сигнала. Рекомендуется [4] в модели сигнала брать гармоники не выше восьмой, что позволяет добиться максимально эффективной работы цифрового

фильтра. Кроме того, из представленных основных разновидностей фильтров косинусный фильтр и фильтр на основе формирователей ортогональных составляющих.

В работе [8] проведён анализ работы нерекурсивных фильтров Фурье, которые эксплуатируются по принципу двух взаимосвязанных фильтров (синусного и косинусного). Синусный фильтр может быть описан выражением (3):

$$X_s(nT) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot \sin(w_0 nT), \quad (3)$$

Косинусная составляющая выделяется с помощью выражения (4):

$$X_c(nT) = \frac{2}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) \cdot \cos(w_0 nT), \quad (4)$$

Полученные сигналы служат для расчёта амплитуды и фазы (5):

$$|X| = \sqrt{X_c^2(nT) + X_s^2(nT)}, \quad (5)$$

$$\varphi = \arctg \frac{X_c(nT)}{X_s(nT)}.$$

Отсутствие высших гармоник может быть замечено фильтром уже через 0,02 с (период основного сигнала). Данное время полностью удовлетворяет по быстродействию современным цифровым фильтрам в микропроцессорных устройствах.

Согласно проведённым исследованиям фильтры Фурье позволяют получить параметры сигналов, которые могут быть неблагоприятными относительно вносимой погрешности. Например, максимальная погрешность возникает при обработке сигнала с апериодической составляющей. Исключение апериодической составляющей возможно за счёт применения специализированного фильтра, построенного на базе фильтра Фурье [8].

Важно заметить, что с увеличением частоты дискретизации в среднем на 1% возрастают погрешности как при изменении частоты в энергосистеме, так и

при наличии апериодической составляющей. Данное обстоятельство необходимо учитывать при проектировании новых устройств защиты.

Библиографический список:

1. Кузьмичев В.А., Захаренко Ф.Ю., Балувев А.В. (ОАО «Фирма ОРГРЭС», Москва) Ретроспективный анализ работы устройств РЗА в ЕНЭС. - Релейная защита и автоматизация, 2015, No 1, с. 32 -37.

2. Phadke A. G., Thorp J. S. (2008) Synchronized Phasor Measurements and their Applications. Springer Science & Business Media. 248.

3. Булычев А.В. Релейная защита. Общие принципы построения. [Электронный ресурс] http://eepr.ru/article/Relejnaya_zashhita_Obshhie_principyu_postroeniya/.

4 Реализация цифровых фильтров в микропроцессорных устройствах релейной защиты / Ю. В. Румянцев [и др.] // Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. 2016. Т. 59, № 5. С. 397–417.

5. Лоусон, Ч. Численное решение задач метода наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хенсон: пер. с англ. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986. 232 с.

6. Phadke, A. G. Synchronized Phasor Measurements and their Applications / A. G. Phadke, J. S. Thorp // Springer Science & Business Media. 2008. 248 p.

7. Романюк, Ф. А. Информационное обеспечение микропроцессорных защит электроустановок / Ф. А. Романюк. Минск: Технопринт, 2001. 133 с.

8. Солопов Р.В., Ковженкин В.С., Вайтеленко Л.В. Оценка погрешностей при работе фильтров Фурье в устройствах релейной защиты // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. No 10. С. 117–128